

*д.т.н., проф. Кравченко В.М.
(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина),
к.т.н, доц. Сидоров В.А.
(ДНТУ, г. Донецк, Украина),
Поддубный С.В., Гичун Н.В.
(Научно-инновационное предприятие «Техресурс»,
г. Донецк, Украина)*

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОМОДИФИКАТОРОВ В СМАЗКЕ

Виконано аналіз методів оцінки ефективності використання геомодификаторів у змащенні механізмів. Розглянуто методи взаємного та відносного порівняння термінів роботи деталей, порівняння ступеня зносу, вимірювання твердості, порівняння температурних режимів, візуального огляду стану поверхонь контакту, контролю параметрів вібрації. Визначено області використання методів. Показано переваги вібраційного контролю.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В последние годы для увеличения ресурса оборудования, снижения коэффициента трения и износа механизмов на промышленных предприятиях используются модификаторы к смазочным материалам. Технологические особенности обработки узлов механизмов в каждом случае выясняются экспериментально, либо на основании имеющегося опыта. Актуальным становится вопрос оценки эффективности применения модификаторов к смазочным материалам в промышленных условиях. Решение проблемы позволит определить необходимость использования, методологию применения модификаторов.

Анализ исследований и публикаций. Большинство известных работ [1, 2] посвящены вопросам исследования модификаторов в лабораторных условиях. Результаты промышленного применения освещены весьма кратко [3] и содержат сведения общего характера.

Постановка задачи. На основе проведенного анализа используемых методов, определить рекомендуемые методы для оценки эффективности модификаторов в смазке эксплуатируемых механизмов.

Изложение материала и результаты. Появление различных модификаторов добавляемых в смазочные материалы предоставляет новые возможности управления процессом изнашивания механизмов на-

ходящихся в эксплуатации. Известные добавки можно разделить на следующие категории: плакирующие (создающие эффект «масляной шубы», уменьшающей коэффициент трения); геомодификаторы (изменяющие структуру поверхностного слоя); смешанные.

Особого внимания заслуживает практика применения геомодификаторов в штатной системе смазки. Под действием рабочих контактных нагрузок за счет реализации процессов ионного обмена и диффузии происходит образование саморегулирующейся фрикционно-адаптированной пары трения с одинаковой механической твердостью поверхностных слоев, отличающихся низким коэффициентом трения и низкой интенсивностью износа. Получаемый эффект наблюдается в течение длительного времени при неоднократных заменах смазки.

Протекание процесса на субмикроскопическом и микроскопическом уровне не позволяет контролировать изменение свойств на макроскопическом уровне. В производственных условиях доказательство наличия процесса ведется по изменению свойств контактирующих поверхностей, изменению коэффициента трения, мониторингу динамики износа обработанных геомодификаторами поверхностей. Практическое использование подобных технологий требует определенных средств для оперативного контроля за изменением триботехнических характеристик в зоне трения. Косвенный контроль ведется с использованием следующих методов.

Сравнение сроков работы деталей. Метод основан на сравнении сроков работы деталей эксплуатируемых в традиционных условиях и в условиях применения модификаторов в смазочном материале. Срок замены детали определяется предельно допустимым значением износа представителями ремонтной службы. Метод применим для деталей имеющих относительно малый срок службы 3...6 месяцев.

Используется для деталей следующих механизмов. 1. Шпиндели привода клетей обжимных станков. Стойкость вкладышей увеличивается в 2...4 раза и составляет 6...12 месяцев. 2. Механизм выталкивания стрипперного крана. Срок службы бронзового вала обычно составляет 10 месяцев. После обработки срок службы увеличивается до 20 месяцев.

Увеличению срока службы в данном случае способствуют - повышенное внимание, исключение ошибок при монтаже конкретного узла, регулярная подача смазочного материала в зону трения, контроль над состоянием механизма со стороны ремонтного персонала. Таким образом, длительность эксплуатации детали либо узла является следствием комплекса факторов: качества сборки, чистоты поверхностей, контроля над состоянием, правильным выбором и своевременным проведением ремонтных воздействий, квалификацией ремонтного персонала, действующими нагрузками, внешними условиями, и, несомненно, процессами, происходящими в зоне контакта. Выделить влияние модифицированного смазочного материала на повышение износостойкости – сложная задача.

