

Сацкевич Н.Е., Курносков А.Ф., Галынский А.А.  
Интеллектуальная система диагностирования транспортных и технологических машин  
на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя

.....  
**Электронный научно-производственный журнал  
«АгроЭкоИнфо»**  
=====

УДК 629.3.054.294/.299

**Интеллектуальная система диагностирования транспортных и  
технологических машин на основе идентифицированных импульсно-  
силовых характеристик двигателя**

*Сацкевич Н.Е., Курносков А.Ф., Галынский А.А.*

*Новосибирский государственный аграрный университет*

**Аннотация**

*В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию и разработке интеллектуальной системы диагностирования машин, базирующейся на принципах нейронной сети. В качестве входного потока данных предложено использовать импульсно-силовые характеристики двигателя. Преимуществом предлагаемой системы диагностирования является возможность поддержания работоспособного состояния транспортных и технологических машин при условии автоматизации процессов диагностирования и анализа полученных данных.*

*Использование интеллектуальной системы диагностирования позволит не только установить причину отказа по имеющимся симптомам, но и оценить эффективность работы машин*

**Ключевые слова:** ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ,  
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, ИМПУЛЬСНО-СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ,  
НЕЙРОННАЯ СЕТЬ

---

При эксплуатации машин элементы «двигатель» - «трансмиссия» - «ходовая часть» взаимодействуют между собой посредством импульсно-силовых характеристик. Их величина определяется конструктивными особенностями машин, условиями эксплуатации и также величиной внутренних и внешних потерь. К внутренним потерям относятся потери на трение в агрегатах и их взаимодействие, к внешним - потери энергетического

эквивалента (теплоты) в окружающую среду, а также потери на трение в пятне контакта шины.

Известными методиками комплектования машинно-тракторных агрегатов [1] эффективная мощность двигателя  $N_e$  принимается исходя из паспортных значений и не оценивается в процессе эксплуатации машин. Снижение величины эффективной мощности двигателя при неизменных значениях потерь снизит эксплуатационные свойства машины в целом. Поэтому для оценки действительной эффективности эксплуатации машины необходимо в первую очередь оценить текущее значение мощности двигателя.

Эффективная мощность двигателя зависит от параметров его технического состояния. В условиях эксплуатации техническое состояние двигателя наиболее рационально определять непосредственно по эффективным показателям его работы, полученным на основании импульсно-силовых характеристик. Под импульсно-силовыми характеристиками понимается силовое воздействие двигателя на раму машины через опоры. Ввиду большого объема получаемых данных, реализация данного метода представляется возможным путем разработки интеллектуальной системы диагностирования с использованием принципа нейронных связей.

**Целью работы** является разработка интеллектуальной системы диагностирования транспортных и технологических машин на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя путем использования метода самообучения нейронных сетей.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Установить основные параметры эффективности работы машин на основе импульсно-силовых характеристик двигателя.
2. Разработать самообучающуюся систему диагностирования машин, приняв в качестве диагностического параметра импульсно-силовые характеристики двигателя.

Результат силового воздействия двигателя и трансмиссии воспринимает рама машин, поэтому оценку эффективной мощности двигателя предлагается осуществлять на основе обратного крутящего момента, т.е.:

$$N_e = M_{\text{ОП}}^{\text{max}} \omega, \quad (1)$$

Сацкевич Н.Е., Курносов А.Ф., Галынский А.А.  
**Интеллектуальная система диагностирования транспортных и технологических машин  
на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя**  
.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**

---



---

где  $M_{\text{ОП}}^{\text{max}}$  – действительный максимальный обратный крутящий момент при заданной угловой скорости вращения коленчатого вала, Нм;

$\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала, с-1.

Аналогичным образом текущую загрузку машины можно определить:

$$N_z = M_{\text{ОП}} \omega \quad (2)$$

где  $M_{\text{ОП}}$  – текущее значение обратного крутящего момента, измеренное на опорах, Нм.

