

**Рис. 4.** Графіки для визначення поправочного коефіцієнта для корекції концентрації горного тиску в зоні ПГД

При пересіченні такої зони в діючому виемочному участку додаткові заходи по зниженню ймовірності негативних проявлень горного тиску можна проектувати з урахуванням зменшення розмірів зони ПГД.

**Висновки і напрямки подальших досліджень.** Отримані наукові результати мають актуаль-

не практичне значення. Встановлена закономірність релаксації градієнта горного тиску в околицях зон ПГД дає можливість урахування цієї релаксації при розрахунку параметрів зон в процесі розвитку очистних робіт.

#### Список літератури

1. Назимко І.В. Фізичне моделювання як метод перевірки результатів термодинамічного аналізу необоротних зсувів в околицях зони ПГД / І.В. Назимко // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг. – Вип. 31, 2012. – С. 101-107.
2. Указання по раціональному розташуванню, охороні і підтриманню горних виробіток на вугільних шахтах СРСР. - Л.:ВНИМИ, 1985. - 222 с.
3. Ефремов І.А. Дослідження зв'язку між горним тиском і зсувами масиву горних порід / І.А. Ефремов, І.В. Назимко // Изв. горного інститута. Донецьк, ДонНТУ, 2010. - № 2 - 50-63.
4. Назимко І.В. Термодинамічний аналіз варіацій деформаційних властивостей породи / І.В. Назимко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. - Донецьк, №7, 2010. – С. 98-112.
5. Опрішко Ю.С. Встановлення причини динамічного проявлення горного тиску в натурних умовах / Ю.С. Опрішко, І.А. Ефремов, І.В. Назимко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. - Донецьк, №8, 2011. – С. 53-67.

Рукопис прийнятий в редакцію 06.03.12

УДК 629.114:622.002.5

В.С. ГИРИН, д-р техн. наук, проф., І.В. ГИРИН, В.В. ПОТАПЕНКО, ст. преподаватели, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»  
В.В. ТУПОТЕНКО, инженер, ПАО «ИнГОК»

### ПЕРСПЕКТИВИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На основе использования электронно-оптической аппаратуры предложена методика и усовершенствовано оборудование для определения фактического технического состояния при диагностировании агрегатов горнотранспортного оборудования в условиях ПАО «ИнГОК»

Горнотранспортное оборудование глубоких карьеров эксплуатируется в экстремальных условиях, что значительно снижает ресурс агрегатов, поэтому актуальной является задача обеспечения его надёжности, от которой зависят безопасность, экономичность, ресурсосбережение, конкурентоспособность.

Эксплуатационная надёжность горнотранспортного оборудования определяется организацией системы технического обслуживания и ремонта, где в настоящее время прослеживается потребность в разработке методов обслуживания машин по фактическому состоянию [1]. Успешное решение этой проблемы зависит от качества организационного, информационного, методологического и технического обеспечения, оснащением вычислительной техникой, экспериментальной и производственной базой, уровнем метрологии. Не только статистика отказов, но и прогнозирование поведения машины, специальные испытания, регламентация условий эксплуатации позволят повысить эффективность использования техники за счёт оснащённости центров обслуживания. Идентификация фактического состояния, обнаружение пре-

дотказного состояния, прогнозирование динамики изменения состояния в процессе эксплуатации, определение остаточного ресурса – эти задачи являются частями единой проблемы – обеспечения безотказного функционирования техники.

В настоящее время имеется девять видов и более пятидесяти физических методов неразрушающего контроля, применяемых в отечественной и зарубежной практике для оценки качества материалов и изделий [2]. Согласно действующим стандартам, в основу классификации методов неразрушающего контроля положены физические процессы взаимодействия физического поля или вещества с объектом контроля: магнитный, электрический, вихрековый, радиоволновой, тепловой, радиационный, проникающими веществами, акустический и оптический.

