

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА И СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА КАРЬЕРА

Софья Дмитриевна Бродникова

ООО Восточная Техника, департамент технической поддержки, 630001, Россия, г. Новосибирск, Дуси Ковальчук, 1к1, аналитик технического состояния техники; Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, студент, e-mail: so-1996@yandex.ru

Николай Александрович Маслов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. (383)205-30-30, доб. 240, e-mail: namaslov@mail.ru; Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, доцент

Рассмотрен практический опыт применения метода диагностирования земляного полотна карьера, основанного на оценке состояния земляного полотна через параметры функционирования карьерного самосвала, полученные от системы дистанционного мониторинга его технического состояния в процессе изменяющихся дорожных условий. Определена зависимость между параметрами функционирования самосвала и состояния дороги, определяющими устойчивость ее проектных параметров при эксплуатации.

Ключевые слова: метод диагностирования, система диагностирования, земляное полотно, карьерный самосвал, алгоритм диагностирования, программа диагностирования.

APPLICATION OF SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF QUARRIES'S LAND SURFACE

Sofia D. Brodnikova

LLC Vostochnaya Technika, 1k1, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630001, Russia, Technical Support Department, Technical Status Analyst; Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Student, e-mail: vo3an@yandex.ru

Nikolai A. Maslov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Researcher, phone: (383)205-30-30, extension 240, e-mail: namaslov@mail.ru; Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Associate Professor

Practical experience of diagnosing the open-pit earthwork based on the assessment of its condition using the functioning parameters of pit dump truck obtained from the system of remote monitoring of its technical state in changing road conditions is reviewed. The relationship between functioning parameters of the truck and road condition determining the stability of its design parameters in operation is found.

Key words: diagnosing method, diagnosing system, earthwork, pit dump truck, diagnosing algorithm, diagnosing program.

Введение. Состояние карьерных дорог напрямую влияет на техническое состояние парка машин и технологический процесс. Значительные неровности земляного полотна приводят к необходимости снижения скорости карьерного самосвала (далее по тексту – машина) как в груженном, так и порожнем состоянии для обеспечения безопасности движения. Это приводит к уменьшению количества циклов работы машины за смену. Плохое состояние дорог – причина преждевременного выхода из строя ходовой части машины и увеличения расходов на ее эксплуатацию. Поэтому важным направлением развития цифровых технологий при ремонте и содержании дорог становится мониторинг технического состояния машин [1] с помощью активно внедряемых автоматизированных систем контроля. Подобные системы, передают данные в реальном времени и позволяют контролировать работу не только машин, но и состояние самих дорог. Для цифровых систем необходимо устанавливать критерии оценки состояния машин, в т.ч. на основе зависимости между их рабочими режимами и параметрами технического состояния дороги, определяющими устойчивость ее проектных параметров при эксплуатации [2]. В Сибирском государственном университете путей сообщения более 10 лет работают в области диагностики машин [1-14], тесно сотрудничая с ОАО РЖД, ООО Восточная Техника (официальный дилер компании Caterpillar) и Институтом горного дела СО РАН в образовательных центрах СГУПС – ИГД СО РАН и СГУПС – Восточная Техника – Катерпиллар. Такая совместная работа позволяет организовать качественное обучение специалистов в области диагностики и готовить их к самостоятельной эксплуатации и разработке перспективных систем диагностирования современных горных, путевых, подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин [15, 16].

Предлагаемый физический принцип диагностирования земляного полотна дороги карьера заключается в том, что машина (самосвал Caterpillar), оборудованная системой VIMS контроля ее параметров, передвигаясь по дорожному полотну карьера, фиксирует ряд кодов сбоев (событий), связанных с изменением параметров функционирования машины, например, давления в гидроцилиндрах подвески. Возникновение этих событий связано с преодолением препятствий ходовым оборудованием. Так же определяются и передаются географические координаты машины.

Целью настоящей работы является практическое апробирование предложенного метода диагностирования земляного полотна карьера.

Задачи работы: сбор и анализ событий, зафиксированных системой контроля параметров машины VIMS, выявление событий, которые возникают из-за неровности или неправильной геометрии земляного полотна; выявление зависимости между событиями разных групп по отдельности и событиями, рассчитанными системой контроля параметров машины VIMS; выбор параметров функционирования машины, связанных с параметрами технического состояния и диагностирования земляного полотна карьерной дороги.

