

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 625.151-047.38

С. Ю. БУРЯК<sup>1\*</sup>, В. И. ГАВРИЛЮК<sup>2</sup>, О. А. ГОЛОЛОВОВА<sup>3</sup>, М. А. КОВРИГИН<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785X

<sup>2</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gvi\_dr@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>3</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

<sup>4</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта Kovrygin\_Mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0001-5092-8307

### ДИСТАНЦИОННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ПО ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ И СПЕКТРАЛЬНОМУ СОСТАВУ ТОКОВОЙ КРИВОЙ

**Цель.** Работа направлена на разработку и внедрение системы диагностирования стрелок, которая бы позволила дистанционно определять текущее состояние стрелочного перевода со всеми возможными неисправностями, постепенными и внезапными отказами, повреждениями, и в режиме реального времени сообщать об их появлении. **Методика.** Диагностирование состояния по анализу величин основных параметров стрелочных переводов предлагается осуществлять при помощи компьютера и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Подключение для выполнения измерений целесообразно производить к шунту амперметра, установленного в рабочей цепи стрелочной питающей панели. АЦП преобразовывает аналоговый сигнал падения напряжения на шунте в цифровой вид и передает его на компьютер, который сохраняет полученные данные на собственном носителе информации с целью их дальнейшей обработки и хранения. При помощи специального программного обеспечения, способного восстанавливать сигнал и строить его временную характеристику, а также раскладывать его на спектральные составляющие, производится анализ полученных данных. Анализ позволяет диагностировать состояние стрелок по изменению характера, значений и составу кривой тока. **Результаты.** Метод компьютерной диагностики получил практическое подтверждение возможности определения неисправностей, которые связаны как с механической, так и с электрической частью стрелочного перевода. При этом контролируются такие параметры, как: величина тока нормального перевода при работе на фрикцию; длительность перевода; правильность регулировки гарнитуры и узлов крепления; состояние электродвигателя. **Научная новизна.** Применение вычислительной техники при диагностировании состояния стрелочных переводов в процессе их эксплуатации (для контроля текущих величин технических показателей, анализа и хранения данных для всех видов стрелочных электроприводов с различными видами двигателей как постоянного, так и переменного тока) происходит посредством оцифровывания и записи сигнала с измерительного шунта стрелочной питающей панели. **Практическая значимость.** Предложенный метод позволяет своевременно,

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

еще на начальных этапах образования дефектов деталей, неисправностей узлов или поломок механизмов, обнаруживать и устранять их. Кроме этого, он приводит к снижению загрузки электромехаников при выполнении графика технического обслуживания. Внедрение диагностического анализа состояния стрелочного перевода с использованием компьютерной техники позволит определять появление неисправностей на ранних этапах их образования и предотвращать развитие трудноустраняемых повреждений или необходимости их полной замены.

*Ключевые слова:* электропривод; стрелочный перевод; постоянный ток; переменный ток; анализ сигнала; диагностирование; временная зависимость; спектральный состав; панель питания

### Введение

Железнодорожный транспорт со времен своего создания в IX веке по праву считается самым безопасным видом транспорта. Число несчастных случаев на железнодорожном транспорте во много раз меньше по отношению к количеству перевезенных пассажиров, чем у других видов транспорта.

Высокий показатель безопасности перевозок железнодорожным транспортом является результатом накопления многолетнего опыта обращения пассажирского движения и перевозок грузов, внедрения передовых принципов и тенденций развития, а также применения новых технологий. Но, несмотря на это, безопасность движения является комплексным показателем, поскольку на нее имеют влияние все без исключения системы, устройства и технические средства, которые принимают участие как в обеспечении движения поездов, так и во всего рода вспомогательных, восстановительных, ремонтных, эксплуатационных, снабженческих, хозяйственных и других видах деятельности, которые представляют собой сложный технологический процесс, направленный на функционирование системы в целом.

Технический прогресс, все чаще внедряющийся во всех областях и сферах деятельности железнодорожного транспорта, обеспечивает все больше возможностей по увеличению числа перевезенных пассажиров и объема грузовых перевозок посредством работы все меньшего числа людей, работающих в различных службах. С одной стороны, заменившие человека технологические средства повысили уровень безопасности всей системы железнодорожного сообщения в целом и сделали возможным повышение скоростей движения и объема грузовых перевозок. С другой же стороны, они стали причиной появления огромного количества инструкций, которым обязан следовать каждый

работник железной дороги. Согласно инструкциям у каждой из действующих служб железнодорожного транспорта, связанных с движением поездов, разработан и утвержден график технологического процесса. Выполнение данного графика включает в себя работы по обслуживанию технических средств, систем, установок, оборудования и прочих объектов, находящихся в хозяйствовании соответствующих служб с целью проведения комплекса мероприятий, направленных на поддержание, улучшение или исправление его текущего состояния.

Строгое соблюдение и выполнение в точности технологическим картам графика технологического процесса требуется согласно правилам, изложенным в инструкциях по эксплуатации и порядку выполнения работ, и контролируется ревизионным аппаратом. О выполнении различных работ, возложенных на сотрудника железной дороги должностными инструкциями, делается отметка в соответствующем журнале проведения работ. Легко при этом заметить, что важной особенностью в работе железнодорожного транспорта является дисциплинированность. Изюм дня в день десятки тысяч людей по всей Украине выполняют одну и ту же работу по поиску и устранению неисправностей, обеспечению перевозочного процесса, ремонту и изготовлению деталей, машин, оборудования.

Складывается такая ситуация, что очень часто у работников железной дороги при выполнении графика технологического процесса просто не остается времени на устранение внезапных случайных отказов или повреждений. Работник бросается на устранение возникших неисправностей и не выполняет в данный момент график обслуживания, поскольку не может быть одновременно в двух местах. Чем дальше, тем более запущенным становится этот процесс, поскольку устройства и механизмы,

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

которые эксплуатируются на железных дорогах Украины, все больше и больше изнашиваются и устаревают, при этом число выходов из строя только растет.

Получается замкнутый круг. Технологический процесс выполнять нужно, чтобы все системы функционировали исправно, но в связи с их естественным старением делать это становится все тяжелее и тяжелее из-за увеличивающегося количества их отказов. К тому же, добавляется и человеческий фактор, так как человек, разочаровавшись в стремлении успеть все сделать в соответствии с предписаниями инструкций, может выполнять только ту работу, которую считает нужной, или вовсе прекратить что-либо делать. Зачастую на практике это означает лишь формальное заполнение журнала осмотра и проверки устройств без фактического выполнения каких-либо действий. К сожалению, многие факты свидетельствуют о том, что именно систематическое нарушение графика обслуживания устройств и становится причиной возникновения опасных ситуаций, которые приводят к выходу из строя оборудования, срыва графика движения поездов, повреждению подвижного состава и другим негативным явлениям, отрицательно сказывающимся как на безопасности перевозочного процесса, так и на охране труда.

При внедрении новых систем должен внедряться и новый подход к их обслуживанию, а также к обслуживанию тех систем, которые не изменяются качественно. Другими словами, переходом на новый уровень эксплуатации станет внедрение автоматизированных систем дистанционной диагностики и контроля параметров. С одной стороны, это позволит выполнять систематический контроль за состоянием объектов диагностирования и выдавать советы в случаях возникновения непредвиденных ситуаций, а с другой стороны обеспечит формирование цифрового отчета о выполнении графика технологического процесса на основании фактических действий ответственного работника.

### Цель

Одной из основных задач работников службы сигнализации и связи является обеспечение работы и взаимосвязи сигналов и стрелок на

станции. Но если работа системы световых сигналов участникам движения зависит в основном от правильной работы элементов собственной схемы включения, то работа стрелочных переводов, кроме собственных схемных зависимостей и элементов системы, в очень высокой степени подвержена влиянию внешних факторов. К таким внешним факторам, прежде всего, относится эксплуатация в тяжелых условиях из-за непосредственной близости napольных устройств к пути следования подвижного состава, подверженность влиянию погодных условий, выпадениям и высыпаниям грузов, сходам подвижного состава и другим чрезвычайным ситуациям, приводящим к нарушению функционирования стрелочного перевода.

Стрелочный перевод подвержен высоким динамическим нагрузкам во время движения по нему экипажа, вызывающих возникновение продольных и поперечных сил и становящихся причиной появления вибрации. Кроме этого, как говорилось ранее, он эксплуатируется в условиях окружающей среды, а поэтому находится под воздействием атмосферных явлений, таких как дождь и снег, а также перепадов температур как суточных, так и сезонных. Столь неблагоприятные условия эксплуатации усложняются еще и загрязнением стрелок сыпучими грузами во время их рассыпания при перевозке в неисправных вагонах.