Оптический эмиссионный спектральный анализ – один из наиболее распространенных методов анализа элементного состава материалов. Важнейшие достоинства анализа - его быстрота, наряду с высокой точностью и низкими пределами обнаружения, низкая себестоимость, простота подготовки проб. Основные области применения - анализ состава металлов и сплавов в металлургии и машиностроении, исследование геологических образцов и минерального сырья в горнодобывающей промышленности, анализ вод и почв в экологии, анализ моторных масел и других технических жидкостей на примеси металлов с целью диагностики состояния машин и механизмов.

Принцип действия оптического эмиссионного спектрометра основан на том, что атомы каждого элемента могут испускать свет определенных длин волн – спектральные линии, причем эти длины волн разные для разных элементов. Для того чтобы атомы начали испускать свет, их необходимо возбудить – нагреванием, электрическим разрядом, лазером или каким-либо иным способом. Чем больше атомов данного элемента присутствует в анализируемой пробе, тем ярче будет излучение соответствующей длины волны.

Одним из направлений, позволяющих повысить эффективность эксплуатации крупнотоннажной техники, является своевременная диагностика состояния узлов и агрегатов, в том числе карьерных самосвалов, периодичность и трудоемкость технического обслуживания и ремонта которых могут быть значительно скорректированы [3].

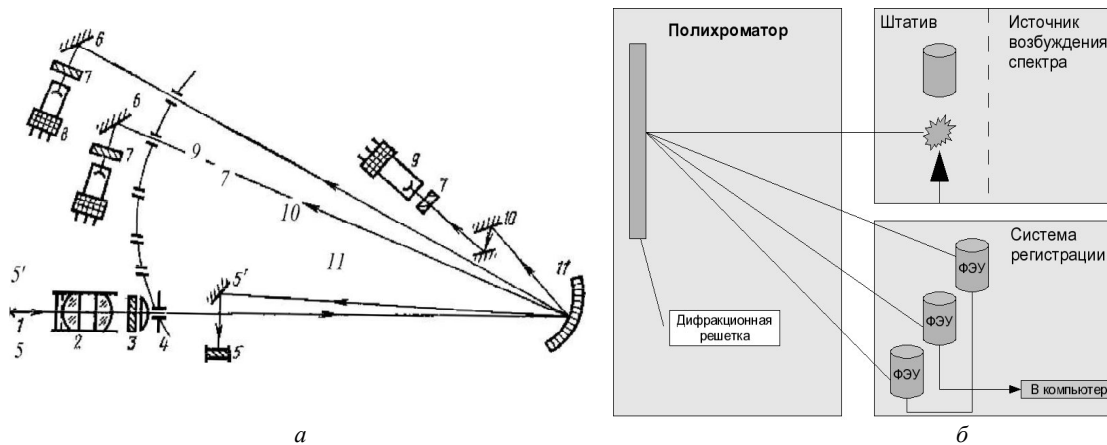
Большой опыт использования спектрального анализа накоплен в США (лаборатория в Окленде), где контролировались 800 грузовых автомобилей, пробы отбирались через каждые 12500 км пробега. Капитальные вложения в размере 40000 долларов окупились менее чем за год, пробег автомобилей до появления неисправностей увеличился в 2,5 раза.

На Ингулецком горно-обогатительном комбинате для этой цели применён оптический вид неразрушающего контроля - спектральный анализ масел. Спектральный анализ - метод качественного и количественного определения состава, основанный на исследовании спектров взаимодействия вещества с излучением. Он находит широкое применение для оценки износа и технического состояния двигателей внутреннего сгорания, а также, машин и механизмов, где применяется смазка узлов трения: насосов, компрессоров, узлов трансмиссий и т.д. Комплексная оценка параметрического состава масла несёт информацию, позволяющую не только выявлять неисправности на ранней стадии, но и указывать их причину. Наиболее быстрым и эффективным методом анализа масел в эксплуатационных условиях признан экспрессный спектральный анализ с применением электронно-оптических приборов - квантометров.