Выполнен анализ событий, зафиксированных системой контроля параметров машины VIMS, выявлены те, которые возникают вследствие неровности или не-

правильной геометрии земляного полотна (таблица 1), например, при повороте машины влево без должного уклона дороги возникает событие «VIMS 3216. Превышена продольная нагрузка на раму». При этом система контроля параметров машины VIMS измеряет давление масла в амортизаторах подвески, рассчитывает разницу сумм давления в левых (передних и задних) и в правых (передних и задних) амортизаторах подвески машины и сравнивает с нормированным значением «-13500 кПа». Произведена обработка собранных электронных данных в специальной программе Techical Toolbox. На рис. 1 и 2 показаны тенденции изменения (тренды) давления в амортизаторах подвески машины, полученные из файла типа «datalogger» после программной обработки. Измерения давления выполнены с частой 10 Гц.

Таблица 1

Описание некоторых событий, зафиксированных системой контроля параметров машины VIMS, возникших из-за неровности земляного полотна

Код события	Уровень события	Название события	Статус события	Математический оператор	Давление, кПа	Описание события [17]
1226 (1228)	2	Lt F (Rt F) Susp Cyl	высокий	=	2000	Левый (правый) передний цилиндр подвески сжат. Превышено давление
3215 (3216)	1	MAX BIAS/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	13500 (-13500)	Превышена продольная нагрузка на раму машины
3217 (3218)	2	MAX BIAS/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	15000 (-15000)	Чрезмерно превышена продольная нагрузка на раму машины
3219 (3220)	1	MAX BIAS/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	17500 (-17500)	Превышена продольная нагрузка на раму машины
3221 (3222)	2	MAX BIAS/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	19000 (-19000)	Чрезмерно превышена продольная нагрузка на раму машины
3223 (3224)	1	MAX BIAS/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	20000 (-20000)	Превышена продольная нагрузка на раму машины
3225 (3226)	2	MAX BIAS/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	24000 (-24000)	Чрезмерно превышена продольная нагрузка на раму машины
3227 (3228)	1	MAX PITCH/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	19000 (-19000)	Превышена поперечная нагрузка на раму машины
3229 (3230)	2	MAX PITCH/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	22000 (-22000)	Чрезмерно превышена поперечная нагрузка на раму машины
3231 (3232)	1	MAX PITCH/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	23500 (-23500)	Превышена поперечная нагрузка на раму машины
3233 (3234)	2	MAX PITCH/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	26000 (-26000)	Чрезмерно превышена поперечная нагрузка на раму машины

Код события	Уровень события	Название события	Статус события	Математический оператор	Давление, кПа	Описание события [17]
3235 (3236)	1	MAX PITCH/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	28500 (-28500)	Превышена поперечная нагрузка на раму машины
3237 (3238)	2	MAX PITCH/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	31000 (-31000)	Чрезмерно превышена поперечная нагрузка на раму машины
3239 (3240)	1	MAX RACK/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	14000 (-14000)	Превышена максимальная диагональная нагрузка на раму машины
3241 (3242)	2	MAX RACK/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	16000 (-16000)	Чрезмерно превышена максимальная диагональная нагрузка на раму машины
3243 (3244)	1	MAX RACK/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	18500 (-18500)	Превышена максимальная диагональная нагрузка на раму машины
3245 (3246)	2	MAX RACK/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	20000 (-20000)	Чрезмерно превышена максимальная диагональная нагрузка на раму машины
3247 (3248)	1	MAX RACK/SEC	высокий	$\geq (\leq)$	21000 (-21000)	Превышена максимальная диагональная нагрузка на раму машины
3249 (3250)	2	MAX RACK/SEC	слишком высокий	$\geq (\leq)$	25000 (25000)	Чрезмерно превышена максимальная диагональная нагрузка на раму машины
755 (757)	2	RT F (R) SUSP CYL	низкий	$= (=)$	-32766 (-32766)	Низкое давление в переднем (заднем) правом амортизаторе подвески

