

УДК 656.25:004.942

С. В. Белоусов

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПРОЯВЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДНЫХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ГРАФИКЕ МОЩНОСТИ ПЕРЕВОДА

Проведены исследования неисправностей стрелочного переводного с электродвигателями переменного тока. Установлены: наличие переходного сопротивления на фазах питания электродвигателя, наличие короткого замыкания (тока утечки) между фазами электродвигателя, разрегулировка сцепления фрикционного механизма стрелочного электропривода, загрязнение стрелочных башмаков стрелочного перевода, наличие самопроизвольного движения острия, увеличенное усилие при запираиии шибера. Представлены графики мощности перевода, характерные для этих неисправностей. Проанализированы графики мощности перевода стрелки для разных неисправностей, выполнено сравнение графиков неисправных состояний с графиком исправного состояния. Выявлены основные признаки проявления каждой неисправности на графике мощности перевода. На основе анализа графиков выделены и рассчитаны средние значения диагностических критериев оценки различных состояний стрелочного переводного устройства с электродвигателем переменного тока. Приведены формулы вычисления диагностических критериев. Расчет диагностических критериев позволил сформулировать требования к диагностической модели, согласно которым разработана диагностическая модель на основе комбинированного метода многокритериальной оценки диагностических параметров и теории нейронных сетей. Описана топология нейронной сети прямого распространения, обеспечивающая высококачественное диагностирование стрелочного переводного устройства с электродвигателями переменного тока.

техническое диагностирование; анализ диагностической информации; нейронная сеть; техническое состояние; обнаружение отказов

Введение

Стрелочное переводное устройство (СПУ) относится к одним из важнейших элементов систем электрической централизации, которое включает в себя стрелку, электропривод (СЭП) и схему управления. От исправной работы СПУ зависит безопасность и бесперебойность движения поездов. Для поддержания исправного состояния СПУ необходимо выполнять их своевременное надлежащее техническое обслуживание, так как узлы СПУ имеют территориальную рассредоточенность, а СЭП относится к напольным

устройствам железнодорожной автоматики и телемеханики и подвержен воздействию как климатических, так и механических факторов в условиях эксплуатации. В настоящее время основным видом технического обслуживания является регламентный, который занимает 80 % рабочего времени обслуживающего персонала. При регламентном обслуживании, как правило, половина отказов – это так называемые послепрофилактические. Согласно статистике [1], стрелочные электроприводы и гарнитура находятся на пятом месте (8,5 %) по числу отказов устройств в хозяйстве автоматики и телемеханики. Пятьдесят процентов отказов технических средств ЖАТ (5350 из 10691 за 2015 г.) приходится на эксплуатационные отказы, из них 93 % (5005) – отказы вследствие непредумышленных ошибочных действий обслуживающего персонала, а также его низкой квалификации и трудовой дисциплины. Такие отказы повлекли за собой задержки поездов более чем на 7000 часов и убытки более 15 млн рублей. Эти издержки возможно сократить, внедряя интеллектуальные системы диагностирования. Современные системы технической диагностики позволяют только осуществлять контроль диагностических параметров (ток, время и мощность перевода, контроль крайнего положения стрелки, сопротивление изоляции кабеля, напряжение питания контрольной цепи СУ) [2–6], а методы их анализа выявляют исключительно проявление неисправности. Поэтому актуальна разработка методов и алгоритмов, которые будут выявлять не только проявление неисправности, но и указывать на возможный неисправный элемент.

На сети железных дорог России проектируются и внедряются СЭП с электродвигателями переменного тока на смену СЭП с электродвигателями постоянного из-за их ненадежной работы (наличие коллекторно-щеточного узла в электродвигателе (ЭД)).

Рассмотрим диагностирование СПУ с пятипроводной схемой управления.

1 Постановка задачи

В соответствии с анализом статистических данных и особенностью работы СПУ необходимо разработать методы и алгоритмы их диагностирования на основе исследования изменений диагностического параметра при различных видах неисправностей.

2 Выбор диагностических параметров

В диссертационной работе «Методы диагностирования и прогнозирования технического состояния стрелочного переводного устройства»

С. В. Бочкарев [7] показал возможность эффективного диагностирования стрелочных переводных устройств с применением диагностической модели, использующей комбинированный метод многокритериальной оценки диагностического параметра и теории нейронных сетей. Однако предложенный им диагностический параметр «ток перевода стрелки», позволяющий производить эффективную диагностику СПУ с электродвигателями постоянного тока, не подходит для диагностики СПУ с электродвигателями переменного тока. Необходимо было выбрать другой диагностический параметр, позволяющий провести диагностирование таких устройств, и соответственно разработать диагностические критерии, в полной мере описывающие изменение диагностического параметра при различных видах неисправностей. Для выбора диагностических параметров СПУ были рассмотрены и классифицированы отказы и технические состояния, к которым они приводят.

Среди существующих измерений в системе технического диагностирования и мониторинга (СТДМ), позволяющих обнаруживать возможные неисправности СПУ с электродвигателем переменного тока, – мощность перевода стрелки. Для анализа мощности перевода стрелки проведены испытания на стрелках следующих станций: Иванцево Московской железной дороги, Обухово и Колпино – Октябрьской. В ходе испытаний установлено, что при имитации неисправностей СПУ график мощности перевода изменял свою форму, что позволяет определить соответствующее техническое состояние. Для каждого вида неисправностей было произведено 10 переводов стрелки.

Характеристики устройств, использованных в исследовании, приведены в табл. 1.

При исследовании была произведена имитация следующих неисправностей, характерных для стрелок с электродвигателем переменного тока.

Таблица 1. Характеристики исследуемых устройств

№ п/п	Станция	Устройство	Двигатель	Контроллер	Тип рельса	Марка крестовины
1	ШЧ-6, ст. СПСМ, парк Обухово, Октябрьская ж. д.	Стрелка № 24	МСА-0,3	УМК-СП	Р65	1/11
2	ШЧ-6, ст. СПСМ, парк Обухово, Октябрьская ж. д.	Стрелка № 32	МСА-0,3	УМК-СП	Р65	1/11
3	ШЧ-5, ст. Колпино, Октябрьская ж. д.	Стрелка № 27	МСА-0,3	АДСП	Р65	1/11
4	ШЧ-14, ст. Иванцево, Московская ж. д.	Стрелка № 12	МСА-0,3	АДСП	Р65	1/11
5	ШЧ-14, ст. Иванцево, Московская ж. д.	Стрелка № 14 СО	МСА-0,3	АДСП	Р65	1/11

1. Наличие переходного сопротивления на фазах питания ЭД. Неисправность может проявляться при загрязнении и окислении соединительных клемм на фазах ЭД, при нарушении монтажа в рабочих цепях или плохом контакте соединений в стрелочных муфтах кабельной сети. Для имитации неисправности в разрыв цепи одной из фаз подключался резистор. Опытным путем установлено, что для имитации этой неисправности следует выбирать сопротивление R_{Π} не более 150 Ом. При сопротивлении R_{Π} более 150 Ом энергии для запуска перевода стрелки не хватает.

2. Наличие короткого замыкания (тока утечки) между фазами ЭД. Причиной этой неисправности чаще всего является нарушение изоляции кабеля питания ЭД. Для имитации неисправности две фазы были замкнуты некоротко через резистор. Опытным путем установлено, что для имитации этой неисправности следует выбирать сопротивление R_{Π} не менее 120 Ом. При сопротивлении R_{Π} менее 120 Ом повышается вероятность сгорания предохранителей питающих цепей.