Работа по эксплуатационному обслуживанию стрелочных переводов не только связана с непосредственным выходом людей в зону движения поездов, но и расположена в габарите их движения, а поэтому представляет чрезвычайную опасность жизни и здоровью рабочих различных служб железнодорожного транспорта. Поскольку избежать выхода на путь и в габарит движения поездов рабочих во время обслуживания стрелочных переводов невозможно, то уменьшение времени их пребывания в этих опасных местах значительно повысит уровень безопасности движения поездов и охраны труда в целом.

Неизменным остается тот факт, что работники службы сигнализации и связи обладают только той информацией о состоянии объектов, которую они получают с периодичностью, указанной в картах технического обслуживания.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Этих данных вполне достаточно для выполнения текущего ремонта, то есть устранения неисправностей во время осмотра, но далеко не достаточно для изучения и отслеживания причин их возникновения. Эту проблему можно решить благодаря внедрению электронного журнала, в протоколах которого можно было бы в автоматизированном режиме проследить склонности к развитию тех или иных дефектов. Электронный журнал должен вестись без участия человека и фиксировать основные параметры стрелочного перевода.

Необходимо обеспечить получение большего объема информации за меньший период времени, чем это предусмотрено графиком обслуживания, о состоянии стрелочных переводов работниками службы сигнализации и связи для того, чтобы дать им возможность, основываясь на результаты данных, полученных в электронных протоколах журналов проверки, планировать свой рабочий день таким образом, чтобы не нарушать график технологического процесса и выполнять работы по устранению возникших неисправностей.

Следует разработать и внедрить такую систему, которая бы позволила дистанционно определять текущее состояние стрелочного перевода со всеми возможными неисправностями. Данная система должна определять как постепенные отказы, так и повреждения, которые возникают внезапно, и в режиме реального времени сообщать об их появлении.

### Методика

В мировой практике находили применение в железнодорожном транспорте электро-, пневмо- и гидроприводы, реализующие различные производственные процессы по перемещению остяков и сердечников крестовин стрелочных переводов, подъему и опусканию бруса шлагбаума, повороту ударного рычага автостопа метро и работы других механизмов и зависимостей.

На железных дорогах Украины применяют электроприводы, которые для перевода стрелки из одного положения в другое преобразуют электрическую энергию в механическую. Стрелочные электроприводы бывают как постоянного, так и переменного тока, в зависимости от того, какого рода электродвигатель уста-

новлен в электроприводе.

В зависимости от источника получения электрической энергии питание рабочей цепи, то есть цепи, которая приводит в движение электродвигатель стрелочного электропривода, может быть центральным, магистральным или местным.

Сбор диагностической информации целесообразно вести именно при центральном питании, поскольку при такой организации подачи электрической энергии наиболее просто выполнять анализ поступающих данных из одного источника.

При центральном питании подача электрической энергии для перевода стрелок осуществляется с распределительной или стрелочной панели в зависимости от вида установленного оборудования питающих установок и размера станции. Для контроля тока перевода стрелок в рабочую цепь включается шунт номиналом обычно 0,3 Ом, или трансформатор тока, а параллельно ему – амперметр, который выводится на пульт дежурного по станции.

При установке маршрутов или выполнении маневровой работы, когда необходимо перевести стрелки, дежурный сотрудник службы движения наблюдает за показаниями амперметра и внимательно следит за тем, чтобы величина тока и длительность протекания его в рабочей цепи электродвигателя не превышали нормативных значений во время перевода стрелки. В случае, если это не так, и тот, или другой параметр превышает норму, то согласно порядку взаимодействия с другими подразделениями железнодорожного транспорта он должен сообщить сотрудникам службы сигнализации и связи и службы путевого хозяйства о возникшей неисправности в работе того или иного стрелочного перевода.

Ориентиром при определении соответствия нормативным значениям двух вышеприведенных параметров служат технические показатели стрелочных электроприводов (табл. 1), которые можно найти в паспорте станции.

По своим должностным обязанностям дежурный по станции не обязан пользоваться секундомером для измерения времени перевода стрелки, а также фиксировать точное значение тока перевода стрелок на станции на основании показаний амперметра, установленного на пульте. В его работу входит только лишь на-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

блюдение за показаниями стрелки амперметра с целью установления истинности замыкания цепей питания стрелочных электродвигателей, а также факта окончания их перевода, как одного из признаков фактического выполнения установки стрелок по маршруту движения. Данные, приведенные в сведенной табл. 1, могут служить лишь как справочный материал о величинах основных параметров и характеристик и пределах их значений, а не как шаблон для сверки соответствия параметров стрелочных переводов их эталонным значениям.

В табл. 1 приведены лишь ориентировочные значения параметров стрелочных переводов, которые касаются тока в рабочей цепи стрелки и времени ее перевода, поскольку они не учитывают длины проводов от поста электрической централизации (ЭЦ) до стрелки, а отражают только те значения данных параметров, которые справедливы лишь при прямом приложении нагрузки к стрелочному электроприводу [2, 7]. Естественно, что при большем удалении стрелки от поста ЭЦ требуется и увеличение длины проводов для их подключения, в связи с чем растет и их сопротивление протеканию электрического тока, что и становится причиной увеличения тока в рабочей цепи электродвигателя при таких же нагрузках, как у двигателей, находящихся в непосредственной близости от источника питания.

Выполняя измерения по принципу, рассмот-

ренному ранее [1, 3, 4], при подключении оборудования к выводам измерительной схемы рабочей цепи, которые подключены к амперметру на пульте дежурного по станции, можно диагностировать состояние стрелочного перевода при помощи анализа его временной зависимости и спектральной характеристики тока при переводе стрелки. Для преобразования сигналов из аналогового в цифровой вид с целью дальнейшей их обработки при помощи вычислительной техники, необходимо использовать аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). При проведении измерений использовался 4-канальный быстродействующий внешний модуль ввода-вывода на шину USB 2.0 E20-10 с разрядностью 14 бит и возможностью непрерывного сбора данных на частотах до 10 МГц. В качестве записывающего оборудования для фиксации, сохранения и дальнейшего анализа данных сигналов тока перевода стрелок может служить компьютер с установленным соответствующим программным обеспечением.

На рис. 1 показана схема подключения диагностического оборудования к измерительной части фрагмента схемы рабочей цепи стрелочных электроприводов постоянного тока при их подключении к устройствам электропитания постов ЭЦ промежуточных станций, т.е. станций с числом стрелок до 30 [5, 6].

Таблица 1

Table 1

## Электромеханические характеристики электроприводов

## Electromechanical characteristics of electric drives

Параметры	Тип электропривода	Напряжение питания, В	Тип электродвигателя	Значение характеристик в зависимости от нагрузки на шибере, кН									
				0	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	
Потребляемый ток, А	СП-3 СП-6	30	МСП-0,15	3,4	6,0	–	8,4	–	–	–	–	–	–
			МСП-0,1	3,8	6,6	–	9,0	–	11,4	13,4	–	–	
			МСП-0,25	5,0	7,5	–	10,8	–	13,6	16,4	19,6	22,6	
			110	МСП-0,15	0,9	1,7	–	2,3	–	3,0	3,6	4,2	4,7
				МСП-0,1	1,38	2,38	–	3,3	–	4,15	4,95	–	–
				МСП-0,25	1,3	2,32	–	3,36	–	4,25	5,2	6,1	7,0
			160	МСП-0,15	0,6	1,1	–	1,6	–	2,1	2,5	2,9	3,3