Сравнение степени износа одинаковых узлов при штатной эксплуатации. Примером может служить эксперимент на цепи транспортера обреза прокатного цеха. Во время монтажа новой цепи проведена сборка 25 звеньев с добавлением в смазку геомодификатора. Остальные звенья цепи транспортера смонтированы с использованием штатной смазки. Для получения сравнительной характеристики степени износа, через 50 дней эксплуатации проведены измерения длины участков 25 обработанных и 25 необработанных звеньев цепи. Проводилось измерения: по центру цепи (L_1) и по краям (L_2, L_3). Результаты приведены в таблице 1.

Метод позволяет исключить влияние качества технического обслуживания и оценить эффективность использования модификатора путем взаимной оценки. Проведение сравнительных испытаний возможно в ограниченном диапазоне механизмов и деталей.

Таблица 1 – Результаты измерения звеньев цепи

Звенья	L_1 (мм)	L_2 (мм)	L_3 (мм)	$L_{ср}$ (мм)	$L_{чертеж.}$ (мм)	Износ 25зв. (мм)	Износ 1зв. (мм)
Необработанные	7555	7558	7554	7556	7500	56	2,24
Обработанные	7510	7515	7515	7513	7500	13	0,52
Разница степени износа через 50 дней - $2,24 / 0,52 = 4,31$ раза							

Примечание: $L_{ср}, L_{чертеж.}$ – средняя и проектная длина звеньев цепи.

Измерение твердости контактирующих поверхностей. В случае обработки подшипников качения твердость поверхностей 65...69 HRC велика для дальнейшего увеличения. В данном случае контроль твердости поверхности не может являться контролируемым параметром.

Повышение твердости рабочих поверхностей зубчатых передач вполне может быть следствием использования модификаторов. Выравнивание твердости контактирующих поверхностей – один из факторов увеличения ресурса зубчатой передачи. Однако, соблюдение технологии изготовления зубчатых колес, правильный монтаж и отсутствие грубых ошибок при эксплуатации обеспечивают длительный срок службы зубчатых колес – 5...10 лет.

Контроль текущих значений износа рабочих поверхностей деталей. В производственных условиях выполнить измерения связанные с износом трущихся поверхностей достаточно сложно. Неизменными должны быть условия проведения измерения. Точность мерительного инструмента должна обеспечивать контроль процесса изнашивания. Остановка оборудования для осмотра, в условиях действующего производства не всегда возможна в необходимое время.

Наиболее часто для измерения зазоров используют щупы, штангенциркули (рисунок 1). Гораздо реже – индикаторы перемещения часового типа, штангенциркули повышенной точности (до 0,02 мм). Разновидность метода - измерение размеров оттисков (рисунок 1), взятых с рабочей поверхности детали.

Одним из методов непосредственного измерения износа является метод искусственных баз (рисунок 2), основанный на оценке износа по глубине лунок, вырезанных на поверхности трения детали [4]. Для вкладышей подшипников универсальных шарниров такой искусственной базой служат каналы для подачи смазочного материала на рабочей поверхности вкладыша (рисунок 3). При изготовлении каналов фрезерованием соблюдается линейная зависимость между шириной лунки L и глубиной лунки h , определяющей значения износа.

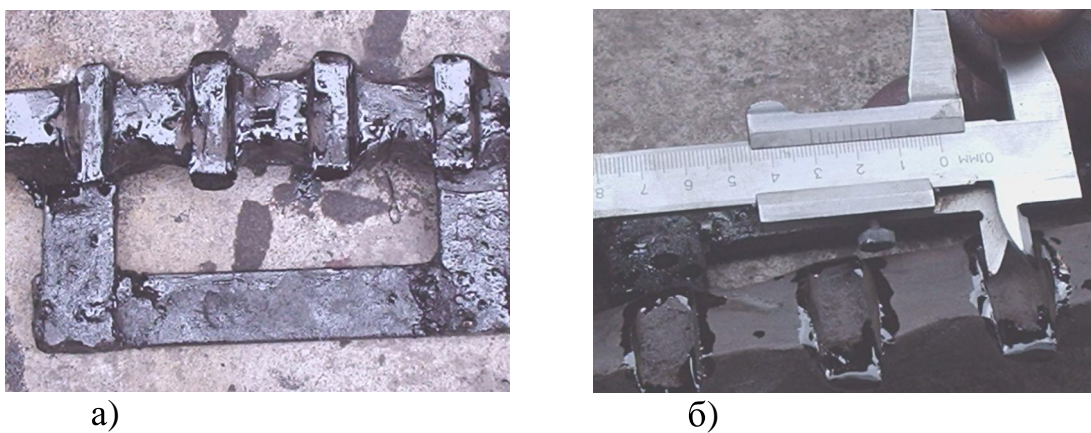


Рисунок 1 – Оттиск (а) и измерение размеров (б) витков бронзовой гайки стрипперного крана