Спектральный метод дает возможность одновременно определять содержание большего числа элементов в ходе одного анализа, что значительно снижает трудозатраты на исследования. Кроме того, он позволяет раздельно оценивать суммарный износ нескольких групп деталей без разборки агрегата, для чего достаточно знать химический состав изнашиваемых деталей.

В лабораториях ПАО «ИнГОК» используется электронно-оптический прибор МФС-7 для эмиссионного анализа масел по продуктам износа деталей двигателей и других механизмов в процессе их эксплуатации, на рисунке 1,а приведена его оптическая схема [4].

Спектрометр применяется для диагностики состояния двигателей тепловозов, экскаваторов, тракторов, карьерных самосвалов, автомобилей, станков. Процесс исследования автоматизирован от момента установки пробы в штатив – до получения результатов анализа в единицах концентрации на экране дисплея, принтере и в памяти персонального компьютера.



**Рис. 1.** Схемы квантометра: 1 – источник света; 2 – растровый конденсор; 3 – линза; 4 – щель; 5 – окно для проверки правильности заполнения решетки светом; 5' – поворотное зеркало; 6 – сферические зеркала; 7 – нейтральные светофильтры; 8, 9 – фото-умножители; 10 – зеркало; 11 – дифракционная решетка

Прибор с доработанным штативом позволяет обеспечивать эффективный анализ масел с различной вязкостью, производя оценку не только моторных, но и трансмиссионных масел в широком диапазоне коэффициентов вязкости, при быстрой перенастройке на нужный тип масла. Программа дефектации двигателей по результатам анализа моторных масел, определяет неисправный узел двигателя и выдаёт рекомендации по его ремонту.

На рисунке 1, б приведена функциональная схема оптического эмиссионного спектрометра. Он состоит из следующих основных частей: штатива, в который устанавливается анализируемая проба с источником возбуждения спектра – устройством, которое заставляет атомы пробы излучать свет; полихроматора, раскладывающего излучение пробы в спектр и позволяющего разделить излучение различных атомов, т.е. выделить спектральные линии анализируемых элементов; приемников излучения (например, фотоэлектронных умножителей – ФЭУ) с системой регистрации, которые преобразуют свет в электрический сигнал, регистрируют его и передают на компьютер, который при помощи прикладной программы вычисляет концентрации анализируемых элементов и управляет всеми узлами прибора.

Интенсивность спектральной линии анализируемого элемента, помимо его концентрации, зависит от многих факторов. По этой причине рассчитать теоретическую связь между интенсивностью линии и концентрацией соответствующего элемента невозможно. Вот почему для проведения анализа необходимы стандартные образцы, близкие по составу к анализируемой пробе. Предварительно эти стандартные образцы экспонируются на приборе. По результатам этих экспозиций для каждого анализируемого элемента строится градуировочный график, т.е. зависимость интенсивности спектральной линии элемента от его концентрации. Впоследствии, при проведении анализа проб, по этим градуировочным графикам и производится пересчет измеренных интенсивностей в концентрации. Стандартные образцы – это образцы с известным элементным составом. Они необходимы для градуировки оптического эмиссионного спектрометра.

Эмиссионный спектральный анализ – сложная процедура, состоящая из ряда операций: выбора спектральных линий анализируемых элементов и настройки спектрометра на эти линии; подбора оптимальных режимов анализа конкретных материалов; подбора стандартных образцов для градуировки спектрометра; градуировки спектрометра по выбранным стандартным образцам; отбора пробы и подготовки ее к анализу; экспонирования пробы на эмиссионном спектрометре; обработки результатов.

Для получения достоверных результатов анализа необходимо чтобы все перечисленные выше операции были выполнены правильно с соблюдением всех необходимых требований. При этом важно понимать, какова погрешность полученных результатов.