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Окончание табл. 1

Параметры	Тип электропривода	Напряжение питания, В	Тип электродвигателя	Значение характеристик в зависимости от нагрузки на шибере, кН									
				0	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	
Время перевода, с	СП-8	127	МСП-0,1	0,8	1,42	–	2,04	–	2,6	3,15	–	–	
			МСП-0,25	1,2	1,69	–	2,31	–	2,9	3,51	4,05	4,6	
		220	МСТ-0,25	1,55	1,87	2,05	2,3	2,6	2,95	3,5	–	–	
				0,9	1,05	1,15	1,3	1,45	1,65	2,1	–	–	
		110	МСТ-0,3	2,45	2,5	–	2,7	–	2,85	3,2	3,6	3,95	
			МСТ-0,6	1,9	2,7	–	3,75	–	5,1	6,5	7,7	9,2	
		190	МСТ-0,3	1,35	1,4	–	1,5	–	1,65	1,85	2,1	2,35	
			МСТ-0,6	1,04	1,6	–	2,25	–	3,0	3,75	4,5	5,32	
		СП-3 СП-6	30	МСП-0,15	2,2	3,31	–	4,54	–	–	–	–	–
				МСП-0,1	2,32	3,14	–	4,0	–	5,1	6,35	–	–
			110	МСП-0,25	1,66	2,15	–	2,63	–	3,15	3,66	4,19	4,86
				МСП-0,15	2,12	2,9	–	3,78	–	4,33	4,95	5,78	6,6
	100		МСП-0,1	1,7	2,26	–	2,83	–	3,44	4,29	–	–	
			МСП-0,25	1,48	1,87	–	2,2	–	2,48	2,73	2,96	3,23	
	СП-8	160	МСП-0,15	1,93	2,8	–	3,6	–	4,2	4,8	5,5	6,35	
			МСП-0,1	1,9	2,56	–	3,21	–	3,83	4,81	–	–	
		127	МСП-0,25	1,35	1,69	–	1,98	–	2,26	2,5	2,68	2,87	
			МСТ-0,25	2,57	2,75	2,81	2,95	3,1	3,25	3,94	–	–	
		220		2,58	2,75	2,83	2,93	3,05	3,23	3,81	–	–	
			МСТ-0,3	3,84	4,0	–	4,15	–	4,3	4,5	4,72	5,01	
	СП-8	110	МСТ-0,6	1,33	1,38	–	1,42	–	1,47	1,52	1,58	1,67	
			МСТ-0,3	3,83	4,0	–	4,15	–	4,33	4,45	4,6	4,9	
		190	МСТ-0,6	1,32	1,38	–	1,41	–	1,45	1,51	1,56	1,63	

Рабочие цепи стрелочных электроприводов постоянного тока питаются от выпрямителей Вп2 и Вп3. Выпрямитель Вп3 является резервным, его выход нормально отключен и автоматически включается тыловыми контактами реле ПВУ при неисправности Вп2. На рис. 2 показана схема подключения диагностического оборудования к измерительной части фрагмента схемы рабочей цепи стрелочных электроприводов переменного тока при их подключении к устройствам электропитания постов ЭЦ крупных станций, т.е. станций с числом стрелок более 30.

Существует два способа подачи питания от

питающей панели к двигателю электропривода. Первым является последовательное поочередное подключение стрелок к источнику питания от ближайшей к посту стрелки к наиболее удаленной. Вторым – одновременная подача питания сразу в нескольких направлениях. Выбор способа организации питания по первому или второму принципу зависит от размеров выполняемых на станции операций. На крупных станциях с высокой степенью загрузки поездной работой для сокращения затрат времени на приготовление маршрутов вместо раздельного, как это принято на малых станциях, применяют маршрут-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

ное управление с подключением источника питания одновременно ко всем стрелкам.

Для контроля перевода стрелок на пульте управления амперметрами РА1 и РА2 (на рис. 2 показана схема только для питания первой группы стрелок) имеются два трансформатора тока ТТ4 и ТТ5. В связи с тем, что ТТ4 и ТТ5 рассчитаны на номинальный ток 5 А, для ограничения тока и падения напряжения на нем при переводе стрелок параллельно ТТ4 и ТТ5 через тыловой контакт реле ПОС1 и ПОС2 включены резисторы  $R1$  и  $R2$ , на которых установлены сопротивления 0,3 Ом.

Для измерения тока перевода одной стрелки на пульте управления нажимается кнопка ПОС1 (ПОС2) для возбуждения одноименного реле в панели. Контакт реле ПОС1 (ПОС2) отключается резистор  $R1$  ( $R2$ ) и весь ток пере-

вода стрелки проходит через трансформатор тока ТТ4 (ТТ5).

Измерения проводились в обоих случаях на малых станциях, в работе которых не требуется для экономии времени выполнения одновременно нескольких операций по формированию маршрутов. Следовательно, в таком случае возможна установка оборудования, рассчитанного на меньшую мощность, а поэтому менее дорогостоящего, так как стрелки переводятся одна за другой, и питающей установкой выдается величина тока, необходимая для перевода одной стрелки.

Подключение к рабочей цепи выполнялось посредством разъемного соединения в месте крепления амперметра на выносном табло при помощи электрических контактов зажимного типа (крокодил).

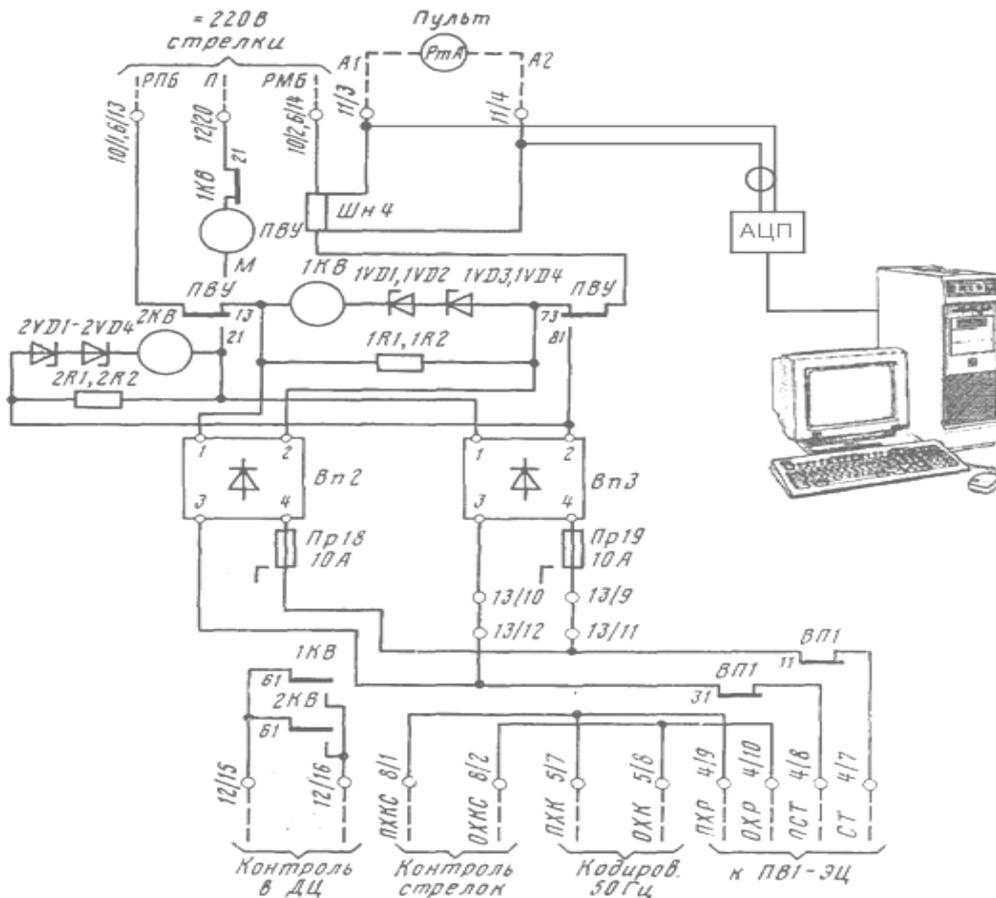


Рис. 1. Подключение измерительного устройства к схеме распределения питания по основным нагрузкам ЭЦ и включения основных приборов панели ПР-ЭЦ

Fig. 1. Connecting the measuring device to the power distribution circuit on the main loads of EC and the inclusions of the main instruments of the PR-EC