Следовательно, коэффициент загрузки машины может быть представлен:

$$\eta_e = \frac{N_z}{N_e} = \frac{M_{\text{ОП}}}{M_{\text{ОП}}^{\text{max}}}. \quad (3)$$

Эффективная мощность двигателя зависит в первую очередь от его технического состояния, т.е. того, с какой эффективностью химическая энергия топлива превращается в механическую. Потенциальная мощность сгорающих в цилиндре газов описывается индикаторной мощностью:

$$N_i = N_e + N_{\text{П}}^{\text{Д}}; \quad (4)$$

$$N_{\text{П}}^{\text{Д}} = M_{\text{ОП}}^{\text{В}} \omega. \quad (5)$$

где  $N_{\text{П}}^{\text{Д}}$  – потери мощности в двигателе, Вт;

$M_{\text{ОП}}^{\text{В}}$  – обратный крутящий момент двигателя, расходуемый на привод вспомогательных механизмов, Нм.

Следовательно, индикаторную мощность двигателя можно определить:

$$N_i = (M_{\text{ОП}} + M_{\text{ОП}}^{\text{В}}) \omega \quad (6)$$

Величина индикаторной мощности также может изменяться в процессе эксплуатации двигателя за счет изменения цикловой подачи топлива, остальные неисправности двигателя приводят к изменению его эффективной мощности.

Эффективность работы машины характеризуется эффективностью использования мощности двигателя, которую можно представить следующим образом:

$$N_e = N_{\text{КР}} + N_{\text{ВОМ}} + N_{\eta} + N_{\delta} + N_f \pm N_{\text{ПОД}} + N_j, \quad (7)$$

где  $N_{кр}$  – крюковая мощность машины Вт;

$N_{вом}$  – затраты мощности на привод рабочих органов машин через вал отбора мощности, Вт;

$N_{\eta}$  – потери мощности в трансмиссии машины, Вт;

$N_{\delta}$  – потери мощности на буксование и извилистый ход, Вт;

$N_f$  – потери мощности на перекачивание колес, Вт;

$N_{под}$  – потери мощности на преодоление подъема, Вт;

$N_j$  – потери мощности на преодоление сил инерции, Вт;

Анализ функционирования представленной системы в условиях эксплуатации позволил установить, что величина  $N_{\eta}$  зависит, в основном, от температуры масла в агрегатах трансмиссии и за период эксплуатации машины изменяется незначительно [2]. Эксплуатация машин в сельском хозяйстве позволяет достичь оптимальных значений температуры масла в трансмиссии и, следовательно, оптимальных значений КПД трансмиссии.

Величина  $N_{\delta}$  зависит от конструктивных параметров движителей, скорости движения машины и величины используемого крюкового усилия, а также от неуправляемого фактора – типа и состояния почвы. Данные факторы учитываются на стадии комплектования машинно-тракторного агрегата и не изменяются в процессе эксплуатации машины.

Потери мощности на перекачивание колес зависит от сил сопротивления перекачиванию машины, т.е. от конструкции движителей и от текущего давления воздуха в шинах, которое контролируется при периодическом обслуживании и можно также считать постоянным в процессе эксплуатации.

Мощность, расходуемая на величину подъема машины  $N_{под}$ , зависит от неуправляемых факторов – массы поступательнодвигающихся и момента инерции вращающихся частей машины, снижают крюковую мощность при разгоне машины и увеличивают мощность при снижении ее скорости.

Потери мощности в машине при эксплуатации с определенной долей точности можно принять постоянными в условиях выполнения полевых работ при соблюдении технологии технического обслуживания и ремонта и могут быть оценены следующим образом:

$$N_{\Pi}^{\text{TP}} = N_{\eta} + N_f = M_{\text{ОП}}^{\text{xx}} \omega; \quad (8)$$

$$N_{\delta} = M_{\text{ОП}} \omega \eta_m \delta; \quad (9)$$

$$\delta = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\text{Д}}}; \quad (10)$$

$$N_{\text{ПОД}} = (M_{\text{ОП}}^{\text{ПОД}} - M_{\text{ОП}}^{\text{xx}}) \omega; \quad (11)$$

Следовательно, используя в качестве диагностического сигнала величину обратного крутящего момента двигателя, можно оценить действительную эффективность эксплуатации машин при условии контроля часового расхода топлива.