На рис. 3 и 4 выведены те же параметры, но в момент времени № 2 (с 03.02.2020 г. 16:01:00 до 03.02.2020 г. 16:07:00). Отчетливо прослеживается обратная зависимость между давлением в левом переднем (рис. 3, а) и правом заднем амортизаторе (рис. 3, в), а также обратная зависимость между давлением в правом переднем (рис. 4, а) и левом заднем амортизаторе (рис. 4, в). Значение поперечной нагрузки на раму машины (рис. 3, б) зависит от изменения давления во всех амортизаторах подвески машины. В момент времени между 16:03 и 16:04 значение поперечной нагрузки на раму машины находится в пределах нормы, однако значения давления в левом переднем амортизаторе подвески машины превышает норму. Это значит, что недостаточно рассматривать только параметры поперечной (Pitch), продольной (Bias) и диагональной (Rack) нагрузок. В этом случае необходимо рассматривать нагрузки, действующие на раму, совместно с давлениями в амортизаторах подвески машины.

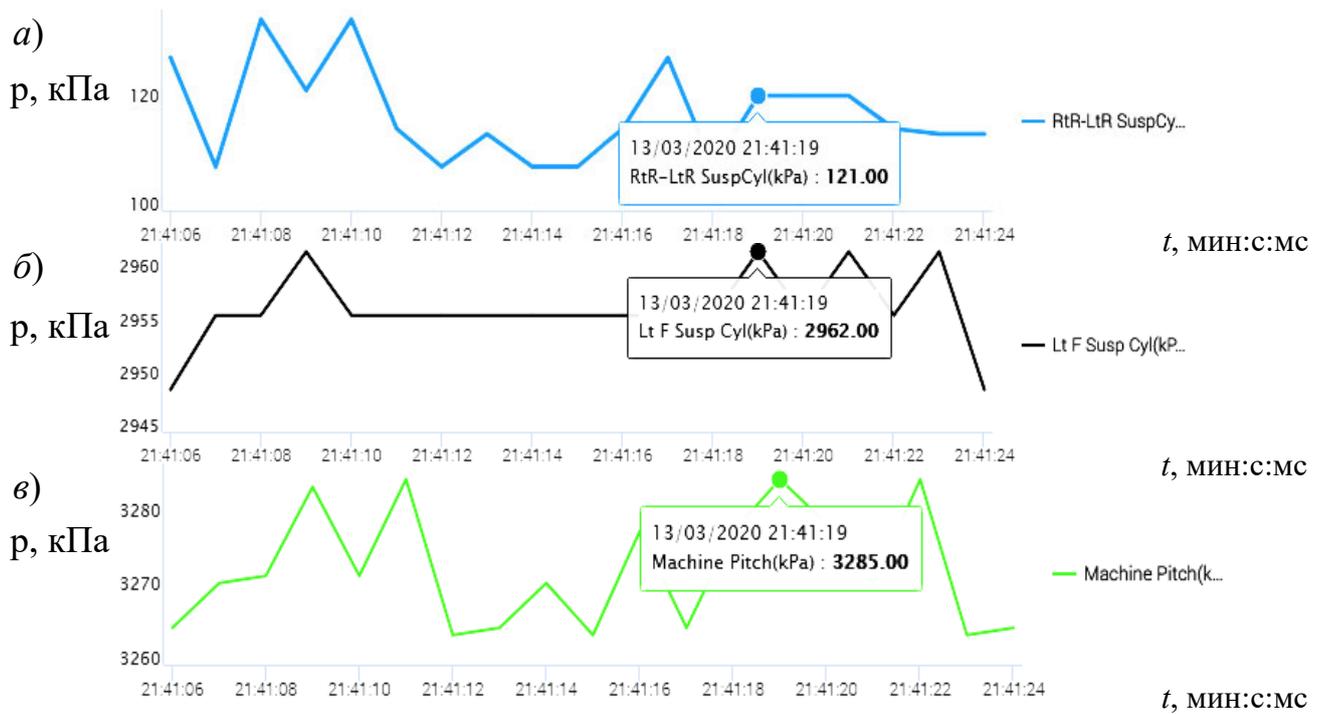


Рис. 1. Графики изменения давления в амортизаторах подвески и поперечной нагрузки на раму машины с серийным номером ХХХ00018 в функции времени:

а) разница давлений в правом и левом задних амортизаторах; б) давление в левом переднем амортизаторе; в) поперечная нагрузка на раму машины