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

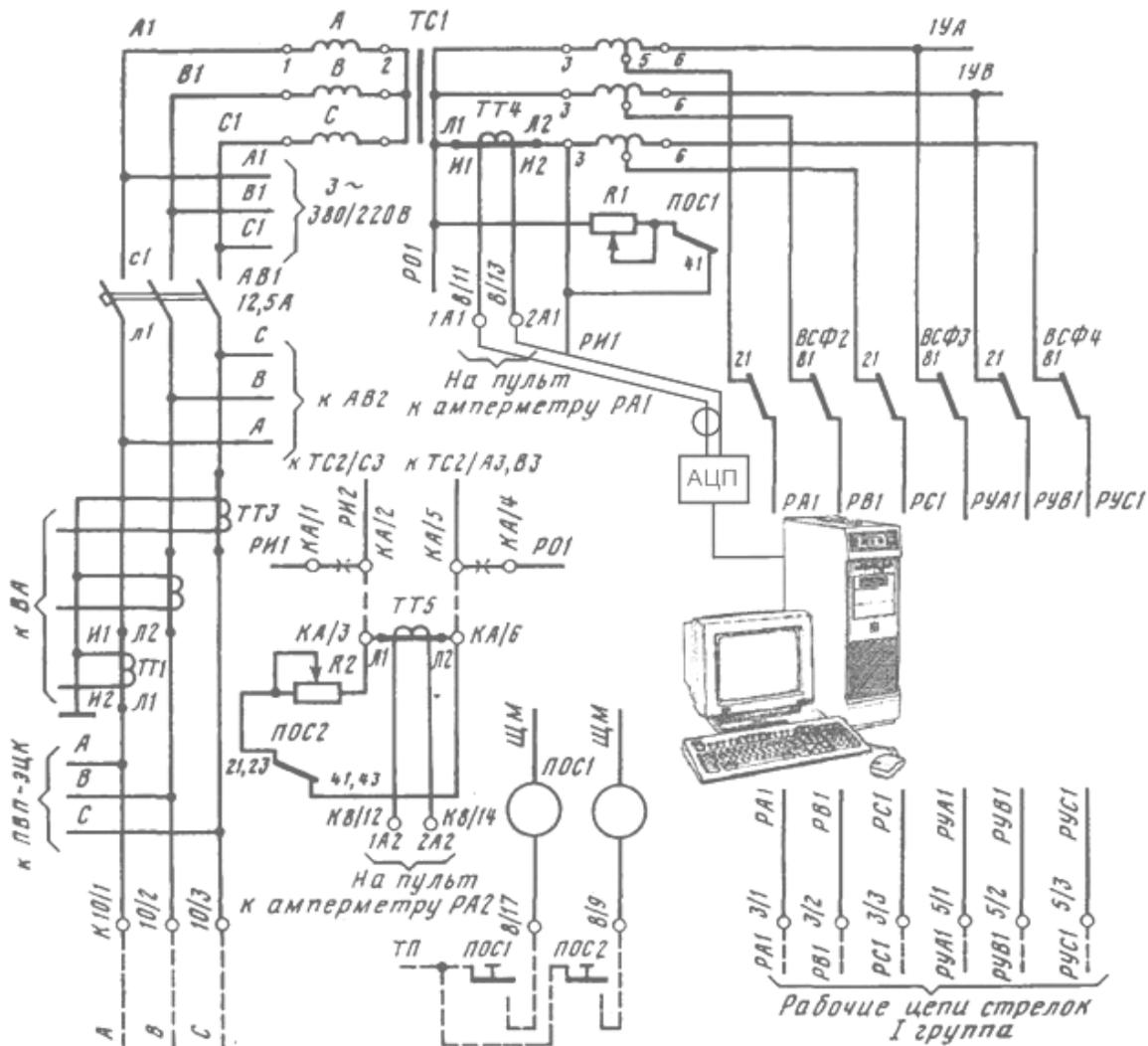


Рис. 2. Подключение измерительного устройства к схеме стрелочной панели ПСТ-ЭЦК

Fig. 2. Connecting the measuring device to the circuit switch panel PST-ETSK

### Результаты

Экспериментальные измерения выполнялись на электроприводах постоянного и переменного тока соответственно со схемами, изображенными на рис. 1 и 2.

Опыты проводились на небольших станциях с высокой интенсивностью движения и большим числом оборота пассажирских и грузовых поездов.

При восстановлении временных характеристик тока в рабочей цепи двигателей стрелочных электроприводов применялась программа MATLAB [8, 9, 10, 11, 13, 14].

doi 10.15802/stp2015/42159

На станции с питанием стрелочных электроприводов от источников постоянного тока проводились измерения уровней сигналов и их спектрального состава согласно схеме, изображенной на рис. 1, на примере перевода стрелок, находящихся на боковых путях с маркой крестовины 1/9. Стрелочные переводы уложены на железобетонные и деревянные шпалы с использованием рельса тяжелого типа Р-65.

При измерениях тока в рабочих цепях стрелочных электроприводов постоянного тока рассматривалось одновременно несколько различных вариантов.

© С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, М. А. Ковригин, 2015

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

В первом случае изучался сигнал при переводе спаренных стрелок. На дальней от поста электрической централизации (ЭЦ) стрелке установлен электропривод типа СП-3 с двигателем МСП-0,15. На ближней от поста ЭЦ – электропривод типа СП-6 с двигателем ДП-0,25.

Данные стрелочные переводы находились в идеальных условиях эксплуатации, то есть в исправном состоянии, а именно – башмаки смазаны, а острия опираются на подушки всей плоскостью поверхности соприкосновения, в масляных ваннах и редукторах залито масло до необходимого уровня, отсутствуют люфты во всех узлах и креплениях, установлены двигатели, которые были проверены на исправность специалистом ремонтно-технологического участка, зазоры между остриями и рамными рельсами соответствуют требованиям, отсутствует упор корней остриев. Перевод стрелок осуществлялся плавно и равномерно, без рывков, замедлений и резких ускорений, без заеданий и посторонних звуков, что также является признаком их исправного состояния.

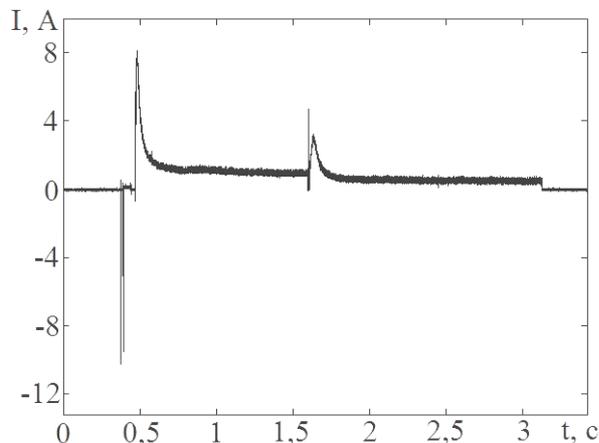


Рис. 3. Ток в рабочей цепи стрелочных электроприводов постоянного тока при переводе исправных спаренных стрелок

Fig. 3. The current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of coupled railway points

Из результатов измерений (рис. 3) видно, что вначале перевода происходит всплеск тока обратной полярности вследствие перебрасывания контактов реле ППС (пусковое поляризованное стрелочное) в рабочей цепи электропривода, после этого ток прямой полярности на-

растает до величины трогания двигателя с места. С началом движения ротора электродвигателя происходит резкое снижение значения величины тока в рабочей цепи до уровня согласования вращающего момента на валу с нагрузкой, который и представляет собой рабочий ток. В конце перевода первой из спаренных стрелок, которая является ближайшей к посту ЭЦ, происходит переключение контактов автопереключателя, что сопровождается всплеском тока на отметке немного более 1,5 с после начала записи и является началом перевода второй стрелки. Характер убывания тока в рабочей цепи при подключении электродвигателя второй из спаренных стрелок аналогичен первому случаю. При этом ток перевода обеих стрелок практически одинаков, а время отличается. Это связано с применением различных типов стрелочных электроприводов и двигателей, установленных в них.

Во втором случае исследовался сигнал, полученный при переводе одиночной стрелки, на которой установлен привод типа СП-6М с электродвигателем МСП-0,25. Данный стрелочный перевод и установленный на нем электропривод имели все те же исходные данные, что и две предыдущие спаренные стрелки, то есть все узлы и крепления в исправном состоянии, трущиеся поверхности смазаны, расстояния и допуски выдержаны и любые другие недочеты отсутствуют.

Кривая тока перевода одиночной стрелки (рис. 4) практически не отличается от отдельно взятых токовых кривых при переводе спаренных стрелок, за исключением малого значения всплеска тока обратной полярности в начале перевода от перебрасывания контактов реле ППС.

При анализе большого числа полученных результатов измерений (рис. 4) было установлено, что, как и в предыдущем случае (рис. 3), вся кривая тока состоит из трех участков: ток пуска двигателя в ход, рабочий ток, ток окончания перевода. Данные три части сигнала являются ключевыми при анализе состояния стрелочных переводов. Этот вывод сделан на основании того, что работу электропривода можно разбить на три этапа.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

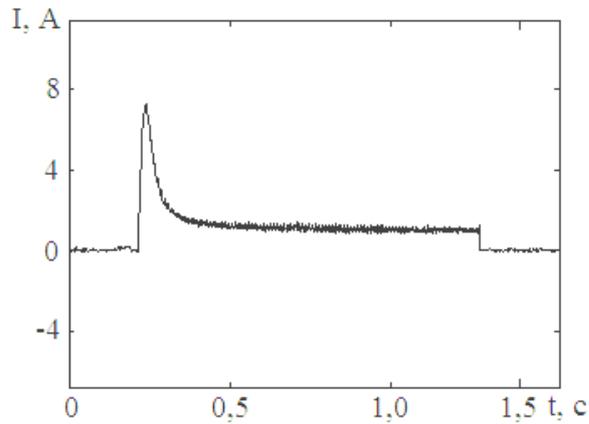


Рис. 4. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 4. The current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a working single railway point

К первому этапу относится нарастание тока для пуска двигателя с места в ход и преодоления инерционности узлов системы. Второй этап представляет собой перемещение острия. Последний, третий этап является наиболее коротким и заключается в доведении второго острия стрелки к противоположному рамному рельсу и замыкании стрелки.