Внедрение информационных систем в стандартный процесс диагностики, позволяет сократить трудоемкость многих операций с учетом автоматизации получения и обработки информации о техническом состоянии двигателя различных типов [3, 4].

Для стабильной работы подобной системы, необходимо включить в нее несколько элементов, которые будут выполнять строго определенный круг задач. Интеллектуальная система будет базироваться на принципах функционирования нейронной сети, способной выполнять анализ, обработку и передачу полученных данных в ходе диагностики оператору.

Для получения информации о техническом состоянии машин можно использовать импульсно-силовые датчики, установленные на опорах диагностируемого агрегата. Дополнительно датчики предлагается оборудовать аналого-цифровым преобразователем, позволяющим перевести информацию в цифровой вид.

Для разработки предлагаемой системы диагностирования в качестве исходной информации предлагается использовать данные теоретических и экспериментальных исследований, опубликованных ранее [5].

В предлагаемом варианте использования искусственной нейронной сети предусмотрена возможность ее дальнейшего обучения посредством информационной базы (датасет), содержащей внутри себя примеры с истинными значениями, которые позволят не только обучить нейронную сеть, но и понимать успешность работы системы [6].

Базовым элементом нейронной сети является нейрон. При получении сигнала он обрабатывает его и в зависимости от выставленных ранее факторов либо остается отрицательным (0) и ничего не делает, либо генерирует потенциал действия, который по средствам синапсов (связей между нейронами) передает сигнал соседним нейронам. Схема используемой нейронной сети представлена на рис. 1.

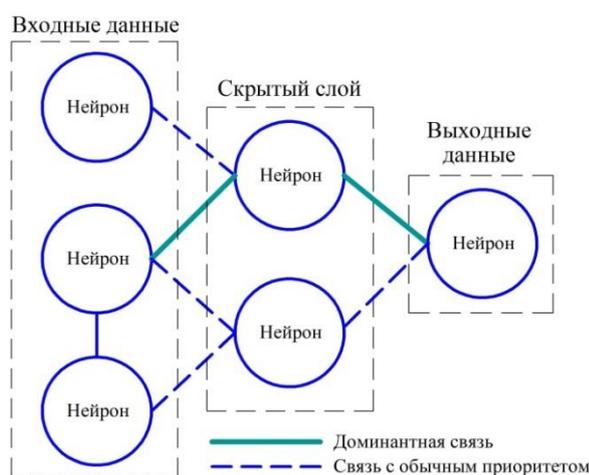


Рис. 1. Схема используемой нейронной сети

Взаимосвязи между нейронами позволяют информации внутри нейронной сети передвигаться в строго определенном направлении. У каждой нейронной связи есть свой вес, позволяющий указывать доминацию определенных нейронов, чем выше вес нейронной связи, тем выше его доминация [6].

Так же нейронная сеть разделяется на 3 слоя работы с данными. Первая группа является входными данными (входным слоем) – цифровая информация, получаемая из определенного источника (данные от датчика, выбранный оператором симптом поломки и т.д.). Вторая группа является скрытым слоем нейронов. Данный слой является структурой, запоминающей примеры нахождения зависимостей и необходимого значения. В конце

Сацкевич Н.Е., Курносков А.Ф., Галынский А.А.  
Интеллектуальная система диагностирования транспортных и технологических машин  
на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

информация передается на выходной слой, где система выдает необходимый параметр, с помощью которого возможно сделать вывод о техническом состоянии агрегата.

В предлагаемой интеллектуальной системе работает 2 концепта получения информации о состоянии транспортных и технологических машин. Они имеют схожую структуру нейронной сети, но анализируют разную информацию, и представляют общий концепт о техническом состоянии и эффективности работы транспортных и технологических машин.