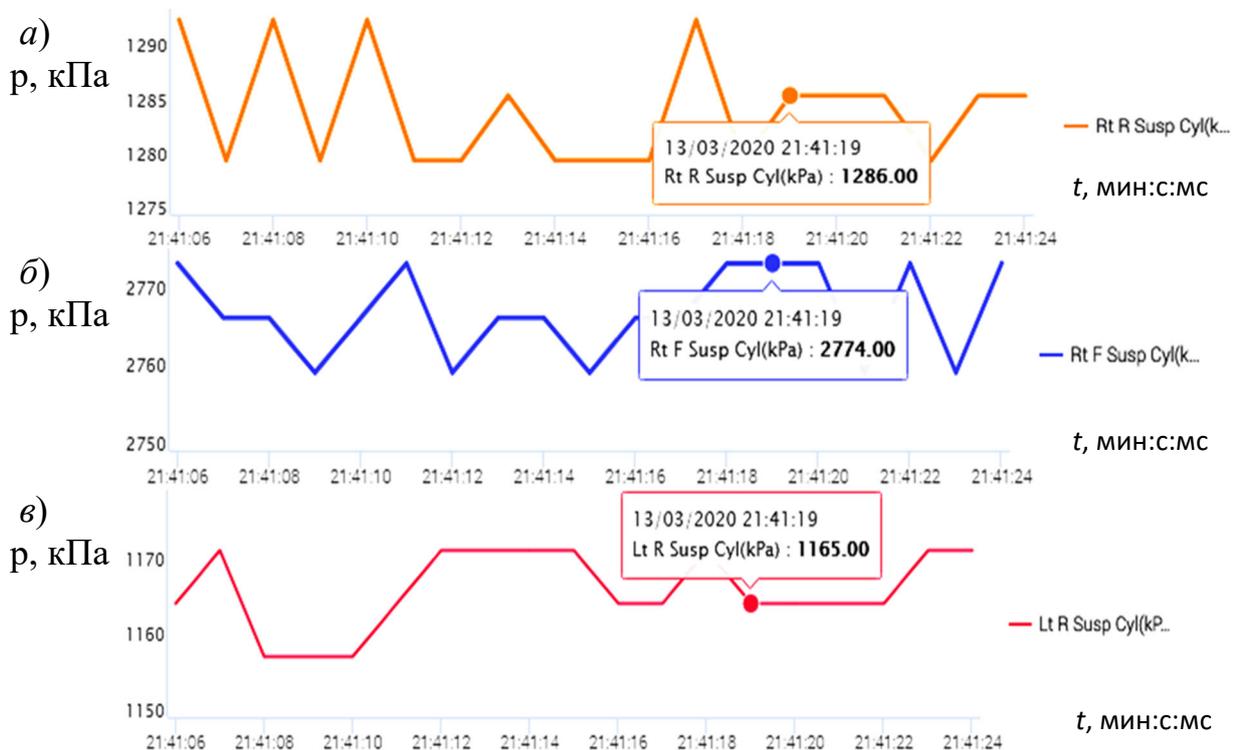


Рис. 2. Графики изменения давления в амортизаторах подвески машины с серийным номером ХХХ00018 в функции времени:

а) давление в правом заднем амортизаторе; б) давление в правом переднем амортизаторе; в) давление в левом заднем амортизаторе