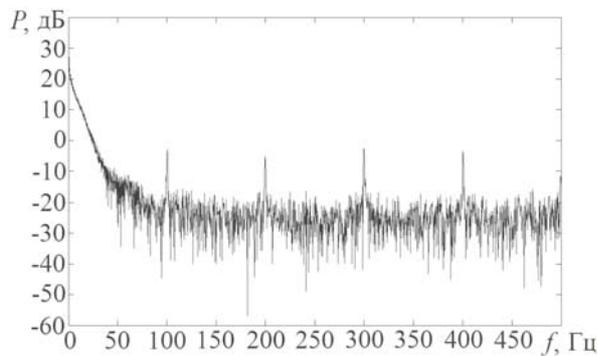


Рис. 5. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 5. Range of current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a working single railway point

Поскольку в данных двух измерениях опыты проводились на исправных стрелочных переводах, не имеющих отклонений от норм их содержания, на которых установлены исправ-

ные электроприводы, все показатели которых соответствуют требованиям их технического состояния, то полученные результаты (рис. 3 и рис. 4) можно принять за эталонные сигналы.

На рис. 5 приведен спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе исправной одиночной стрелки. Из рисунка видно, что наибольшее значение имеет постоянная составляющая и характерно присутствие гармоник, кратных выпрямленному току.

Стрелочный электропривод с коротким замыканием в обмотке якоря изображен на рис. 6. На первом участке после небольшого всплеска тока обратной полярности наблюдается всплеск тока прямой полярности с большой амплитудой с последующим появлением резкой токовой характеристики, являющейся началом движения вала двигателя, как на рис. 4. Последующая временная зависимость тока перевода стрелки на оси времени до отметки 1,5 с имеет большую ширину, чем на соответствующем участке рис. 4, что свидетельствует о различном сопротивлении обмотки якоря двигателя. Поскольку этого быть не должно, а обмотка ротора должна иметь одинаковое сопротивление по всей поверхности щеточно-коллекторного контакта, то широкая полоса токовой кривой во временной области подтверждает скачкообразный характер протекания тока и может свидетельствовать о присутствии такой неисправности, как короткое замыкание в обмотке якоря.

Между рамным рельсом и острием закладывался щуп толщиной 4 мм и в течение 2 следующих секунд работа двигателя осуществлялась на фрикцию, что отображено на рис. 4 увеличением тока свыше 2 А. Затем дежурный по станции переключением рукоятки возвращал стрелку в исходное положение, что на токовой характеристике во временной области отображено на отметке 3,5 с от начала измерений импульсом тока с дальнейшим появлением резкого изменения токовой кривой, являющегося признаком начала движения вала двигателя в другую сторону.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

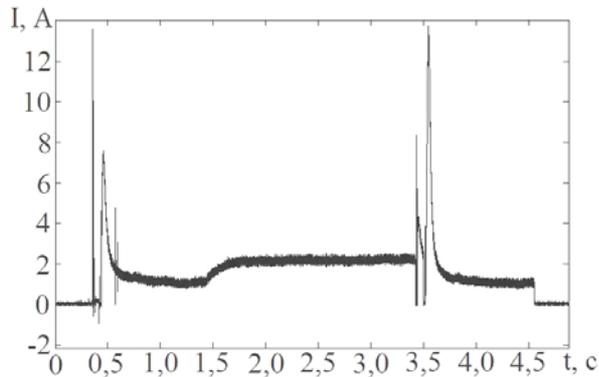


Рис. 6. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе одиночной стрелки с коротким замыканием в обмотке якоря в режиме работы на фрикцию

Fig. 6. The current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a single railway point with a short circuit in the armature winding in operation on the frictions

Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе одиночной стрелки с коротким замыканием в обмотке якоря (рис. 7) содержит гармоники тональной частоты (они не наблюдались на рис. 5) с наибольшим значением 400 Гц.

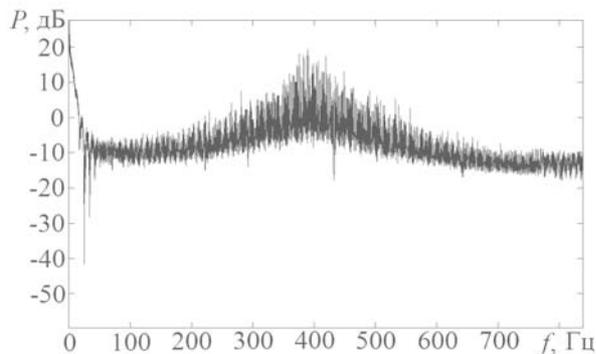


Рис. 7. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода постоянного тока при переводе одиночной стрелки с коротким замыканием в обмотке якоря в режиме работы на фрикцию

Fig. 7. Range of current in the working circuit of the DC electric turnout when switching of a single point with a short circuit in the armature winding in operation on the frictions

Вторая часть измерений состояла из сигналов, записанных по описанной выше методике (рис. 2) для стрелочных электроприводов переменного тока.

Стрелочные переводы, на которых выполнялись измерения, расположены на боковых и главных путях станции, с маркой крестовины 1/9 на боковых путях и 1/11 по главному ходу. Уложены стрелки на железобетонные шпалы с использованием рельса тяжелого типа Р-65. На стрелках установлены стрелочные электроприводы типа СП-3 с электродвигателем переменного тока МСТ-0,3.

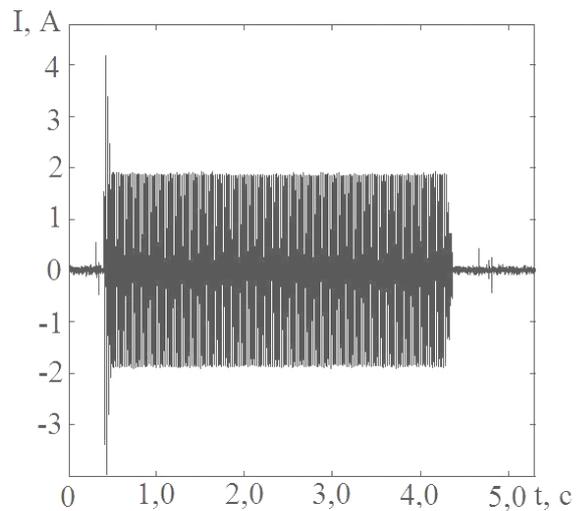


Рис. 8. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 8. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a working single railway point

Кривая тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки изображена на рис. 8. Из данной временной характеристики, которая практически ничем не отличается от полученной и разобранный ранее [3], можно установить три важнейших параметра: характер изменения кривой тока, величину тока перевода и его длительность. Аналогично случаю со стрелочными приводами постоянного тока, временную зависимость кривой тока перевода стрелки стрелочным электроприводом переменного тока можно разбить на три участка: пуск двигателя в ход с преодолением инерционности системы и размыканием стрелки, собственно перевод острия стрелки и доведение острия к противоположному равному рельсу с замыканием острия.

На первом участке наблюдается небольшой

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

всплеск тока, соответствующий перебрасыванию контактов ППС и значительное кратковременное увеличение тока, являющегося признаком трогания вала двигателя с места со сдвигом с места всех передаточных звеньев. Следующий участок характеризует движение механизмов привода с приведением в движение острия и их перемещением. На завершающем этапе перевода стрелки, когда происходит подвод острия к рамному рельсу, после замыкания стрелки наблюдается остаточное вращающее магнитное поле в статоре двигателя.

С изображения спектра тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки (рис. 9) видно, что влияющими в спектре сигнала являются низкие частоты в диапазоне от 0 до 2 кГц. Поскольку они являются периодическими, то возьмем для удобства и наглядности лишь первые из них.

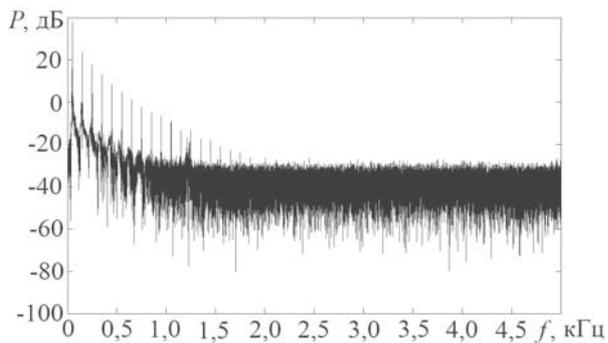


Рис. 9. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки

Fig. 9. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a working single railway point

Рассматривая спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки на низких частотах (рис. 10), легко определить, что в сигнале присутствуют гармоники, кратные в нечетное число раз частоте питающего тока.

Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня острия (рис. 11) аналогичен рассмотренному ранее случаю для исправной стрелки (рис. 8) лишь на двух участках временной зависимости. На

doi 10.15802/stp2015/42159

третьем участке токовой кривой наблюдается явно выраженное увеличение тока в цепи электродвигателя, которое является следствием увеличения сопротивления движению острия стрелки из-за упора корня их острия в рельс, лежащий за ними. На преодоление дополнительно возникшей силы электродвигатель развивает большую мощность, что вызывает увеличение тока в рабочей цепи.

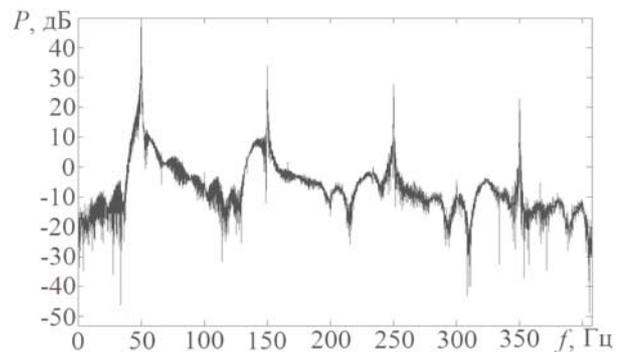


Рис. 10 Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе исправной одиночной стрелки на низких частотах

Fig. 10. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a working single railway point at low frequencies

Поскольку упор корня острия влияет только на амплитудное значение тока в рабочей цепи электродвигателя, то его можно зафиксировать только во временной области. Спектр же тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня острия (рис. 12) практически не отличается от спектра сигнала исправной стрелки (рис. 9) и не содержит отличных от нее частот.

В спектре тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня острия на низких частотах (рис. 13) просматривается подобность характеру спектра тока в исправной стрелке (рис. 10).

Следовательно, обнаружить упор корня острия стрелки можно при помощи анализа временной зависимости тока перевода, а при помощи спектрального анализа нельзя.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

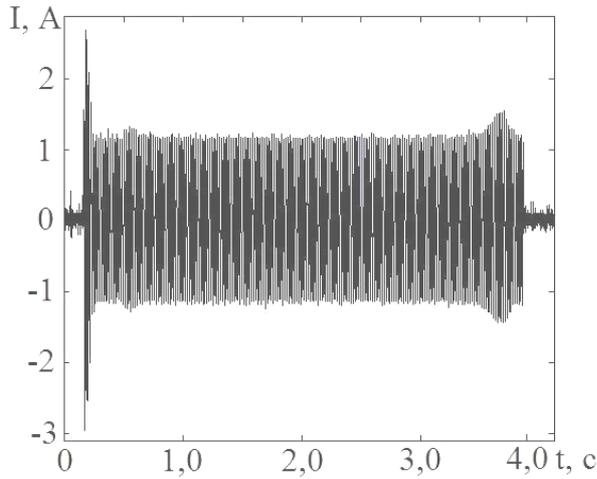


Рис. 11. Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня остряка

Fig. 11. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with an root wags emphasis

По времени протекания тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки (рис. 14) можно идентифицировать люфт в шарнирных соединениях рабочей тяги по увеличенной длительности перевода стрелки, которая значительно превышает аналогичный показатель исправной стрелки (рис 8).

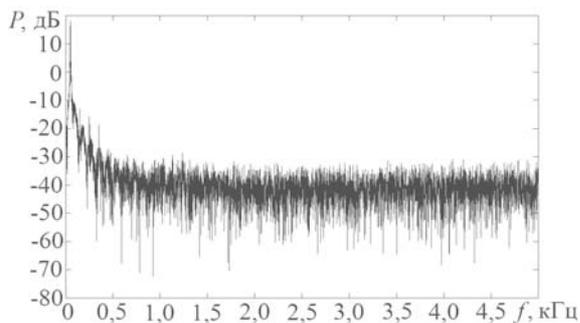


Рис. 12. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня остряка

Fig. 12. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with an root wags emphasis

Данный стрелочный перевод, на котором производились измерения, был восстановлен после схода на нем подвижного состава. В связи с этим многие элементы оснований и креп-

лений имели на поверхности неровности и вмятины, а изгиб рабочей тяги привел к неполному прилеганию подошвы одного из остряков к подушкам на шпальной поверхности и стал причиной подпружинивания и затруднительного перевода стрелки.

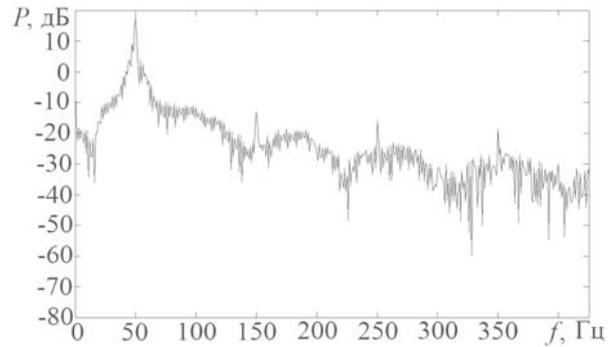


Рис. 13. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с упором корня остряка на низких частотах

Fig. 13. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with root wags emphasis at low frequencies

Первый участок кривой тока характеризуется пуском двигателя в ход и преодолением люфтов и зазоров в крепежных элементах. На втором участке наблюдается повышенное значение тока в цепи электродвигателя вследствие увеличенного сопротивления движению выровненных, но потерявших из-за изгибов прочность, деталей. Третий участок кривой тока свидетельствует о прекращении линейного передвижения остряков и иллюстрирует процесс протекания запираания стрелки с прижиманием подогнутого остряка.

Примечательным является тот факт, что спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги (рис. 15) не имеет никаких отличий от спектра тока перевода исправной стрелки (рис. 9).

При более детальном рассмотрении спектра тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги на низких частотах

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

(рис. 16) также не было никаких отличий от спектра тока перевода исправной стрелки (рис. 10).

Следовательно, по итогам рассмотрения предыдущих двух случаев можно сделать вывод, что неисправности, касающиеся механической части стрелочного перевода, можно установить по временной характеристике кривой тока перевода стрелки, а на основании спектрального анализа нельзя.

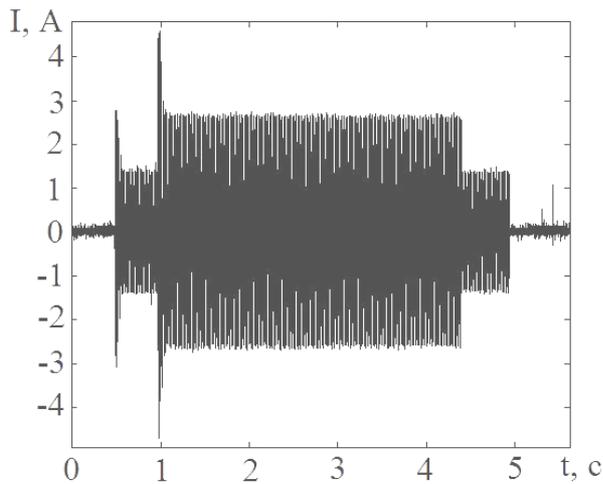


Рис. 14 Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги

Fig. 14. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with play in the hinge joints and bend the operating rod

В свою очередь ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором (рис. 17) ничем не отличается от тока перевода исправной стрелки (рис. 8), хотя перевод стрелки сопровождается вибрацией и характерным высокочастотным стуком внутри двигателя. При осмотре двигателя было установлено повреждение стержня ротора типа «беличья клетка» с присутствием намагниченной металлической пыли.