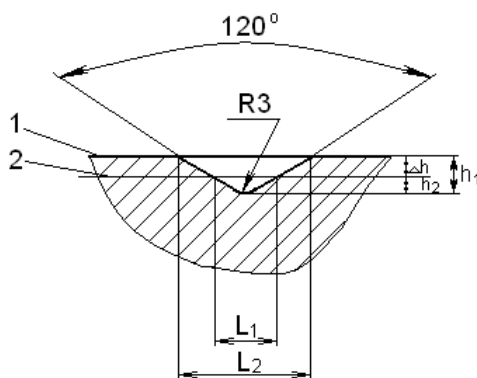


Рисунок 2 – Измерение износа по глубине вырезанных лунок: 1 и 2 – первоначальная и изношенная поверхность тела; L_1 и L_2 – начальная и конечная ширина лунок, h_1 и h_2 – начальная и конечная глубина лунок, Δh – линейный износ.

Начальная ширина канала для подачи смазки (рисунок 3) имеет незначительные отклонения, связанные с точностью изготовления. Форма канала зафиксирована путем получения оттисков поверхности. Измерения размеров выполнено с использованием линейки и штангенциркуля. Вкладыш шарнирного соединения универсального шпинделя предназначался для работы на заготовочном стане.

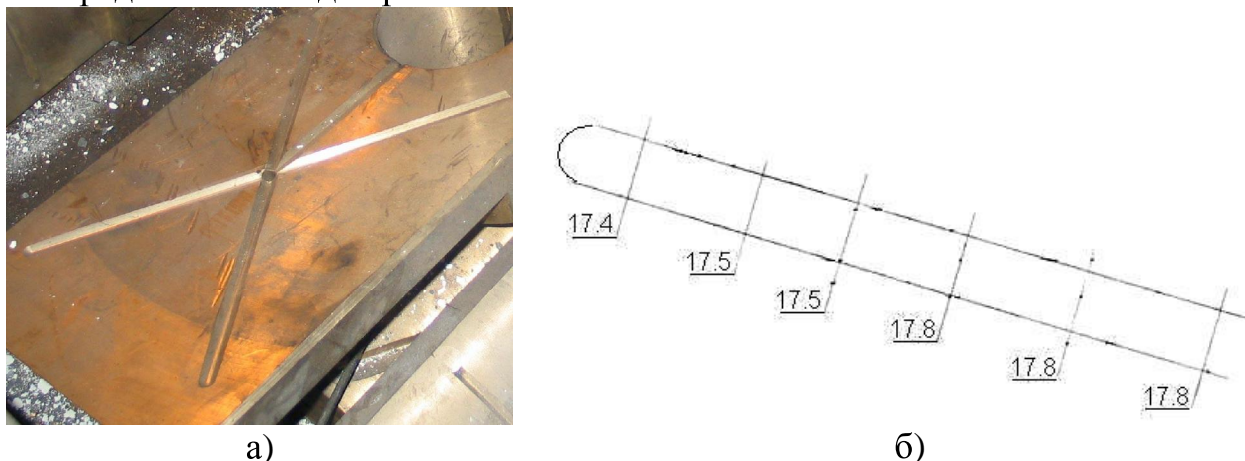


Рисунок 3 – Общий вид (а) и оттиск начальной ширины канала для подачи смазки (б)

После определенного периода эксплуатации ширина канала изменяется (рисунок 4). На рисунке зафиксирована ширина канала в перпендикулярных сечениях по длине вкладыша. Полученные данные позволяют построить график зависимости износа от длины канала.