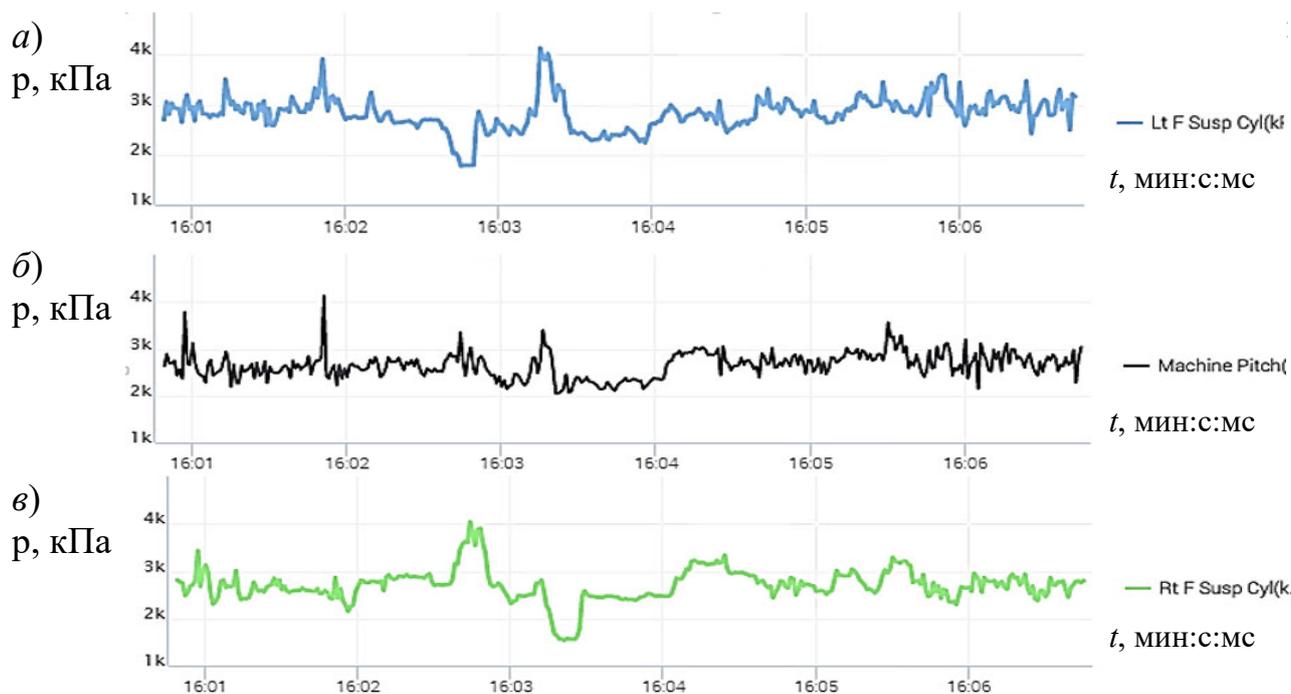


Рис. 3. Графики изменения давления в амортизаторах подвески и поперечной нагрузки на раму машины с серийным номером ХХХ00018 в функции времени:

а) давление в левом переднем амортизаторе; б) поперечная нагрузка на раму машины; в) давление в правом переднем амортизаторе