3. Разрегулировка сцепления фрикционного механизма стрелочного электропривода. Разрегулировка фрикционного сцепления в сторону ослабления усилия работы на фрикцию может привести к ситуации, когда под воздействием внешних факторов (наледь, набивание снега, запесоченность стрелочных башмаков) стрелка не переведется, так как ей не хватит усилия для преодоления влияния этих факторов. При разрегулировке фрикционного механизма в сторону увеличения усилия, при работе на фрикцию может возникнуть чрезмерная нагрузка на механизмы, снижающая общий ресурс работы.

4. Загрязнение стрелочных башмаков стрелочного перевода. Эта неисправность проявляется при отсутствии смазки или наличии сильного загрязнения (песок, снег) на стрелочных башмаках. Для имитации неисправности с помощью лома создавались помехи для перевода острия из одного крайнего положения в другое.

5. Наличие самопроизвольного движения острия. Основные причины этой неисправности:

- затянутость болта в корне острия;
- неисправность корневого крепления;
- неисправность распорных втулок;
- нарушение геометрии острия;
- смещение положения острия относительно башмаков;
- наличие зазора в корневом стыке острия (не менее 4 мм).

Имитация рассматриваемой неисправности не проводилась. Пример графиков был взят из архивов СТДМ.

6. Увеличенное усилие при запирации шибера. Основные причины этой неисправности:

- зажатие корня острия (не касается гибких острия); вкладышно-накладочное скрепление подразумевает зазор не менее 4 мм в корне поворотного острия;

– нарушение геометрии (эпюра) стрелочного привода, т. е. непараллельное прилегание остряка к рамному рельсу «не по строжке»; имитация рассматриваемой неисправности не проводилась, пример графиков был взят из архивов СТДМ.

3 Анализ диагностических параметров

Скорость обработки информации позволяет с высокой точностью отследить изменение мощности перевода во время работы двигателя. Форма графика мощности перевода определяется состоянием элементов ЭД и механических частей СЭП (рис. 1–12).

Для выявления и анализа характерных признаков неисправностей проведено сравнение графиков неисправного перевода с графиком исправного перевода одной и той же стрелки. Например, наличие переходного сопротивления в фазах ЭД проявляется на графике мощности уменьшением значения пускового пика и увеличением его длительности, а также увеличивается среднее значение мощности перевода стрелки (рис. 13); короткое замыкание между фазами питания ЭД проявляется в виде увеличенной мощности при пуске двигателя и в рабочей зоне (рис. 14); загрязнение стрелочных башмаков – в виде сильной неравномерности графика в рабочей зоне и повышенной мощности перевода (рис. 15); наличие самопроизвольного движения остряков – в виде просадки мощности до уровня холостого хода после отпирания (рис. 16); увеличенное усилие при запираии шибера – в виде резкого роста потребляемой мощности в конце перевода (рис. 17). Неправильная регулировка фрикционного сцепления проявляется в увеличении уровня мощности при работе на фрикцию относительно уровня мощности исправного перевода менее чем на 20% или более чем на 30% [8] (рис. 18).

В результате анализа изменений мощности перевода при разных неисправностях были выделены диагностические критерии (ДКП) [9] для создания диагностической модели СПУ по мощности перевода стрелки (табл. 2):

- d_1 – среднее значение мощности в рабочей зоне, Вт;
- d_2 – дисперсия мощности в рабочей зоне, Вт;
- d_3 – среднее изменение мощности в рабочей зоне, Вт;
- d_4 – медиана мощности в рабочей зоне, Вт;
- d_5 – площадь рабочей зоны, Дж;
- d_6 – длительность запуска двигателя, с;
- d_7 – максимальное отклонение от медианы, Вт;
- d_8 – количество максимумов на графике мощности рабочей зоны;
- d_9 – мощности запираия стрелки, Вт;
- d_{10} – длительность перевода, с.



Рис. 1. Проявление переходного сопротивления в фазах ЭД на графике мощности перевода

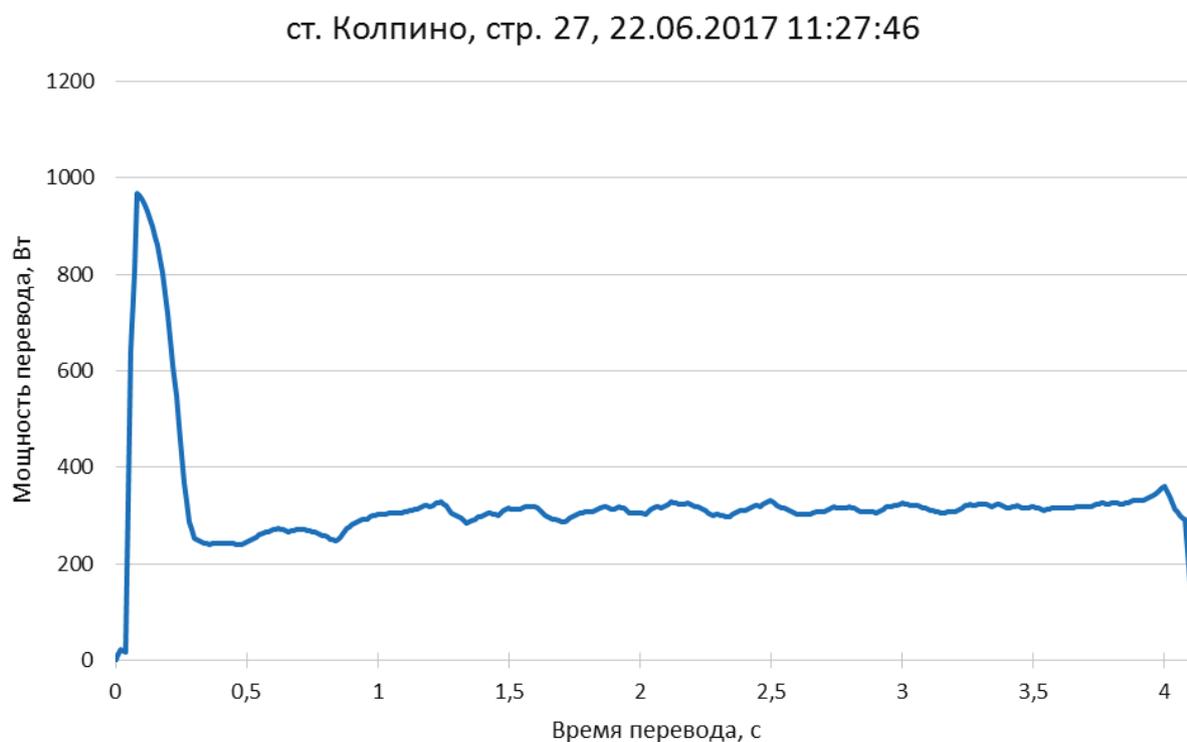


Рис. 2. Проявление короткого замыкания между фазами питания ЭД на графике мощности перевода