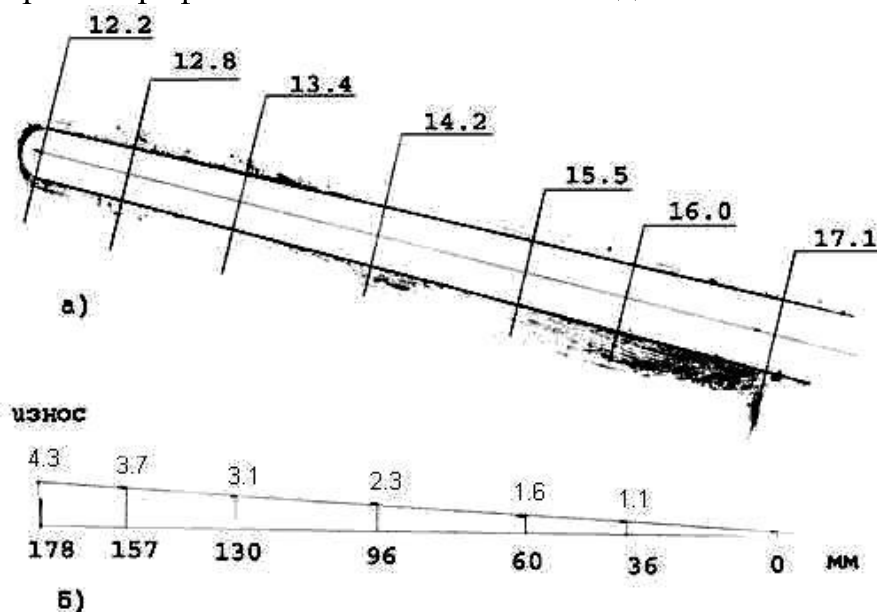


Рисунок 4 – Изменение ширины канала для подачи смазки: а) форма канала; б) график зависимости износа от длины канала

Внешний вид поверхности отражает характер протекающих триботехнических процессов на макроуровне. При проведении эксперимента фиксируется начальный вид поверхности (рисунок 5), общий вид установки, вид обработанной поверхности (рисунок 6) на которой просматривается покрытие, с качествами керамического слоя под которым находятся следы повреждений.



Рисунок 5 – Начальный вид изношенной поверхности со следами осповидного выкрашивания



Рисунок 6 – Вид обработанной поверхности

Качественное подтверждение процесса, в виде визуальной картины, не может определить количественные параметры изменений. Визуальный осмотр обрабатываемой поверхности, регистрация изображения обязательное, но недостаточное доказательство.

Измерение параметров рабочего процесса. Изменение коэффициента трения между деталями механизма, влияет на стабильность протекающих процессов и энергопотребление установки. Среди таких параметров следует отметить: силу тока, потребление электроэнергии за определенный промежуток, параметры рабочего процесса – компрессию. Необходимо обеспечить стабильность управляющих воздействий. Пример - результаты обработки дизельного двигателя автопогрузчика «Сталева воля» (таблица 2). Свидетельствуя об изменениях в параметрах рабочего процесса, метод не позволяет оперативно получать информацию об изменениях триботехнических свойств рабочих поверхностей без разборки механизма.

Таблица 2 – Изменение компрессии дизельного двигателя

Показатель	Компрессия по цилиндрам, кг/см ²							По дизелю:	
	1	2	3	4	5	6	в среднем	Давление масла, кг/см ²	Температура, °С
До обработки	26	29	29	28	28,5	26	27,75	1,8	70
Через 60 мин после обработки	29	29	30	31	29	29,5	29,25	1,9	70
Через 11 месяцев после обработки	30	30	30	30	30	30	30	Не фиксировалось	

На процессы изнашивания элементов механизма влияют: силовое воздействие; температурное воздействие; воздействие окружающей среды; трение. Силовое воздействие определяется не только количеством отработанных моточасов, но и вибрационным воздействием, определяемым техническим состоянием механизма.

Температурное воздействие определяет степень окисления смазочного материала. Воздействие окружающей среды на неработающее оборудование всегда более значительно, чем для функционирующего механизма. Факторы, способствующие этому: окисление смазочного материала, конденсация влаги в полостях механизма, накопление загрязняющих веществ, коррозия деталей. Необходимо изучение значений износа и характера изнашивания.

Параметры процессов трения во многом зависят от стабильности зазоров, расположения элементов во время работы. В постоянно или периодически работающем механизме, значения данных параметров отличаются большей стабильностью, чем у работающего изредка. Это определяет процесс приработки, возникающий после длительного простоя и характеризующийся более высокими значениями параметров.

Сравнение температурных режимов работы узлов при одинаковых нагрузках. Диаграмма роста температуры подшипников, в зависимости от времени приведена на рисунке 7.

Измерение параметров вибрационного процесса. Вибрация - косвенный параметр достоверно отражающий состояние механизма и реагирующий на изменение физико-химических процессов в зоне трения. Выделить информацию о процессах в зоне трения из вибрационного спектра вполне достижимая задача. Вибрационный контроль способен оперативно предоставить информацию о происходящих изменениях в зоне контакта. Для этого необходима специальная подготовка: аппаратуры, мест измерения, выбор режимов работы и анализ полученных результатов.