Первостепенной задачей, с которой работает система, является анализ эффективности работы двигателя. Для решения данной задачи внутри сети выделяется подсистема, которая занимается анализом входных данных: величина крутящего момента двигателя, частота вращения двигателя, часовой расход топлива. Обработка входных данных, происходит путем активации определенной категории. Каждый входной блок определяет, становится ли он активным, либо неактивным. Первое прописанное значение для активации блока регулируется оператором, в последующем – посредством обучения самой системой. Так же учитывается, что некоторые показатели эффективности являются более доминирующими (крутящий момент), поэтому вес данных взаимосвязей будет больше.

Далее в скрытом слое происходит анализ полученных данных, путем сравнения их значений с другими показателями, в результате чего вес взаимосвязей складывается, и на выходе получается первый тип информации – бикатегориальные данные. Так, например, получив определенное значение крутящего момента и показателей экономической работы двигателя их значения складываются, если полученное значение превышает сумму выходных данных, выходной блок указывает на эффективную работу двигателя или наоборот.

Вторым типом выходных данных являются категории. Данный вид выводимой информации позволит нам оценивать эффективность работы двигателя с учетом различных категорий эффективности, таких как: мощность двигателя, показатели крутящего момента, часовой расход топлива и т.д. Данный блок информации позволит более точно провести анализ полученных значений, а так же в будущем отрегулировать систему таким образом, чтобы после получения одного блока выводимых данных система

Сацкевич Н.Е., Курносое А.Ф., Галынский А.А.  
**Интеллектуальная система диагностирования транспортных и технологических машин  
на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя**  
-----  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**

могла спрогнозировать изменение других блоков. Кроме для удобства скрытые слои можно комбинировать в нужный оператору образ.

В таблице 1 представлен перечень показателей эффективности работы двигателя, с которым может работать система

Таблица 1. Основные показатели работы двигателя

Название	Измерение	Описание
1	2	3
Крутящий момент	Нм	Используется в качестве основного диагностического параметра двигателя
Мощность	кВт	Используется в качестве показателя эффективности работы двигателя
Часовой расход топлива	кг/ч	На основании измерений штатных или дополнительных систем

В итоге после построения первоначальной системы с использованием языка программирования «Python» и инструментария для нейронной сети «TensorFlow» можно представить главный элемент работы нейронной сети – ее обучение (рис. 2).