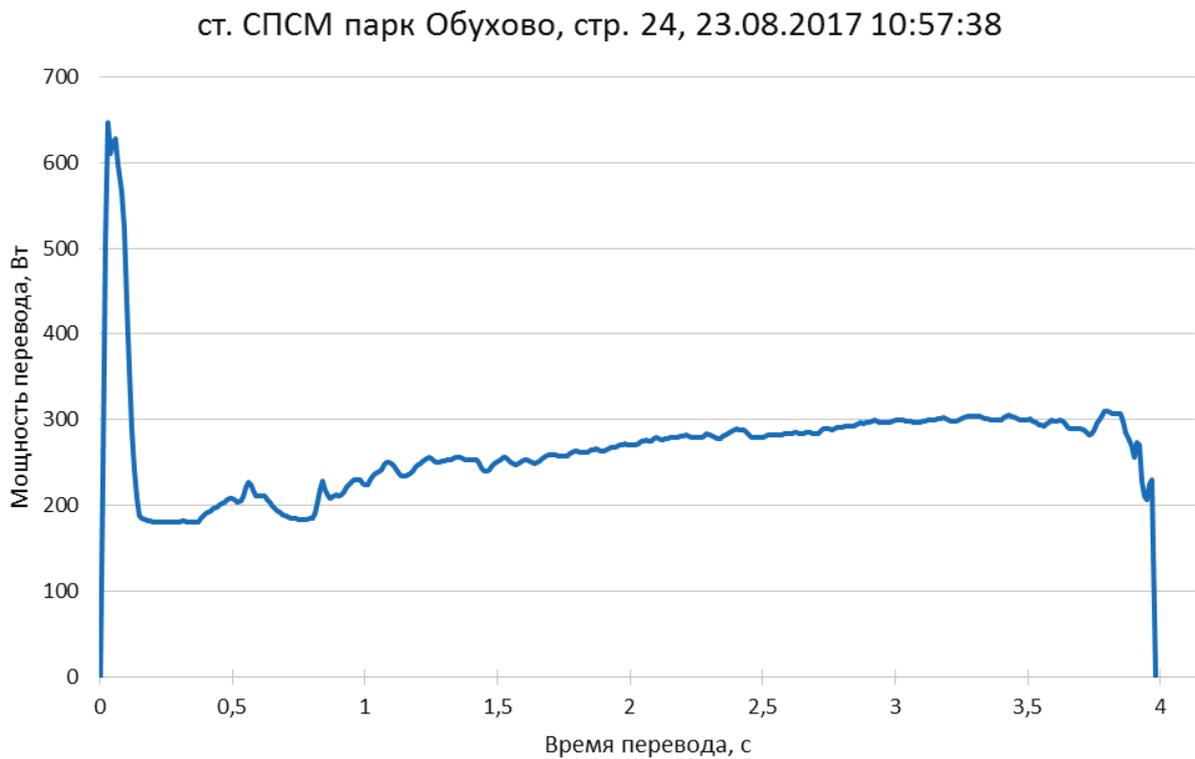


Рис. 3. Проявление разрегулировки сцепления фрикционного механизма стрелочного электропривода на графике мощности перевода

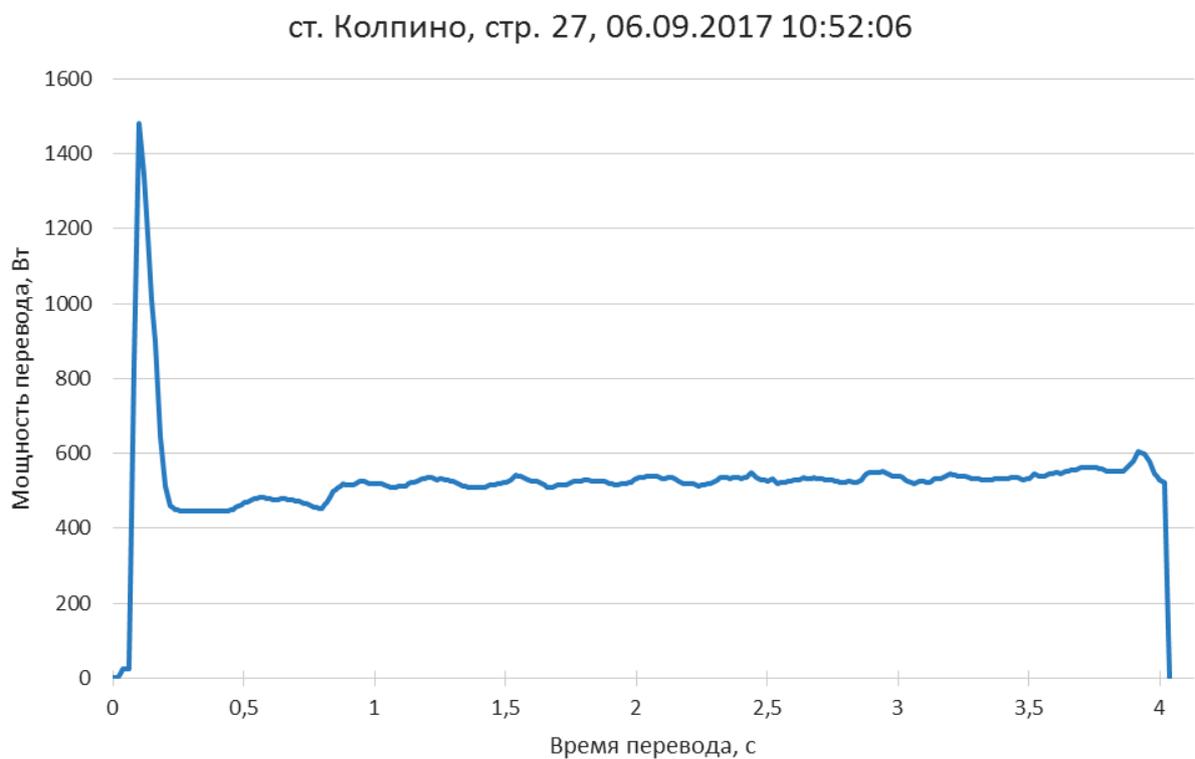


Рис. 4. Проявление загрязнения стрелочных башмаков на графике мощности перевода



Рис. 5. Проявление самопроизвольного движения острияков на графике мощности перевода

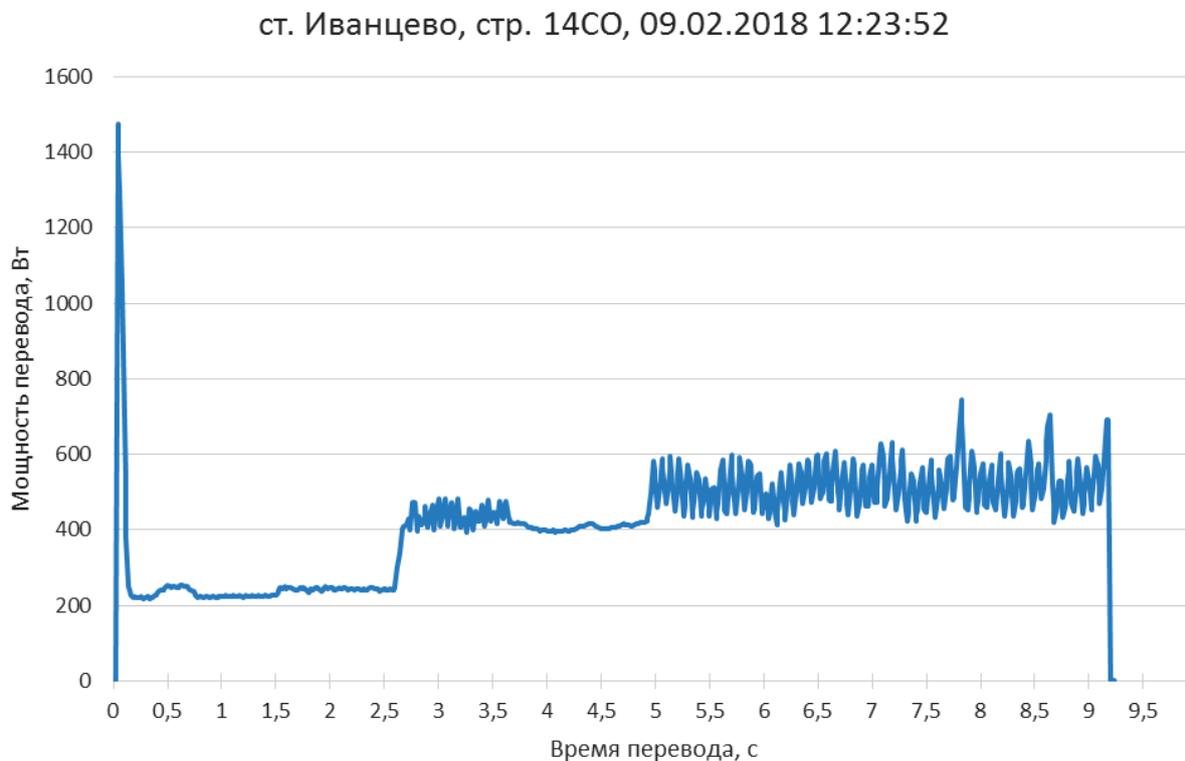


Рис. 6. Проявление увеличенного усилия при заперении шибера на графике мощности перевода