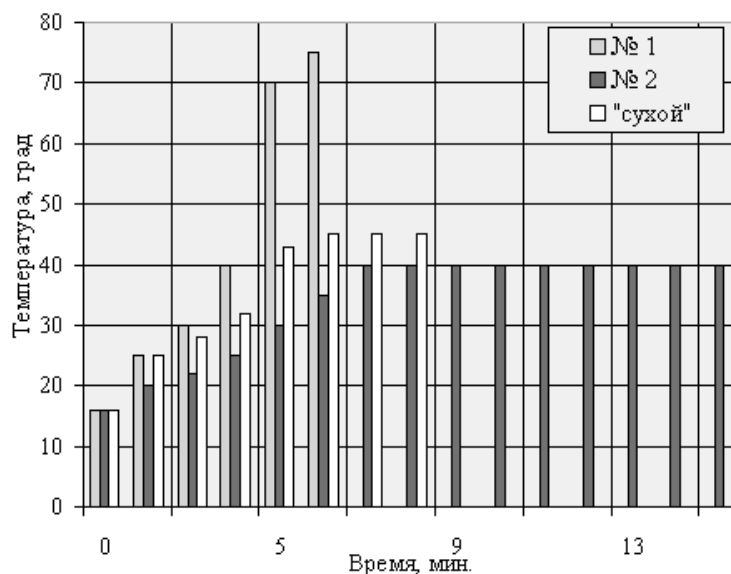


Рисунок 7 – Изменение скорости нагрева подшипников: №1 – подшипник, работающий на штатной смазке; №2 – подшипник, работающий с добавлением модификатора; «сухой» – подшипник, проработавший с добавлением модификатора 15 минут и промытый керосином

Пример – сравнение значений общего уровня вибрации работы гильотинных ножниц, находящихся в аварийном состоянии, с параметрами после применения геомодификаторов для восстановления работоспособности (таблица 3).

Таблица 3 – Вибрационные параметры работы гильотинных ножниц

Расположение точек измерения	Значение виброскорости, (мм/с)			Значение виброускорения, (м/с ²)		
	до работы	через 30 дней	через 90 дней	до работы	через 30 дней	через 90 дней
Подшипник шестерни – радиальная составляющая	1,9	1,0	0,9	2,1	2,6	1,9
Подшипник шестерни – осевая составляющая	1,8	0,9	3,2	3,9	3,2	1,5
Эксцентрик со стороны привода	3,8	5,7	8,1	9,6	7,1	3,1
Эксцентрик со стороны гидро-насоса.	5,0	5,1	3,8	11,4	9,5	5,7

При измерении вибрации значения виброскорости не могут служить диагностическим параметром для контроля над процессами трения. Процессы, происходящие на микроуровне, не влияют на изменение энергетических показателей вибрации. Целесообразно контролировать значения виброускорения (среднеквадратичное и пиковое значения) в среднечастотном (до 5000 Гц) или высокочастотном (до 10000 Гц) диапазоне. Эффективным является сравнение временных реализаций вибрационного сигнала до и после обработки (рисунок 8). Информативным может оказаться сравнительный спектральный анализ виброускорения в частотном диапазоне 10...4000 Гц. Это пример использования относительного метода сравнения.