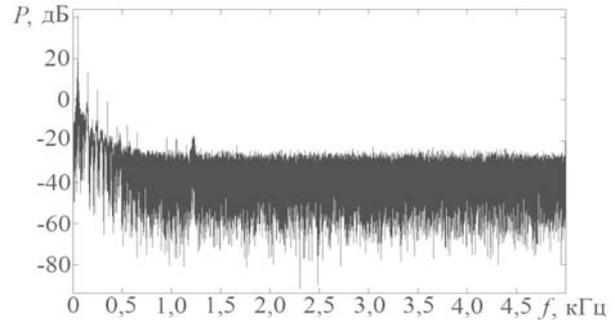


Рис. 15. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги

Fig. 15. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with play in the hinge joints and bend the operating rod

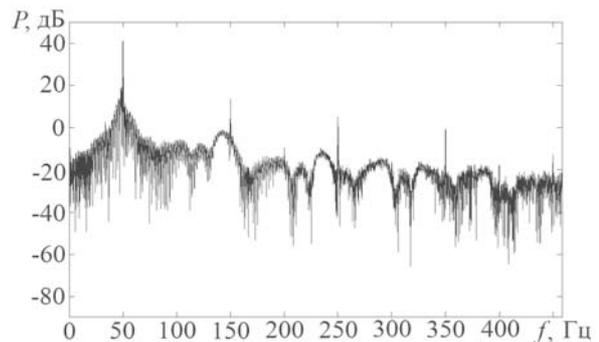


Рис. 16 Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с люфтом в шарнирных соединениях и изгибом рабочей тяги на низких частотах

Fig. 16. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with play in the hinge joints and bend the operating rod at low frequencies

При изучении же спектра тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором (рис. 18) было установлено, что если для спектра тока перевода стрелки в исправном состоянии (рис. 9) характерно наличие значимых частот в диапазоне от 0 до 2 кГц, то в данном случае наблюдался спектр сигнала с присутствием частот в области значений от 0 до 8 кГц.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

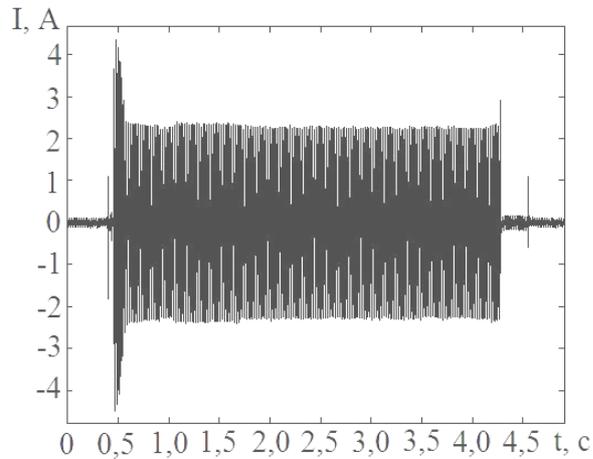


Рис. 17 Ток в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором

Fig. 17. The current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with a faulty rotor

Кроме этого, спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором на низких частотах (рис. 19) содержал высокую постоянную составляющую, которой нет в спектре токовой кривой перевода исправной стрелки (рис. 10).

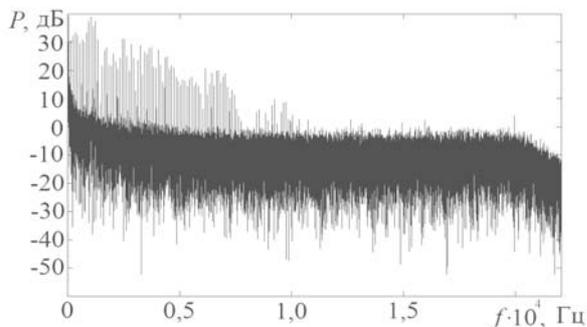


Рис. 18. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором

Fig. 18. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with a faulty rotor

Таким образом, используя метод компьютерной диагностики можно определять такие неисправности, которые связаны как с механической частью стрелочного перевода, так и с электрической его частью, контролируя при

этом такие параметры, как величину тока нормального перевода и при работе электродвигателя на фрикцию, длительность перевода, правильность регулировки гарнитуры и узлов крепления, состояние электродвигателя.

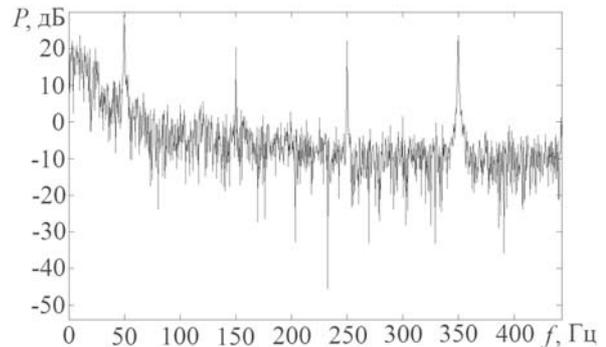


Рис. 19. Спектр тока в рабочей цепи стрелочного электропривода переменного тока при переводе одиночной стрелки с неисправным ротором на низких частотах

Fig. 19. Range of current in the working circuit of the AC electric turnout when switching of a single railway point with a faulty rotor at low frequencies

### Научная новизна и практическая значимость

Применение вычислительной техники при диагностировании состояния стрелочных переводов в процессе их работы для анализа текущих величин технических показателей является прогрессивным методом контроля и оценивания степени соответствия исследуемого оборудования эксплуатационным нормам. Он позволяет своевременно, еще на начальных этапах образования дефектов деталей, неисправностей узлов или поломок механизмов обнаружить и путем оперативного вмешательства предотвратить дальнейший ущерб, к которому они могут привести.

Методика определения наличия или отсутствия неисправностей в процессе технической эксплуатации, предложенная в статье, в настоящее время не применяется в том виде, в котором она изложена, поэтому оценивание степени соответствия технологическим нормам и принятие решения о необходимости оперативного вмешательства происходит с запаздыванием.

Очень часто большая потеря времени при-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

водит к образованию неустраняемых дефектов, которые ведут к значительным материальным затратам на замену вышедших из строя элементов. Кроме того, упущенный момент времени по определению появления первых признаков неисправностей в очень многих случаях сопровождается не только большими затратами средств на дорогостоящий ремонт значительно поврежденных устройств или на приобретение новых, но и становится причиной задержек движения. Выбывание поездов из графика движения приносит неудобства пассажирам и убытки компаниям-владельцам грузов, перевозимых железнодорожным транспортом. Ухудшается при этом и положение с главной задачей перевозочного процесса – обеспечением безопасности движения.

Предложенный метод диагностики состояния стрелочного перевода является относительно недорогим в применении, простым в использовании и довольно эффективным в определении неисправностей. Внедрение диагностического анализа состояния стрелочного перевода с использованием компьютерной техники позволит определять появление неисправностей на ранних этапах их образования и предотвращать их развитие.

**Выводы**

Проведенные экспериментальные исследования на различных станциях с разными типами стрелочных электроприводов как постоянного, так и переменного тока, на которых установлены различные типы двигателей для каждой из систем питания, подтверждают справедливость и обоснованность суждений о возможности производить дистанционное техническое диагностирование на основании анализа сигнала токовой кривой, которая протекает в рабочей цепи стрелочного электропривода при переводе стрелки.

Единство и общность выводов, сделанных на основании поставленных опытов, подтверждают достоверность и закономерность полученных результатов.

Получение информации о появлении неисправностей в цифровом виде позволит обеспечить получение большего объема информации за меньший период времени, чем это предусмотрено графиком обслуживания, о состоянии

стрелочных переводов работниками службы сигнализации и связи, что даст им возможность, основываясь на результаты данных, полученных в электронных протоколах журналов проверки, планировать свой рабочий день таким образом, чтобы не нарушать график технологического процесса и выполнять работы по устранению возникших неисправностей.

Разрабатываемая методика является основой системы, которая позволит дистанционно определять текущее состояние стрелочного перевода со всеми возможными неисправностями. Данная система сумеет определять как постепенные отказы, так и повреждения, которые возникают внезапно, и в режиме реального времени сообщать об их появлении

Применение системы дистанционного диагностирования состояния стрелочных электроприводов в автоматизированном режиме позволит экономить время на поиски неисправностей, средства и объем работ по замене и ремонту вышедших из строя элементов оборудования, приведет к сокращению числа задержек поездов и значительному повышению безопасности движения.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Буряк, С. Ю. Исследование временной зависимости и спектрального состава сигнала в цепи стрелочных электродвигателей переменного тока / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 6 (54). – С. 7–22.
2. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока / С. Ю. Буряк, В. И. Гаврилюк, О. А. Гололобова, А. М. Безнарытний // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2014. – № 4 (52). – С. 7–22.
3. Коган, Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики / Д. А. Коган, З. А. Эткин. – 2-е изд., перерераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1987. – 256 с.
4. Коган, Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики / Д. А. Коган, М. М. Молдавский. – Москва : Академкнига, 2003. – 438 с.
5. Резников, Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики /

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- Ю. М. Резников. – Москва : Транспорт, 1985. – 288 с.
6. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / Э. Андерс, Т. Берндт, И. Долгий [и др.] ; под ред. Г. Теера, С. Влащенко. – Гамбург : Интекст, 2010. – 488 с.
  7. Buryak, S. Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor / S. YU. Buryak // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2014. – № 2 (50). – P. 7–20.
  8. Chaparro, L. F. Signals and Systems Using MATLAB / L. F. Chaparro // Dep. of Electrical and Computer Eng. Univ. of Pittsburgh. – Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sidney, Tokyo : Academic Press, 2011. – 752 p.
  9. Corinthios, M. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB. / M. Corinthios. – Boca Raton, London, New York : CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 1316 p.
  10. Leis, J. W. Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers / J. W. Leis // Univ. of Southern Queensland. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. – 382 p. doi : 10.1002/9781118033623.
  11. Lui, J. Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation / J. Lui, X. Wang – Beijing : Tsinghua University Press, 2012. – 366 p.
  12. Swanson, D. C. Signal Processing for Intelligent Sensor Systems with MATLAB, Second Edition / D. C. Swanson. – Boca Raton : CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 664 p.
  13. Tervo, R. J. Practical Signals Theory with MATLAB Applications / R. J. Tervo. – Hoboken, New Jersey : Wiley, 2014. – 486 p.