Рис. 7. Сравнение графиков мощности перевода исправной стрелки и стрелки, находящейся в неисправном состоянии



Рис. 8. Проявление загрязнений стрелочных башмаков на графике мощности перевода

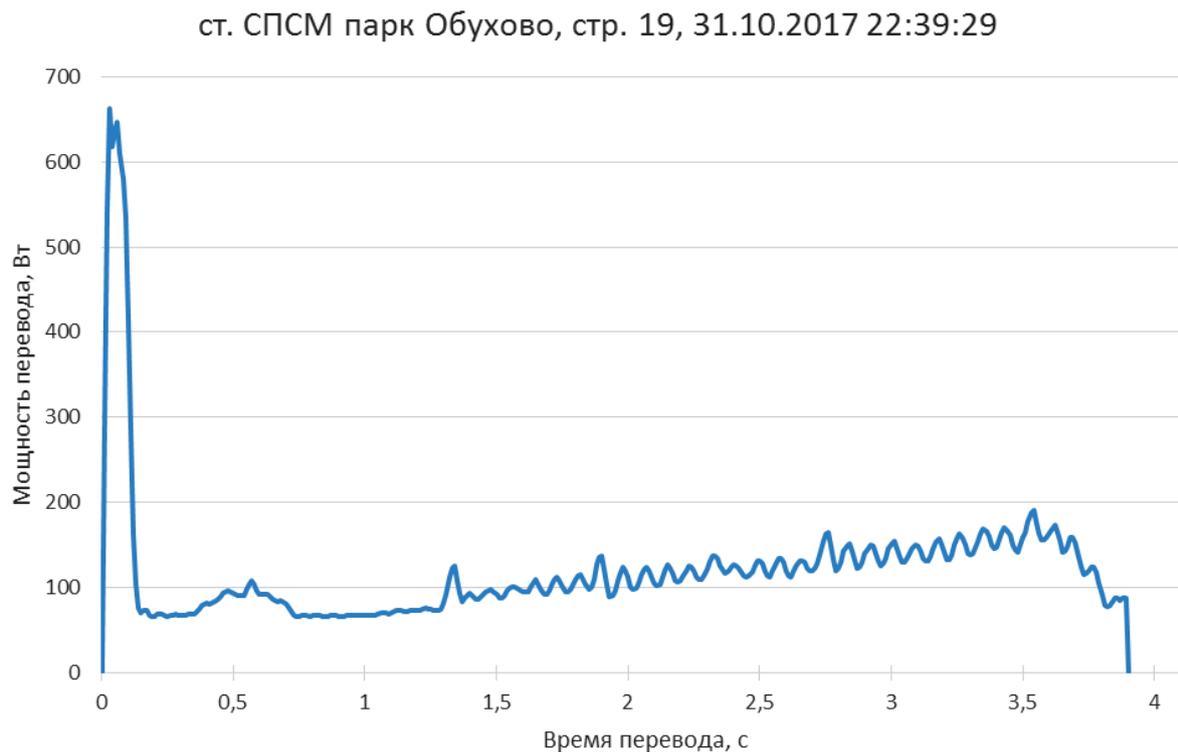


Рис. 9. Проявление самопроизвольного движения остряков на графике мощности перевода

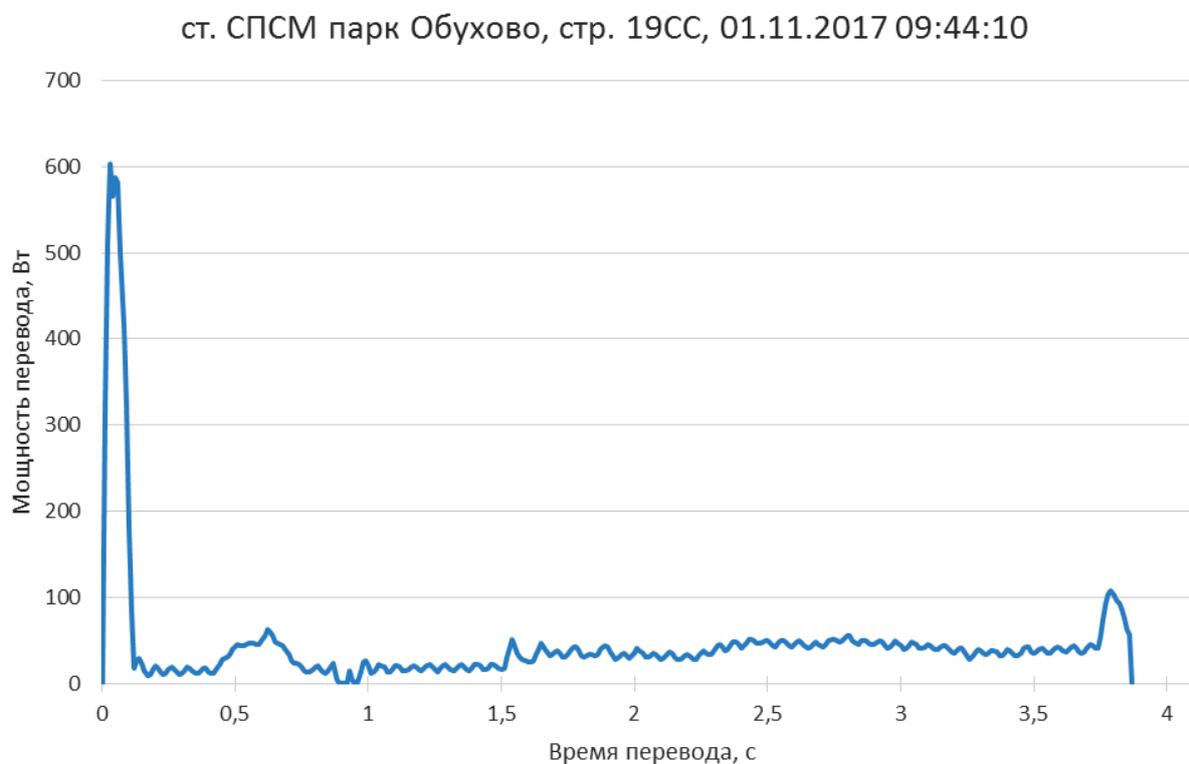


Рис. 10. Проявление самопроизвольного движения остряков на графике мощности перевода



Рис. 11. Проявление увеличенного усилия при заперении шибера на графике мощности перевода