Совокупность всех перечисленных выше операций образует методику выполнения измерений. При анализе материалов для внутренних нужд предприятия, достаточно того, что работники лаборатории выполняют все перечисленные операции аккуратно и качественно. Однако если требуется, чтобы полученные результаты были убедительны для сторонних организаций, необходимо разработать официальный документ, регламентирующий весь порядок подготовки и проведения анализа.

Велико значение рационального отбора пробы и правильной ее подготовки для получения надежных и достоверных результатов анализа, по меньшей мере половина некорректных результатов анализа связана с ошибками при пробоотборе и подготовке проб. Фактическому анализу подвергается несколько миллиграммов пробы с ее поверхности. Поэтому, для получения правильных результатов, проба должна быть однородна по составу и структуре, при этом состав пробы должен быть идентичным составу анализируемого материала.

Только при правильной организации спектрального анализа можно получить наибольший технико-экономический эффект. Основой правильной оценки состояния двигателя является: отбор пробы масла при прогревом до рабочих параметров работающем двигателе (2-3 часа работы) или сразу после остановки. Описанный метод позволяет также определять наличие присадок в масле.

Основными элементами износа в масле, отражающими техническое состояние дизелей являются Fe, Cu, Pb, Si, Al, Zn, Cr, Na, а соотношение и концентрация примесей, интенсивность их накопления соответствуют фактическому состоянию двигателя. Повышение концентрации Fe следует рассматривать как указание не только на износ цилиндропоршневой группы, но в основном, на повреждение шестерен. Рост содержания Cr – результат износа хромированной поверхности поршневых колец, пальцев. Если вместе с концентрацией Fe возрастает концентрация компонентов подшипниковых сплавов Pb, Cu, Sn, то неисправность нужно искать в соответствующих подшипниках, где происходит контактный абразивный износ, комбинация коррозии с трением. Повышение концентрации только Pb указывает на коррозионный износ. Сочетание в пробах Fe, Na, Pb свидетельствует о попадании воды из системы охлаждения (коррозионный износ). Увеличение содержания Cu (при малых содержаниях Pb и Fe) говорит о неудовлетворительном состоянии втулок шатуна. Повышение Al, Si характеризует затрудненную воздухо- и маслоочистку при работе в запыленных условиях. Ориентировочные значения предельного содержания металлов в моторных маслах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельное содержание металлов в маслах		
Металл	Предельное содержание, г/т	Детали двигателя
Cu	3	Поршневые кольца
Sn	10	Вкладыши коленвала, втулки шатунов
Al	8	Поршни – задир
Pb	15	Вкладыши коленвала, втулки шатунов
Cu	15	Вкладыши коленвала, втулки шатунов
Fe	20	Зубья шестерен
Si	10	Неудовлетворительная работа воздушных фильтров
Ni	10	Малые гильзы
Sb	5	Вкладыши коленвала
Mo	3	Поршневые кольца, впускные клапаны, наплавленный слой толкателя
Ti	5	Поршни
Mg	10	Поршни, присадки

Не всегда рост концентрации - следствие аварийного износа. Причиной такого положения может быть плохая работа масляных фильтров, а также притирка деталей нового дизеля или замененных деталей, попадание внешних загрязнителей воды и масла (после смены фильтров на дизелях снижается концентрация Fe на 35 %, Pb на 25 %, Cu на 40 %, Si на 49 %).

Для обеспечения нормальной эксплуатации агрегатов и узлов карьерных самосвалов моторные и трансмиссионные масла должны соответствовать комплексу требований, исходя из их назначения, сохраняемости, экономичности и безопасности. В их числе показатели: смазывающей способности; физико-химические свойства; склонности к отложениям; прокачиваемости; испаряемости; совместимости; токсичности.

Состояние работавшего моторного масла оценивается лабораторными методами анализа. При лабораторных испытаниях оцениваются физико-химические свойства масел. Так, в лаборатории ПАО «ИнГЭК» определяются следующие параметры моторных масел: вязкость кинематическая; зольность сульфатная; индекс вязкости; массовая доля активных элементов; массовая доля меди; массовая доля механических примесей; плотность; температура вспышки в открытом тигле; температура застывания; щелочное число.