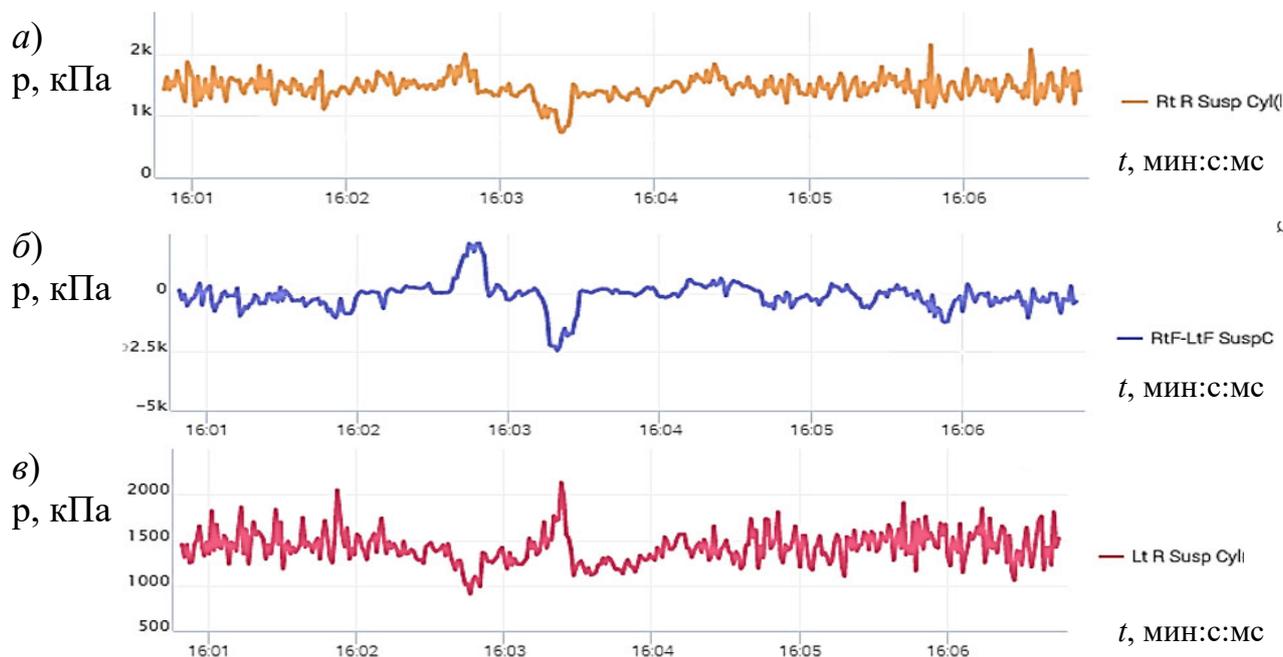


Рис. 4. Графики изменения давления и разницы давления в амортизаторах подвески машины с серийным номером ХХХ00018 в функции времени:

а) давление в правом заднем амортизаторе; б) разница давлений в передних амортизаторах; в) давление в левом заднем амортизаторе

На основании результатов проведенного анализа событий, зафиксированных системой контроля параметров машины VIMS, произведен выбор наиболее информативных параметров функционирования машины, связанных с параметрами технического состояния и диагностирования земляного полотна карьерной дороги (табл. 2). Информативность параметров, рекомендуемых для практического применения при диагностировании земляного полотна (по результатам проведенного анализа событий), подтверждена необходимым количеством повторно зафиксированных одних и тех же кодов событий в одном и том же месте их возникновения (определены географические координаты положения машины на месте дефекта земляного полотна).

Таблица 2

Параметры функционирования машины, технического состояния и диагностирования земляного полотна карьерной дороги

Параметры технического состояния (диагностирования) земляного полотна	Параметры функционирования машины	
Продольный профиль полотна (Отклонение продольного профиля полотна от требований СНиП)	Давление в передних и задних амортизаторах	Продольные нагрузки на раму (Bias)
Поперечный профиль полотна (Отклонение поперечного профиля полотна от требований СНиП)	Давление в передних и задних амортизаторах	Поперечные нагрузки на раму (Pitch)
Ровность поверхности полотна (Отклонение локальной ровности полотна от требований СНиП). Продольный и поперечный профили полотна (Отклонения продольного и поперечного профилей полотна от требований СНиП)	Давление в передних и задних амортизаторах	Диагональные нагрузки на раму (Rack)
	Давление в левом переднем амортизаторе	Давление в левом переднем амортизаторе
	Давление в правом переднем амортизаторе	Давление в правом переднем амортизаторе
	Давление в левом заднем амортизаторе	Давление в левом заднем амортизаторе
	Давление в правом заднем амортизаторе	Давление в правом заднем амортизаторе

Выводы. На основе, проведенных с реальными экспериментальными данными, результатов аналитических исследований установлено, что:

1. События, возникающие из-за локальной неровности или неправильной геометрии земляного полотна, относятся к группам событий «1226-1230» и «3215-3250».

2. Существуют взаимосвязи между событиями разных групп. Так связаны события группы «1226-1230. Изменение давления в амортизаторах подвески машины, измеренные в каждом амортизаторе по отдельности» и события группы «3215-3250. Изменение разницы сумм давления в левых (передних и задних) и в правых (передних и задних) амортизаторах подвески машины», рассчитанные системой контроля параметров машины VIMS.

3. Предлагаемый физический принцип диагностирования земляного полотна дороги карьера позволяет оценивать уровень величин локальных дефек-

тов земляного полотна (колеиность, волны, просадки и выбоины) и отклонений поперечных профилей дорог от требований СНиП (обратный уклон, вогнутая форма) по уровням и частотам возникновения событий, зафиксированных системой контроля параметров машины VIMS.

4. Для более достоверного установления вида дефекта земляного полотна необходимо рассматривать продольные, поперечные и диагональные нагрузки, действующие на раму, совместно с давлениями в отдельных амортизаторах подвески машины.

5. Критерием информативности параметров функционирования машины, технического состояния и диагностирования земляного полотна карьерной дороги является повторяемость событий при повторном нахождении машины на месте одного и т.ж. дефекта земляного полотна.