С. Ю. БУРЯК<sup>1\*</sup>, В. І. ГАВРИЛЮК<sup>2</sup>, О. О. ГОЛОЛОБОВА<sup>3</sup>, М. О. КОВРИГІН<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

<sup>2</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта gvi\_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>3</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

<sup>4</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта Kovrygin\_Mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0001-5092-8307

## ДИСТАНЦІЙНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ЗА ЧАСОВОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ТА СПЕКТРАЛЬНОЮ СКЛАДОВОЮ КРИВОЇ СТРУМУ

**Мета.** Робота спрямована на розробку та впровадження системи діагностування стрілок, яка б дозволила дистанційно визначати поточний стан стрілочного переводу з усіма можливими несправностями, поступовими та раптовими відмовами й пошкодженнями, і в режимі реального часу повідомляти про їхню появу. **Методика.** Діагностування стану за аналізом величин основних параметрів стрілочних переводів пропонується здійснювати за допомогою комп'ютера та аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Підключення для виконання вимірювань доцільно проводити до шунта амперметра, встановленого в робочій ланці стрілочної живильної панелі. АЦП перетворює аналоговий сигнал падіння напруги на шунт у цифровий вигляд та передає його на комп'ютер, який зберігає отримані дані на власному носії інформації з метою їх подальшої обробки та зберігання. За допомогою спеціального програмного забезпечення, здатного відновлювати сигнал та будувати його часову характеристику, а також розкладати його на спектральні складові, проводиться аналіз отриманих даних. Аналіз дозволяє діагностувати стан стрілок по зміні характеру, значень і складу кривої струму. **Результати.** Метод комп'ютерної діагностики отримав практичне підтвердження можливості визначення несправностей, котрі пов'язані як із механічною частиною

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

стрілочного переводу, так і з електричною його частиною. При цьому контролюються такі параметри, як: величина струму нормального переводу при роботі на фрикцію, тривалість переводу, правильність регулювання гарнітури та вузлів кріплення; стан електродвигуна. **Наукова новизна.** Застосування обчислювальної техніки при діагностуванні стану стрілочних переводів у процесі їх експлуатації (для контролю поточних величин технічних показників, аналізу та зберігання даних для всіх видів стрілочних електроприводів із різними видами двигунів як постійного, так і змінного струму) відбувається за допомогою оцифрування та запису сигналу з вимірювального шунта стрілочної живильної панелі. **Практична значимість.** Запропонований метод дозволяє своєчасно, ще на початкових етапах утворення дефектів деталей, несправностей вузлів або поломок механізмів виявляти й усувати їх. Крім цього, він призводить до зниження завантаженості електромеханіків із виконання графіка технічного обслуговування. Впровадження діагностичного аналізу стану стрілочного переводу з використанням комп'ютерної техніки дозволить визначити появу несправностей на ранніх етапах їх утворення та запобігти розвитку ушкоджень, які важко усунути, або необхідності їх повної заміни.

*Ключові слова:* електропривод; стрілочний перевід; постійний струм; змінний струм; аналіз сигналу; діагностування; часова залежність; спектральний склад; панель живлення

S. YU. BURYAK<sup>1\*</sup>, V. I. GAVRILYUK<sup>2</sup>, O. O. HOLOLOBOVA<sup>4</sup>, M. O. KOVRYGIN<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail bsyur@mail.ru, ORCID 0000-0002-8251-785x

<sup>2</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gvi\_dp@mail.ru, ORCID 0000-0001-9954-4478

<sup>3</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail gololobova\_oksana@i.ua, ORCID 0000-0003-1857-8196

<sup>4</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail Kovrygin\_Mikhail@mail.ru, ORCID 0000-0001-5092-8307

## REMOTE DIAGNOSTICS OF TURNOUTS STATE ON TIMING AND SPECTRAL COMPOSITION IN CURRENT CURVE

**Purpose.** Development and implementation the points system diagnostics that would allow determining remotely the current state of turnout with all possible faults, gradual and sudden failures, damages, and in real time to report about their appearance. **Methodology.** State diagnostics on the values analysis of turnout main parameters is proposed to carry out with the help of a computer and analog-to-digital converter (ADC). Connecting measurements performance is advisable to produce to a shunt ammeter, installed in the working circuit of the point feed panel. ADC converts the analog signal of lost volts at the shunt into digital form and transmits it to a computer which stores the received data on its own recording medium for their further processing and storage. There is special software that is capable to reconnect signal and construct its temporal characteristic as well as decompose it on the spectral components. Using it one can analyze the obtained data, which allows diagnosing state of points upon change the nature, values and composition of the current curve. **Findings.** The computer diagnosis method was confirmed in practice for possible indications of problems that are associated with both the mechanical part of the turnout and the electrical part of it, while controlling parameters such as the amount of current normal transition, when working on frictions, the duration of the transition, properly adjusted headset and attachment points, the state of the motor. **Originality.** The use of computer technology in the diagnosis of the state of turnouts during their operation to monitor the current values of technical indicators, analysis and storage for all types of electric switches with different types of engines both DC and AC occurs through digitization and recording signal from measuring shunt of point feeder panel. **Practical value.** The proposed method enables timely, still in the early stages of defect parts, damages or failures of nodes mechanisms to detect and eliminate them. In addition, it reduces the load on the electrical engineers during schedule maintenance. The introduction of a diagnostic analysis of the turnout using computer technology will allow defining the appearance of faults in the early stages of their formation and preventing development the difficult avoidable damages or necessity for their complete replacement.

*Keywords:* electric switch; turnout; DC; AC; signal analysis; diagnosis; time dependence; spectral composition; feeder panel

## REFERENCES

1. Buryak S.Yu., Gavrilyuk V.I., Gololobova O.A. Issledovaniye vremennoy zavisimosti i spektralnogo sostava signala v tsepi strelochnykh elektrodvigatelye peremennogo toka [Study of time dependence and spectral composition of the signal in circuit of AC electric point motors]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 6 (54), pp. 7-22.
2. Buryak S.Yu., Gavrilyuk V.I., Gololobova O.A., Beznarytnyy A.M. Issledovaniye diagnosticheskikh priznakov strelochnykh elektropivodov peremennogo toka [Diagnostic features research of AC electric point motors]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 4 (52), pp. 7-22.
3. Kogan D.A., Etkin Z.A. *Aparatura elektropitaniya zheleznodorozhnoy avtomatiki* [Power equipment of railway automation]. Moscow, Transport Publ., 1987. 256 p.
4. Kogan D.A., Moldavskiy M.M. *Aparatura elektropitaniya zheleznodorozhnoy avtomatiki* [Power equipment of railway automation]. Moscow, IKTS Akademkniga Publ., 2003. 438 p.
5. Reznikov Yu.M. *Elektropivody zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Electric drives of railway automatics and remote control]. Moscow, Transport Publ., 1985. 288 p.
6. Anders E., Berndt T., Dolgij I. *Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznykh dorogakh mira* [Systems of automation and telemechanics on the railways of the world]. Gamburg, Intekst Publ., 2010. 488 p.
7. Buryak S.Yu. Mathematical modeling of AC electric point motor. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014, no. 2 (50), pp. 7-20.
8. Chaparro L.F. *Signals and Systems Using MATLAB*. Dep. of Electrical and Computer Eng. Univ. of Pittsburgh. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sidney, Tokyo, Academic Press Publ., 2011. 752 p.
9. Corinthios M. *Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB*. Boca Raton, London, New York. CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2009. 1316 p.
10. Leis J.W. *Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers*. Univ. of Southern Queensland. New Jersey, John Wiley & Sons Publ., 2011. 382 p. doi : 10.1002/9781118033623.
11. Lui J., Wang X. *Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation*. Beijing, Tsinghua University Press Publ., 2012. 366 p.
12. Swanson D.C. *Signal Processing for Intelligent Sensor Systems with MATLAB*. Boca Raton, CRC Press Taylor & Francis Group Publ., 2012. 664 p.
13. Tervo R.J. *Practical Signals Theory with MATLAB Applications*. Hoboken, New Jersey, Wiley Publ., 2014. 486 p.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. И. В. Жуковицким (Украина); д.физ.-мат н., проф. А. В. Коваленко (Украина).*

Поступила в редколлегию 25.01.2015

Принята к печати 18.03.2015