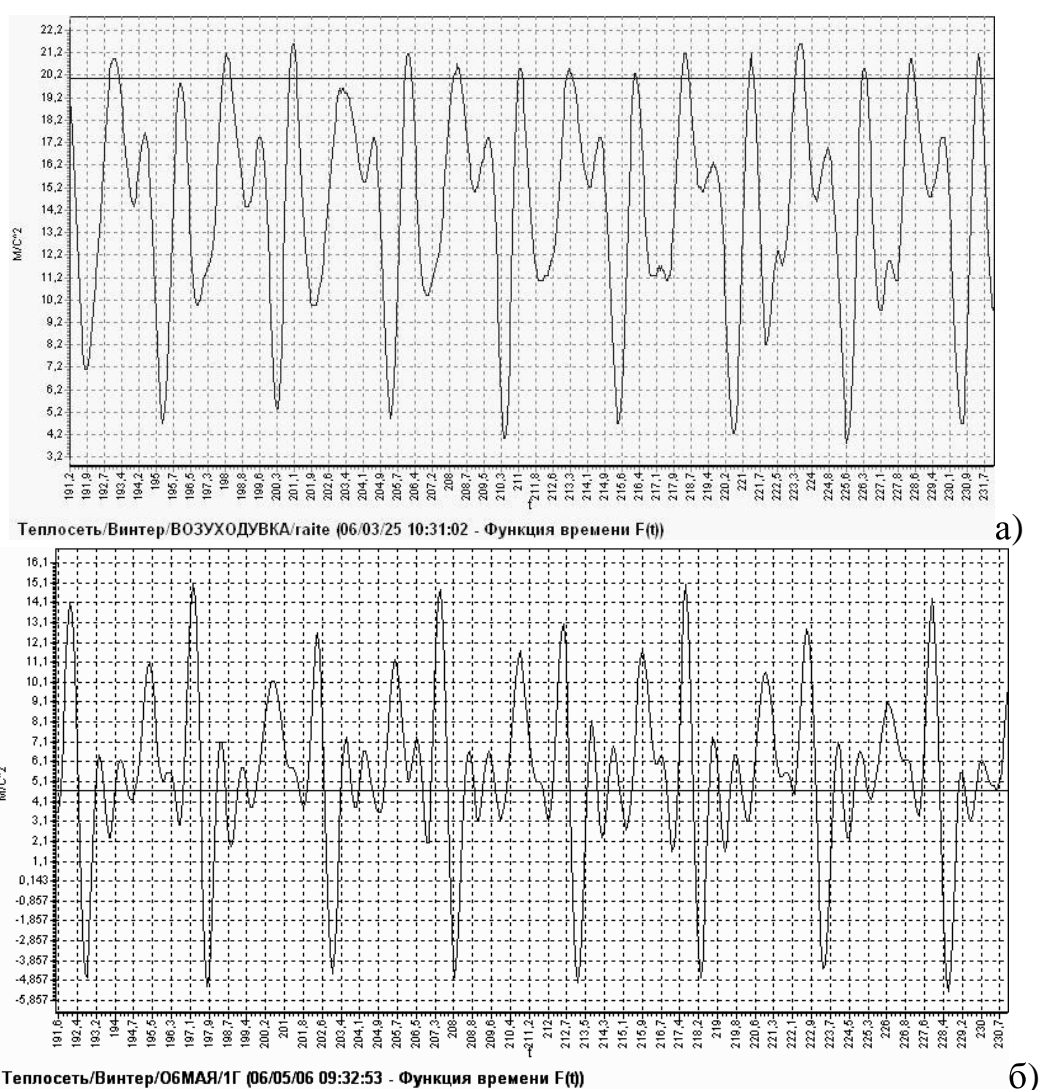


Рисунок 8 – Сравнение временных реализаций вибрационного сигнала:
 а) – до обработки; б) после обработки

Выводы.

1. Выполнен анализ методов оценки эффективности использования геомодификаторов в смазке механизмов.

2. Рассмотрены методы взаимного и относительного сравнения: сравнение сроков работы деталей; сравнение степени износа одинаковых узлов; измерение твердости контактирующих поверхностей; контроль текущих значений износа; внешний вид поверхности; измерение параметров рабочего процесса; сравнение температурных режимов работы узлов при одинаковых нагрузках; измерение параметров вибрационного процесса.

3. Из рассмотренных методов наиболее достоверным в производственных условиях является измерение параметров вибрации (виброскорения) при относительном сравнении значений.

Выполнен анализ методов оценки эффективности использования геомодификаторов в смазке механизмов. Рассмотрены методы взаимного и относительного сравнения сроков службы деталей, сравнения степени износа, измерения твердости, сравнения температурных режимов, визуального осмотра состояния контактирующих поверхностей, контроля параметров вибрации. Определены области использования методов. Показаны преимущества вибрационного контроля.

The analysis of methods of an estimation of efficiency of use of geomodifiers in greasing of mechanisms is executed. Methods of mutual and relative comparison of service life of details, comparisons of a degree of deterioration, measurement of hardness, comparison of temperature modes, visual survey of a condition of contacting surfaces, the control of parameters of vibration are considered. Areas of use of methods are determined. Advantages of the vibrating control are shown

Библиографический список.

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.: Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

2. Гаркунов Д.Н. Триботехника: Износ и безысность. Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Изд-во МСХА 2001. -618 с.

3. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения Учебник для вузов/ И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; Под ред. Д.Г. Громаковского: - Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2000, - 268 с.

4. Гурвич И.Б., Сыркин П.Э. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей. – М.: Транспорт, 1984. – 141 с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Финкельштейном З.Л.