Основные результаты работы:

- предложен метод диагностирования земляного полотна карьера, основанный на оценке состояния земляного полотна через параметры функционирования карьерного самосвала, полученные от системы дистанционного мониторинга его технического состояния в процессе изменяющихся дорожных условий;

- разработаны алгоритм и программа диагностирования земляного полотна карьера, позволяющие производить диагностику дорожного полотна в процессе движения самосвала без дополнительного оборудования;

- обеспечена возможность увеличения рабочей и транспортной скоростей движения самосвала по дорогам карьера;

- обеспечена возможность продления эксплуатационного ресурса шин и подвески и снижена стоимость эксплуатации самосвала;

- улучшен технологический процесс (за счет большего числа рейсов) и повышены производительности работ и прибыль от производства работ в карьере.

Работа выполнена для ООО Восточная Техника и внедрена на производстве.

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117122090003-2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслов Н. А. Методическое обеспечение контроля качества уплотнения балласта выправочно-подбивочными машинами // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 19–20 октября 2017 г.) : в 3 ч. Ч. 2. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2018. – С. 250–258.

2. Абрамов, А.Д., Манаков, А.Л., Маслов, Н. А. Реализация цифровых технологий ремонта пути / А.Д. Абрамов, А.Л. Манаков, Н.А. Маслов // Путь и путевое хозяйство, 2019. – № 10. – С. 16–19.

3. Маслов Н. А., Казаченко., Я. О. Метрологическое обеспечение стенда для испытаний насосов с инерционным приводным устройством / Н. А. Маслов, Я. О. Казаченко // Вестник машиностроения, 2014. – № 5. – С. 35–40.

4. Маслов Н. А. Обоснование принципиальной схемы стенда для испытаний объемных гидромашин // Вестник машиностроения, 2014. – № 6. – С. 3–10.

5. Maslov N. A. Pump Diagnostics on the Basis of the Duration of Deceleration // Russian Engineering Research, 2014. – Vol. 34, No. 7. – pp. 433–435.

6. Абрамов А. Д., Маслов, Н. А. Технологическое обеспечение эксплуатационной надежности выправочно-подбивочно-рихтовочных машин ВПР-02 // Главный механик, 2015. – № 10. – С. 48–53.
7. Маслов Н. А. Разработка методики определения вероятности безотказной работы гидропривода машины / Н. А. Маслов // Главный механик, 2016. – № 12. – С. 27–34.
8. Маслов Н. А. Разработка методики диагностирования пневмогидроцилиндров машин // Главный механик, 2017. – № 2. – С. 61–68.
9. Маслов Н. А. Анализ неисправностей пластинчатых гидромашин путевой техники, вызванных чрезмерным давлением, аэрацией гидравлического масла и кавитацией // Вестник СГУПС, 2016. – № 1. – С. 5–15.
10. Маслов Н. А. Анализ механических неисправностей пластинчатых гидромашин путевой техники // Вестник СГУПС, 2015. – № 2. – С. 53–59.
11. Маслов Н. А. Анализ неисправностей путевой техники // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, Новосибирск, 2016. – № 3, т. 2. – С. 114–120.
12. Маслов Н. А. Разработка методик диагностирования гидроприводов машин в квазистатических и динамических режимах // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, Новосибирск, 2016. – № 3, т. 2. – С. 121–128.
13. Маслов Н. А. Методическое обеспечение прогнозирования безотказности гидропривода машины // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы». Тезисы конференции. Новосибирск, 2016. – С. 227–228.
14. Маслов Н. А. Анализ неисправностей пластинчатых гидромашин путевой техники, вызванных загрязнением твердыми частицами, обводнением, вязкостью масла и использованием несоответствующих масел // Вестник СГУПС, 2017. – № 3, с.55-65.
15. Абрамов А. Д., Манаков А. Л., Маслов Н. А. Инновационные разработки студенческого научного объединения СГУПС – производству / А. Д. Абрамов, А. Л. Манаков, Н. А. Маслов // Железнодорожный транспорт, 2020. – № 3. – С. 68–72.
16. Абрамов А. Д., Задорин Г. П., Манаков А. Л., Маслов Н. А. Подготовка инженеро-инноваторов для ОАО «РЖД» / А. Д. Абрамов, Г. П. Задорин, А. Л. Манаков, Н. А. Маслов // Путь и путевое хозяйство, 2019. – № 3. – С. 17–20.
17. CATERPILLAR PERFORMANCE HANDBOOK, a publication by Caterpillar, Peoria, Illinois, U.S.A. 2019.

© С. Д. Бродникова, Н. А. Маслов, 2020