Опыт использования описанного метода в качестве диагностического заслуживает внимания и его можно рекомендовать для широкого использования на крупных автомобильных

предприятиях, что позволит значительно повысить эффективность работы транспорта и увеличить пробег автомобилей.

Используя результаты спектрального анализа, сопоставляя динамику изменения содержания компонентов износа с фактическими размерами сопряжённых деталей и зазоров фрикционных пар можно оценивать скорость процессов изнашивания и получать точные модели деградации механических передач, узлов и агрегатов карьерных самосвалов. Модели позволяют прогнозировать предотказные состояния и производить упреждающие воздействия в виде работ, предусмотренных структурой и циклом системы технического обслуживания, диагностирования и ремонта карьерных самосвалов БелАЗ с гидромеханической и электромеханической трансмиссией, внося коррективы в межремонтные сроки и выполняя обслуживание по фактическому состоянию техники.

Использование метода спектрального анализа нефтепродуктов для диагностики технического состояния двигателей внутреннего сгорания крупнотоннажных самосвалов позволило в условиях Ингулецкого горно-обогатительного комбината значительно продлить срок службы за счет своевременного и целенаправленного технического обслуживания.

#### *Список литературы*

1. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. - М.: Логос, 2001.
2. Дорошев Ю.С. Повышение технологической надежности карьерных экскаваторов. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009.
3. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. – СПб.: Наука, 2004.
4. Барсуков В.И. Атомный спектральный анализ. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2005.

Рукопись поступила в редакцию 08.02.12

УДК 621.314.632

А.П. СІНОЛИЦЬЙ, д-р техн. наук, проф., В.А. КОЛЬСУН канд. техн. наук,  
Р.І. СІРМАНОВ, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### **ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВОК З УДАРНО-ЦИКЛІЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ**

Статтю присвячено аналізу енергетичних характеристик установок з ударно-циклічними навантаженнями та пошуку шляхів зменшення швидкості накиду реактивної потужності. Для цього на підставі реально існуючих осцилограм були проведені розрахунки і наведено характеристики.

**Проблема та її зв'язок з науковим та практичними завданнями.** У зв'язку з енергетичною кризою актуальним є аналіз і дослідження енергетичних характеристик автоматизованих електроприводів постійного струму, результатами чого є отримання критеріїв їх оцінки, а значить і можливість покращання. Застосування регульованого електроприводу постійного струму для енергоємних установок з нестабільними навантаженнями супроводжується зміною балансу неактивних складових. Для перехідних процесів несталих режимів ускладнюється компенсація і порушуються режими роботи компенсуючих пристроїв через присутність як канонічних так і не канонічних гармонік [1,2]

**Аналіз досліджень і публікацій.** Відомі дослідження [3] містить обґрунтування схемотехнічних рішень щодо компенсації неактивних складових потужності і зниження втрат електроенергії. У [4] розглянуто роботу тиристорних перетворювачів в динамічних режимах електропривода ножиць стану МС-250/150-6 і блюмінгу ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Проведено гармонічний аналіз, розраховано складові потужності і несиметрію навантаження трансформаторів перетворювачів. У цих роботах всю увагу приділено компенсації середнього значення реактивної потужності, а для механізмів з ударно-циклічним навантаженням дуже важливо розглянути момент накиду реактивної потужності для правильного вибору компенсуючих пристроїв за їх швидкодією. З [5] відомо, що фронт накиду реактивної потужності ( $\Delta Q/\Delta t$ ) для блюмінгів і слябінгів  $\leq 200$  Мвар/с.

**Викладення матеріалу та результати.** Найбільш типовими виробничими установками (комплексами) з ударно-циклічними навантаженнями прокатного виробництва є прокатні кліті та летючі ножиці підвищеної швидкої неперервних прокатних станів, коли накид навантажень