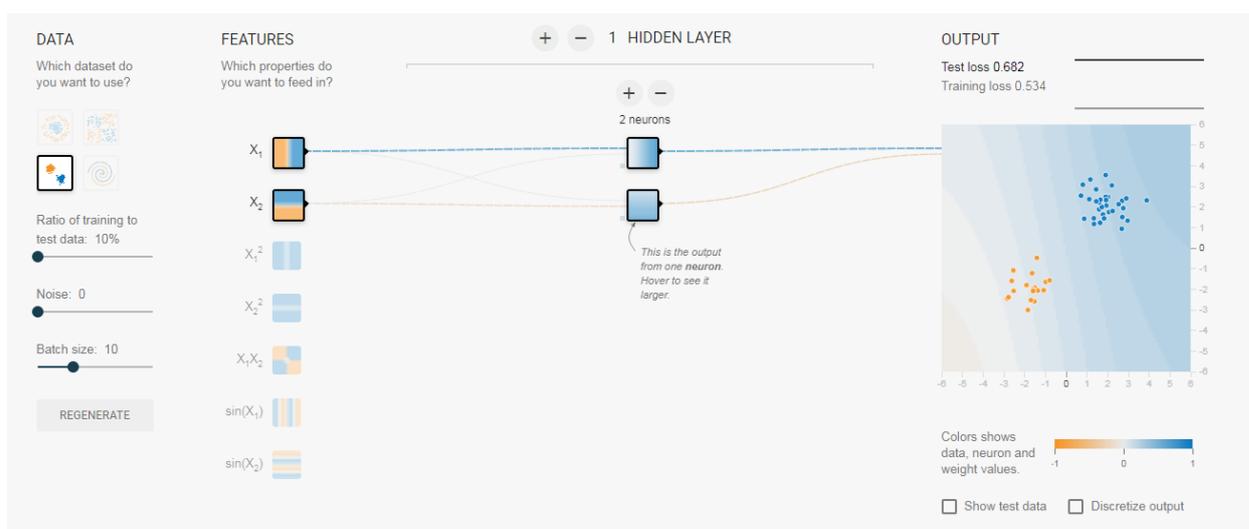


Рис. 2. Окно рабочей программы «TensorFlow» в момент обучения нейронной сети

Как видно из рис. 2, вводные данные, обозначенные литерами  $X_1$  и  $X_2$ , анализируются системой посредством сверки веса каждой взаимосвязи системы, далее за счет скрытого слоя происходит вывод полученных данных. В нашем случае мы присвоили вводным ячейкам активацию при получении информации с импульсно-силовых датчиков для  $X_1$  – 300 Н·м, а для  $X_2$  – 25 Н·м. После чего каждой взаимосвязи был присвоен вес – соответственно 0,5 и 1. Таким образом, при получении информации с датчиков о величине обратного крутящего момента 300 Н·м, происходит активация данной ячейки и за счет анализа веса взаимосвязи происходит вывод информации. В этом случае работа двигателя является эффективной. При активации водной ячейки  $X_2$  происходит обратное, устройство указывает на ошибку вывода, тем самым указывая на не эффективные показатели.

Далее для обучения нейронной сети необходимо создать алгоритм обучения. Сам процесс обучения представляет собой подбор веса взаимосвязей, с дальнейшим получением необходимого ответа. Для внедрения полной базы всех вводных показателей эффективности в будущем необходимо внедрить подстроенную под разрабатываемую нейронную сеть базу данных.

Следует отметить, что предложенная система диагностирования проводит самообучение, основываясь на вероятностном методе выявления отказов. Данный процесс может быть значительно упрощен путем внесения вводных данных в виде симптомов. Особенностью данного вида обучения является то, что вносимые данные могут иметь непостоянный характер в зависимости условий эксплуатации, но система все равно с высокой вероятностью сможет предсказать отказ.

### **Выводы**

Установлено, что основные параметры эффективности работы машин возможно оценить по величине импульсно-силовых характеристик двигателя.

Предложена интеллектуальная самообучающаяся система диагностирования и оценки эффективности работы машин по величине импульсно-силовых характеристик двигателя. В основу диагностической системы заложены принципы работы искусственной нейронной сети, что создает возможность самообучения системы без участия оператора.

Сацкевич Н.Е., Курносов А.Ф., Галынский А.А.  
Интеллектуальная система диагностирования транспортных и технологических машин  
на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

**Список использованных источников**

1. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: учеб. Пособие для студ. учреждений высш. образования / Ю.Н. Блынский, А.А. Долгушин, Д.М. Воронин [и др.]; под ред. Ю.Н. Блынского; Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020. – С 23-35.
2. Буравкин Р.В. Совершенствование процесса передачи мощности трансмиссией дорожно-строительных машин в условиях холодного климата (на примере автогрейдера ДЗ-98): автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.В. Буравкин. – Омск, 2011. – 18 с.
3. Жернаков С. В. Применение технологии нейронных сетей для диагностики технического состояния авиационных двигателей //Интеллектуальные системы в производстве. – 2006. – №. 2. – С. 70-83.
4. Лютин К. И. Вибродиагностика систем ДВС с использованием нейронных сетей / К.И. Лютин, В.Е. Федянов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2007. – Т. 2. – №. 8. – С. 88-90.
5. Курносов А.Ф., Гуськов Ю.А. Импульсно-силовой способ оценки технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания // АгроЭкоИнфо. – 2020, №3. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st\\_319.pdf](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_319.pdf).
6. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей // А. Кадурич, С. Николенко, Е. Архангельская - СПб.: Питер.–2018. – 480 с.

=====

**Цитирование:**

Сацкевич Н.Е., Курносов А.Ф., Галынский А.А. Интеллектуальная система диагностирования транспортных и технологических машин на основе идентифицированных импульсно-силовых характеристик двигателя// АгроЭкоИнфо. – 2020, №4. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st\\_402.pdf](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_402.pdf)