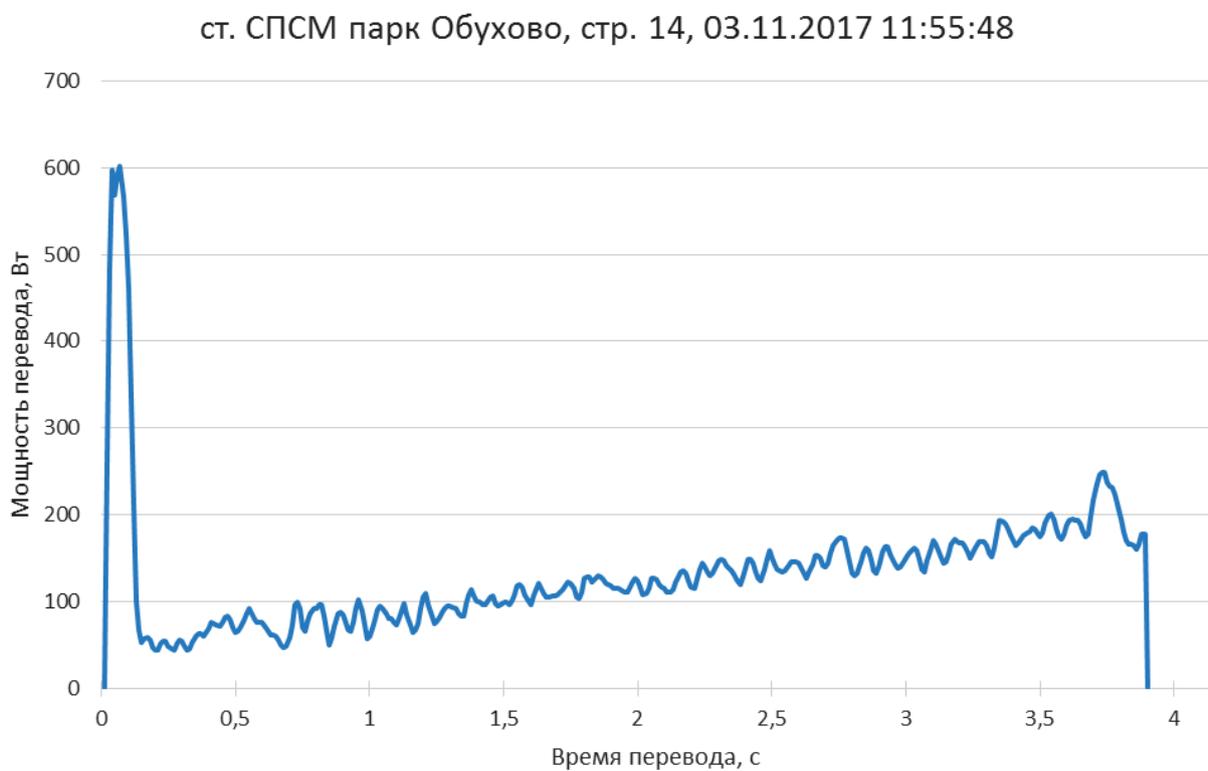


Рис. 12. Проявление увеличенного усилия при заперении шибера на графике мощности перевода



Рис. 13. Сравнение графиков мощности перевода исправной стрелки и стрелки, находящейся в неисправном состоянии (наличие переходного сопротивления в фазах ЭД)

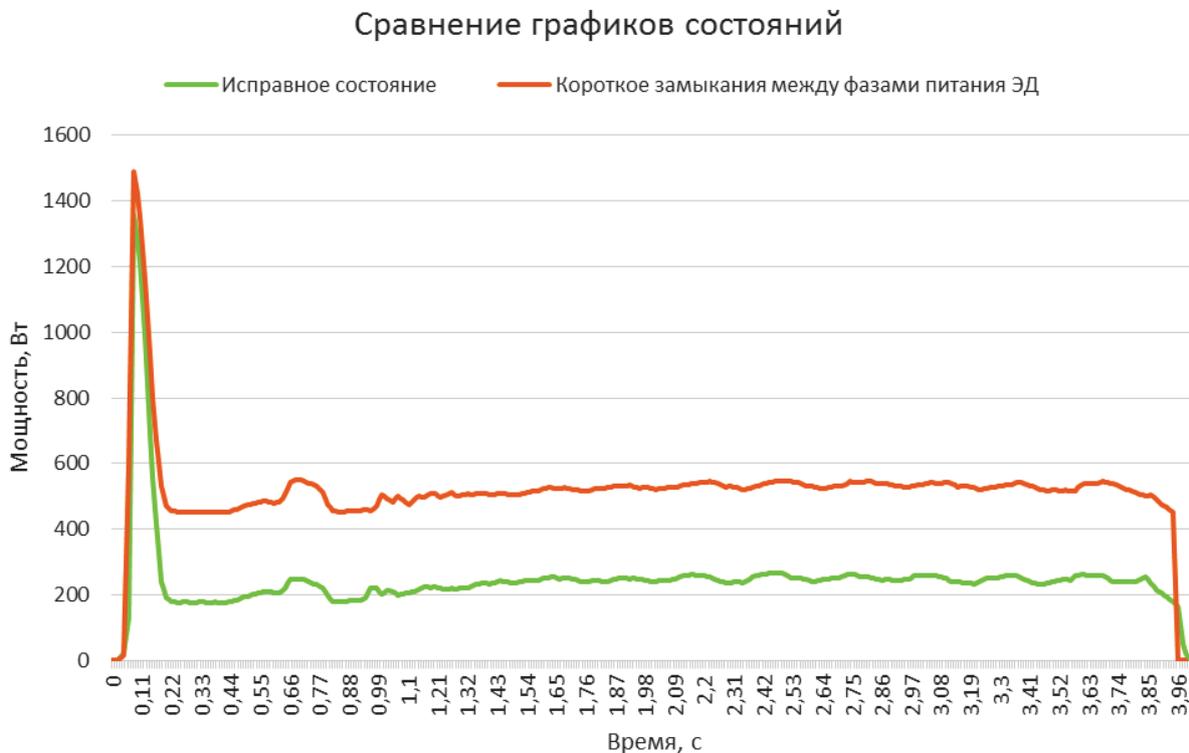


Рис. 14. Сравнение графиков мощности перевода исправной стрелки и стрелки, находящейся в неисправном состоянии (наличие короткого замыкания между фазами питания ЭД)



Рис. 15. Сравнение графиков мощности перевода исправной стрелки и стрелки с загрязненными стрелочными башмаками



Рис. 16. Сравнение графиков мощности перевода исправной стрелки и стрелки с наличием самопроизвольного движения острия



Рис. 17. Сравнение графиков мощности перевода исправной стрелки и стрелки с увеличенным усилием заперания шибера

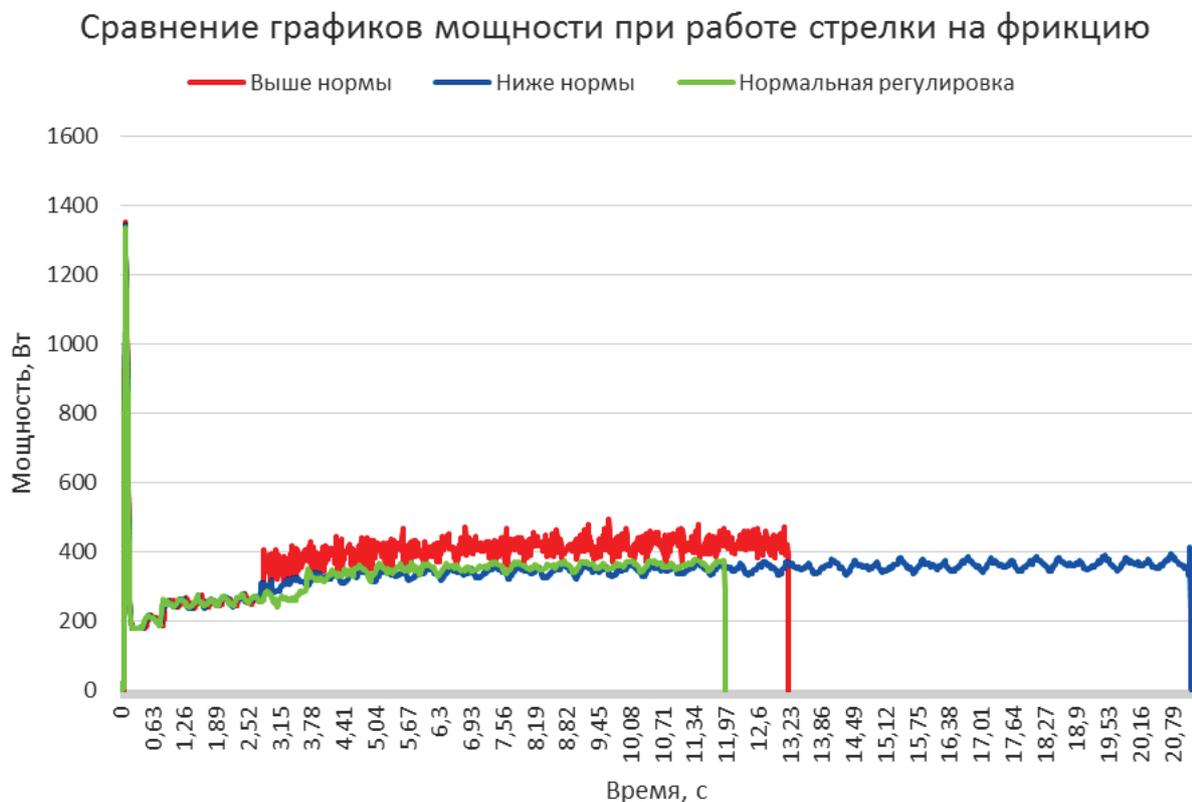


Рис. 18. Сравнение графиков мощности перевода при работе на фрикцию и различных регулировках фрикционного сцепления

Таблица 2. Средние значения диагностических критериев

Состояние	Диагностические критерии				
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
Исправное	257±36	12,9±9	2,27±0,7	258,5±18,5	722±90
Короткое замыкание между фазами питания ЭД	513±20	17,3±12,7	2,5±1,2	516±17	1482±145
Переходное сопротивление в фазах ЭД	310±19	13,6±10,3	1,82±0,64	311±19	887±223
Загрязнение стрелочных башмаков	359±120	56,2±36	5,44±2,11	370±90	2093±713
Состояние	Диагностические критерии				
	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
Исправное	0,143±0,013	76,3±60	32±5	304±90	4±0,1
Короткое замыкание между фазами питания ЭД	0,157±0,027	137,5±115	31±2	570±50	4±0,1
Переходное сопротивление в фазах ЭД	0,284±0,046	87,1±69	25±13	355±53	4,1±0,15
Загрязнение стрелочных башмаков	0,134±0,1	190±33	62±30	390±62	6,75±1,6

Для расчета среднего значения мощности в рабочей зоне d_1 используется следующая формула:

$$d_1 = \frac{\sum_{i=1}^N p_i}{N}, \quad (1)$$

где N – число отсчетов в рабочей зоне перевода; p_i – мощность i -го отсчета.

Для расчета дисперсии мощности в рабочей зоне d_2 используется следующая формула:

$$d_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (p_i - d_1)^2}{N}, \quad (2)$$

Для расчета среднего изменения мощности в рабочей зоне d_3 используется выражение:

$$d_3 = \frac{\sum_{i=2}^N (p_i - p_{i-1})}{N-1}. \quad (3)$$

Для расчета медианы мощности в рабочей зоне d_4 все точки рабочей зоны $P_{p.3}$ сортируются по возрастанию, образуя вектор $P^{\text{сорт}}$ длиной N . Диагностический параметр d_4 находится по формуле:

$$d_4 = \begin{cases} P_i^{\text{сорт}}, i = \frac{N+1}{2}, \text{если } N - \text{нечетное;} \\ \frac{P_i^{\text{сорт}} + P_{i+1}^{\text{сорт}}}{2}, i = \frac{N}{2}, \text{если } N - \text{четное,} \end{cases} \quad (4)$$

где $P_i^{\text{сорт}}$ – значение i -го элемента вектора $P^{\text{сорт}}$.

Расчет площади рабочей зоны d_5 осуществляется по формуле:

$$d_5 = \sum_{i=2}^N \frac{(p_i + p_{i-1}) \cdot t}{2}, \quad (5)$$

где t – время между двумя отсчетами, с.

Для определения длительности запуска двигателя d_6 из вектора значений мощности перевода P выделяется вектор значений пусковой зоны $P_{п.з}$. Затем значение параметра находится по формуле:

$$d_6 = M \cdot t, \quad (6)$$

где M – число отсчетов в пусковой зоне перевода.

Максимальное отклонение от медианы d_7 вычисляется по формуле:

$$d_7 = \max P^\Delta, p_i^\Delta = |p_i - d_4|, i = 1, \dots, N, \quad (7)$$

где \max – максимальный элемент последовательности; P^Δ – вектор модулей отклонений отсчетов рабочей зоны от медианы; p_i^Δ – значение i -го элемента вектора P^Δ .

Количество максимумов на графике мощности рабочей зоны d_8 определяется как число K элементов множества M_p :

$$M_p = \{p \in P_{p.3} \mid (p_i > p_{i-1}) \wedge (p_i > p_{i+1}), i = 2, \dots, N-1\}. \quad (8)$$

Для определения мощности записания d_9 из вектора значений мощности перевода P выделяется вектор значений зоны записания $P_{3.3}$. Далее параметр находится по формуле:

$$d_9 = \max P_{3.3}. \quad (9)$$

Длительность всего перевода d_{10} вычисляется по формуле:

$$d_6 = Q \cdot t, \quad (10)$$

где Q – число отсчетов во всем графике мощности перевода стрелки.

Выделенные диагностические критерии при синтезе модели диагностирования необходимо использовать в совокупности, так как при выборе каждого по отдельности их значения с учетом допуска ($\pm\Delta$) будут пересекаться со значениями при других неисправностях.

Таким образом, необходимо разработать диагностическую модель, которая будет анализировать мощность перевода стрелки, позволяя сократить время на поиск места неисправности.

4 Требования к диагностической модели

Исходя из особенностей работы СПУ, сформулируем необходимые требования к математической модели с точки зрения диагностирования:

- непрерывность, поскольку рассматриваемый процесс протекает непрерывно;
- выбор диагностических критериев для анализа мощности перевода, чувствительных к изменениям характера, формы диагностических параметров, по которому определяется ТСУ СПУ;
- адаптивность (возможность корректировки параметров модели);
- универсальность при сетевом внедрении (устойчивость к внешним воздействиям, связанным с условиями эксплуатации, к изменениям процесса измерения диагностических параметров, связанного с калибровкой измерительного канала).

5 Синтез диагностической модели

Для исключения процедуры нормализации [10] входных данных из-за особенностей измерений в СТДМ, вызванной необходимостью выделения в нейросетевом методе диагностических областей и определения кратчайшего расстояния до них, была использована комбинация двух методов (рис. 19). Комбинированный метод позволил сохранить все преимущества нейросетевого метода, детально учитывая характер задачи. В таком случае входными данными для нейросетевого метода являлись ДКП, значения которых вычислялись методом многокритериальной оценки диагностического параметра [11, 12].

Пусть $DN1$ – исправный перевод стрелки, $DN2$ – короткое замыкание между фазами питания ЭД, $DN3$ – переходное сопротивление в фазах ЭД,

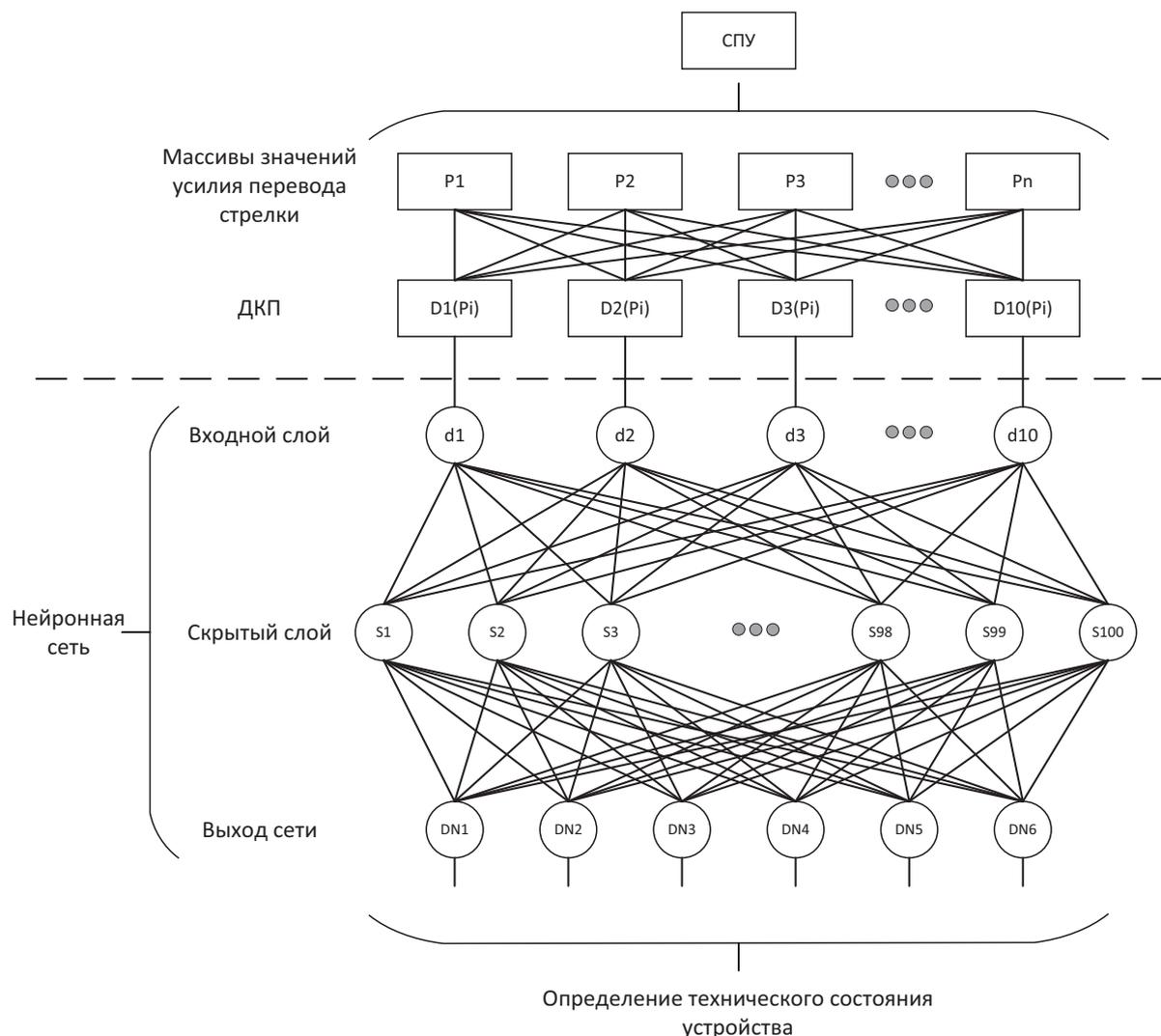


Рис. 19. Схема диагностической модели

$DN4$ – загрязнение стрелочных башмаков, $DN5$ – наличие самопроизвольного движения острия, $DN6$ – увеличенное усилие при запирации. По методу многокритериальной оценки параметра рассчитываются значения диагностических критериев $d_j\{P_i\}$ для каждого графика мощности перевода P_i . Далее полученные значения ДКП $d_j\{P_i\}$ подаются на вход нейронной сети.

Структура нейронной сети, предложенная С. В. Бочкаревым, оказалась не подходящей для анализа возросшего числа ДКП, так как обученная сеть показывает низкую точность распознавания на тестовой выборке. Поэтому структура сети была изменена для обеспечения более глубокого анализа. Размерность входного массива задана количеством ДКП, следовательно, число нейронов во входном слое $n = 10$. Для обучающей выборки были взяты графики из архива комплекса задач «Мониторинг» в количестве 1000 примеров на каждую DNk . На выходе нейросетевой модели получаем результат диагностирования СПУ: дается заключение об исправности устройства или

указывается список неисправностей, поэтому число нейронов в выходном слое $m = 6$. Для классификации графиков мощности перевода использовалась однослойная нейронная сеть. Число нейронов в промежуточном слое выбиралось экспериментальным путем и составило 100. При такой архитектуре нейронная сеть обучается наилучшим образом. Обучение однослойной сети также производилось методом RProp [13–16].

Заключение

В ходе испытаний, проведенных на Октябрьской и Московской железных дорогах, установлено, что при имитации неисправностей СПУ график мощности перевода изменял свою форму, что позволяет выявлять эти неисправности. Анализ полученных графиков мощности перевода стрелки показал возможность выявления неисправностей ЭД, элементов стрелочного перевода (загрязнение башмаков), что ранее не выявлялось в СТДМ существующими диагностическими моделями. Такой анализ стал предпосылкой для создания диагностической модели по мощности перевода.

Анализ изменения мощности перевода при разных неисправностях для синтеза диагностической модели по мощности перевода стрелки позволил выделить 10 отличительных характеристик: среднее значение мощности в рабочей зоне (Вт), дисперсию мощности в рабочей зоне (Вт), среднее изменение мощности в рабочей зоне (Вт), медиану мощности в рабочей зоне (Вт), медиану мощности в рабочей зоне (Вт), площадь рабочей зоны (Дж), длительность запуска двигателя (с), максимальное отклонение от медианы (Вт), количество максимумов на графике мощности рабочей зоны, мощности запирающей стрелки (Вт), длительность перевода (с). Как показывает анализ статистики графиков мощности перевода, необходимо выбирать не менее 10 характеристик, так как использование меньшего их количества приводит к низкой достоверности диагностирования. Расчет характеристик (см. табл. 2) отразил целесообразность их выбора в качестве диагностических критериев для синтеза диагностической модели. Результаты расчета выделенных диагностических критериев показали, что их необходимо использовать в совокупности, поскольку при выборе каждого по отдельности диагностического критерия их значения с учетом допуска ($\pm\Delta$) будут накладываться друг на друга, что не удовлетворяет требованию к диагностической модели.

Библиографический список

1. Анализ состояния безопасности движения поездов, надежности работы систем и устройств ЖАТ в хозяйстве автоматики и телемеханики Центральной

- дирекции инфраструктуры за 2015 год / ОАО «Российские железные дороги» ; Управление автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры. – М., 2016. – 86 с.
2. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
 3. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 124–148.
 4. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
 5. Лыков А. А. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт РФ. – 2012. – № 5. – С. 67–72.
 6. Ефанов Д. В. Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 54–59.
 7. Бочкарев С. В. Методы диагностирования и прогнозирования технического состояния стрелочного переводного устройства / С. В. Бочкарев. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2014. – 15 с.
 8. Инструкция по технической эксплуатации устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) ЦШ-720-09. – М. : ОАО «РЖД», 2009. – 94 с.
 9. Зуев Д. В. Исследование методов анализа диагностической информации для выявления неисправностей стрелочного электропривода / Д. В. Зуев, С. В. Бочкарев, С. В. Белоусов, М. К. Селезнева // Транспортные интеллектуальные системы : сб. материалов I Международной научно-практической конференции «Транспортные интеллектуальные системы – 2017» (TIS-2017), Санкт-Петербург, 16–17 февраля 2017 г. ; под. ред. Вал. В. Сапожникова, Д. В. Ефанова. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – С. 101–109.
 10. Белоусов С. В. Обработка нейронной сетью графика тока перевода стрелочного переводного устройства с электродвигателем постоянного тока / С. В. Белоусов // Информационные технологии на транспорте : сб. материалов секции «Информационные технологии на транспорте» Юбилейной XV Санкт-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 октября 2016 г. ; под. ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – С. 67–71.
 11. Бочкарев С. В. Метод определения технического состояния устройств железнодорожной автоматики / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков // Известия ПГУПС. – 2012. – Вып. 4 (33). – С. 38–45.
 12. Калявин В. П. Надежность и диагностика элементов электроустановок : учеб. пособие / В. П. Калявин, Л. М. Рыбаков // Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2009. – 336 с.
 13. Riedmiller M. A direct adaptive method for faster backpropagation learning : the RPROP algorithm / M. Riedmiller, H. Braun // Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks (ICNN), San Francisco, March 1993, ed. H. Ruspini. – Pp. 586–591.

14. Riedmiller M. Rprop – Description and Implementation Details. Technical Report / M. Riedmiller ; Karlsruhe Inst. f. Logik, Komplexität u. Deduktionssysteme, W-76128. – Karlsruhe, 1994. – 2 p.
15. LeCun Y. Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition / Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner // Proc. IEEE. – 1998. – Nov. – Pp. 1–46.
16. Благовещенская Е. А. О сходимости методов обучения нейронных сетей / Е. А. Благовещенская, Д. В. Зуев // Материалы XIX Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015). – Алушта, 2015. – С. 130–131.

Sergey V. Belousov

«Automation and remote control on railways» department
Petersburg State Transport University

Analysis of defects of railway point machine with AC engine using shifting power graph

The article describes experiments that allowed to analysis defects of railway point machine with AC engine using shifting power graph. These defects are transient resistance on engine power phase, leakage current between power phases, maladjustment of switch electric drive's friction clutch, pollution of switch shoe, switchblade's self-movement and high pressing force at locking moment. Different graphs specific to these defects are drawn. Defects' graphs are analyzed and are compared to right graphs. Average diagnostic criterions for every defect of railway point machine with AC engine are picked out basing on the analysis and are calculated. Calculation formulas of diagnostic criterions are written. Diagnostic criterions calculation allowed to formulate diagnostic model's requirements and to develop diagnostic model based on combined method of multi-criterions evaluation and neural network's theory. Neural nets with direct propagation topology are good for diagnostic of railway point machine with AC engine.

technical diagnostics; diagnostic information analysis; neural network; technical state; fault detection

References

1. The analysis of the state of train traffic safety, the reliability of the operation of the GAT systems and devices in the Automation and Telemechanics Department of the Central Infrastructure Directorate for 2015 (2016). [Analiz sostoyaniya bezopasnosti dvizheniya poyezdov, nadozhnosti raboty sistem i ustroystv ZHAT v khozyaystve avtomatiki i telemekhaniki Tsentral'noy direksii infrastruktury za 2015 god]. JSC

- Russian Railways, Automation and Remote Control Division of Central Infrastructure Directorate. Moscow. – 86 p.
2. Efanov D. V. (2015). Some aspects of the development of functional control systems for railway automation and telemechanics devices [Nekotoryye aspekty razvitiya sistem funktsional'nogo kontrolya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. Ural Transport, vol. 1. – Pp. 35–40.
 3. Efanov D. V. (2016). Formation and perspectives of development of systems of functional monitoring and monitoring of railway automation and telemechanics devices [Stanovleniye i perspektivy razvitiya sistem funktsional'nogo kontrolya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. Automation in transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 1. – Pp. 124–148.
 4. Efanov D. V. (2016). Functional monitoring and monitoring of railway automation and telemechanics devices, monograph [Funktsional'nyy kontrol' i monitoring ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. St. Petersburg, PSTU. – 171 p.
 5. Lykov A. A., Efanov D. V., Vlasenko S. V. (2012). Technical diagnostics and monitoring of the state of railway automation devices [Tekhnicheskoye diagnostirovaniye i monitoring sostoyaniya ustroystv ZHAT]. Russian Transport [Transport RF], vol. 5. – Pp. 67–72.
 6. Efanov D. V., Bogdanov N. A. (2011). Automation of control on the railway point machines [Avtomatizatsiya kontrolya na strelkakh]. The world of transport [Mir transporta], vol. 2. – Pp. 54–59.
 7. Bochkarev S. V. (2014). Methods for diagnosing and forecasting the technical state of the switchgear device: the author's abstract [Metody diagnostirovaniya i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya strelochnogo perevodnogo ustroystva: avtoreferat]. St. Petersburg, PSTU. – 15 p.
 8. Instruction on technical operation of devices and systems of signaling, centralization and interlocking TsSh-720-09 (2009) [Instruktsiya po tekhnicheskoy ekspluatatsii ustroystv i sistem signalizatsii, tsentralizatsii i blokirovki]. Moscow, JSC «RZD». – 94 p.
 9. Zuev D. V., Bochkarev S. V., Belousov S. V., Selezneva M. K. (2017). Research of methods for analyzing diagnostic information for the detection of faults in the switch electric drive [Issledovaniye metodov analiza diagnosticheskoy informatsii dlya vyyavleniya neispravnostey strelochnogo elektroprivoda]. Transport Intelligence Systems: a collection of materials of the I International Scientific and Practical Conference «Transport Intelligence Systems – 2017» (TIS-2017), St. Petersburg, 16–17 FEB 2017, ed. Val. V. Sapozhnikov, D. V. Efanov. St. Petersburg, PSTU. – Pp. 101–109.
 10. Belousov S. V. (2016). Processing of DC motor point machine operation current graph with neural network [Obrabotka neyronnoy set'yu grafika toka perevoda strelochnogo perevodnogo ustroystva s elektrodvigatelem postoyannogo toka]. Information technologies at transport, proc. section «Information technologies at transport» of Anniversary XV St. Petersburg int. conf. «Regional informatics – 2016», St. Petersburg, 26–28 of Oct. 2016; ed. Val. V. Sapozhnikov. St. Petersburg, PSTU. – Pp. 67–71.
 11. Bochkarev S. V., Lykov A. A. (2012). Method for determining the technical condition of railway automation devices [Metod opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya

- ustroystv zhelezodorozhnoy avtomatiki]. News of PTSU [Novosti PGUPS], issue 4 (33). – Pp. 38–45.
12. Kalyavin V. P., Rybakov L. M. (2009). Reliability and diagnostics of electrical elements [Nadezhnost' i diagnostika elementov elektroustanovok: uchebnoye posobiye]. Yoshkar-Ola, MarSU. – 336 p.
 13. Riedmiller M., Braun H. (1993). A direct adaptive method for faster backpropagation learning: the RPROP algorithm. Proc. IEEE Int. Conf. on Neural Networks (ICNN), San Francisco, March 1993, ed. H. Ruspini. – Pp. 586–591.
 14. Riedmiller M. (1994). Rprop – Description and Implementation Details. Technical Report; Karlsruhe Inst. f. Logik, Komplexität u. Deduktionssysteme, W-76128. Karlsruhe. – 2 p.
 15. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. (1998). Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition. Proc. IEEE, Nov. – Pp. 1–46.
 16. Blagoveshchenskaya E. A., Zuev D. V. (2015). Convergence of neural network training methods [O skhodimosti metodov obucheniya neyronnykh setey]. Materials XIX International conf. on computational mechanics and modern applied software systems. Alushta. – Pp. 130–131.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. С. Марковым
Поступила в редакцию 20.04.2018, принята к публикации 04.06.2018*

БЕЛОУСОВ Сергей Владимирович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: bsv992@gmail.com

© Белоусов С. В., 2018