

*Петренко А.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ,
Вамболь С.А., канд. техн. наук, зав. каф., УГЗУ,
Мищенко И.В., канд. техн. наук, доц., УГЗУ*

ПУТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

(представлено д-ром техн. наук Туркиным И.Б.)

Проведен анализ существующих средств оценки годности транспортируемых изделий. Разработана концепция приборного обеспечения мониторинга выработки транспортировочного ресурса опасных грузов по величине накопленных динамических воздействий. Показано, что задача правильного выбора параметров регистрирующего прибора сводится к согласованию его рабочего диапазона частот со спектром частот нагружения и с динамической характеристикой транспортируемого объекта

Постановка проблемы. В настоящее время мониторинг технического состояния объектов повышенной опасности осуществляется при помощи сложных систем, состоящих из датчиков, источников питания, усилителей, устройств записи и обработки результатов измерений [1]. Для мониторинга состояния боеприпасов при транспортировании такие системы часто оказываются неприемлемыми вследствие их громоздкости и уязвимости. Согласно действующих стандартов оценка годности транспортируемых изделий производится по дальности транспортировки в заданных условиях. Однако, по этим показателям лишь косвенно можно судить о техническом состоянии объекта, и тем более невозможно оценить его состояние в результате экстремальных воздействий.

Анализ последних исследований и публикаций. Основной причиной повреждения грузов при транспортировке являются ударно-вибрационные нагрузки, поэтому приборы контроля выработки ресурса изделий должны обеспечивать регистрацию накопленных динамических перегрузок. В работе изложена концепция автономных регистрирующих приборов для мониторинга состояния изделий в процессе транспортирования. Укрепленный на транспортном контейнере прибор контроля содержит корпус, поджатый к нему ролик и фрикционный преобразователь колебаний корпуса во вращательное движение счетчика [2]. Показания при-

бора зависят от количества и силы ударов при транспортировке, что соответствует величине суммарных динамических перегрузок. Имеет место корреляционная связь этой величины с вероятностью появления усталостных трещин, поэтому она соответствует выработке транспортного ресурса. Применение таких регистраторов позволяет осуществить контроль выработки транспортировочного ресурса опасных грузов (например, взрывчатых веществ).

Постановка задачи и ее решение. По сути, предложен новый подход к понятию ресурса техники и единицы измерения ресурса. Разработан более точный метод контроля выработки ресурса – по величине суммируемых динамических перегрузок. Этот метод в практической реализации оказался даже проще, чем измерение пробега и времени. Если учесть, что каждый материал можно характеризовать тем количеством энергии, которую может поглотить единица его объема разрушения, то вполне обоснованным является энергетический принцип определения транспортировочного ресурса. Согласно, этого принципа ресурс должен определяться величиной работы, которая вызывает усталостные повреждения деталей.

Предложенные устройства являются эффективным средством определения действительных эксплуатационных нагрузок. Они позволяют практически оценить состояние объекта и реальный транспортировочный ресурс. Использование подобных изобретений дает возможность также выбирать режим транспортировки опасных грузов, вид транспортного средства и сроки технического обслуживания. При превышении показаний прибора сверх установленных значений можно своевременно приостановить эксплуатацию объекта и тем самым предотвратить возникновение нештатной ситуации. С другой стороны, небольшие показания регистратора могут служить основанием для продления срока эксплуатации изделия, что дает значительный экономический эффект. Появляется также дополнительная возможность четкого разграничения ответственности должностных лиц за качество транспортировки грузов повышенной опасности.

На рис. 1 представлена схема регистратора суммируемых динамических перегрузок. При составлении этой схемы принят во внимание факт преобладания упругой составляющей контактной деформации в пределах предварительного смещения под действием многократного циклического нагружения.

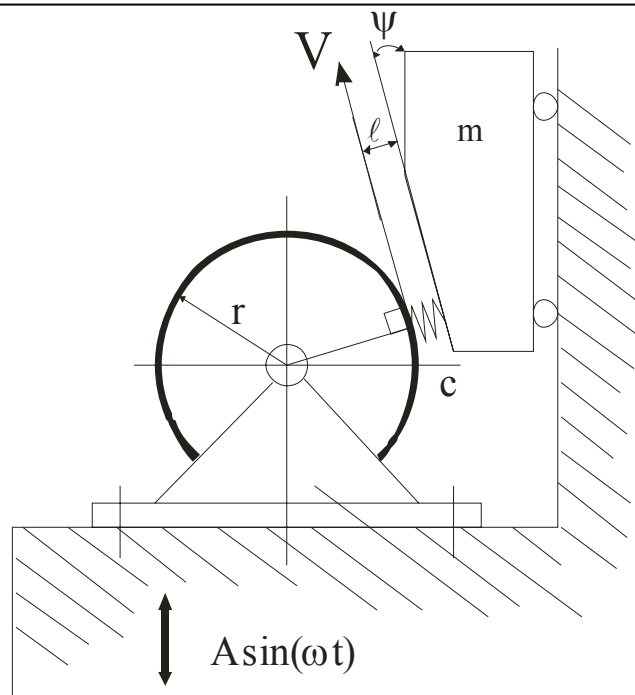


Рис.1 Расчетная схема фрикционного регистратора накопленных динамических перегрузок (A , ω – амплитуда и частота колебаний контролируемого объекта, r – радиус фрикционного ролика, v – скорость на периферии ролика, m – масса клиновидного тела, ψ – угол клина, l – упругое отжатие клиновидного тела при страгивании, c – нормальная контактная жесткость)

В дополнение к обозначениям на рис. 1 введём следующие:
 h – затухание, пропорциональное скорости деформации в зоне контакта клиновидного тела и фрикционного ролика;
 первая частота собственных колебаний регистратора

$$\omega_c = \sqrt{\frac{c}{m}};$$

коэффициент динамичности

$$K = \left(\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \right)^2 + q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \right)^{-0,5}, \quad (1)$$

где $q = \frac{h}{2\omega_c m}$.

По данным экспериментов для созданных конструкций регистраторов величина q находится в пределах 0,12–0,19. Справочные данные по контактной жесткости c содержатся в работе [2]. Следует отметить, что величины c и l не зависят от характера действия нагрузки (статического или динамического).

Условием срабатывания фрикционных поверхностей является их упругое отжатие на величину l , что можно представить в виде

$$K \cdot A = \frac{l}{\sin \psi}, \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) находим амплитуду вынужденных колебаний объекта при срабатывании регистратора (принимается $q=0,15$)

$$A = \frac{1}{\sin \psi} \sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right)^2 + 0,0225 \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}, \quad (3)$$

Скорость вибрационного перемещения

$$V = A\omega \cos \frac{\pi f_+}{f_+ + f_-},$$

где f_+ и f_- – коэффициенты трения при скольжении контактирующих деталей в двух противоположных направлениях.

С учетом уравнения (3)

$$V = \frac{l}{\sin \psi} \omega \sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right)^2 + 0,0225 \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2} \cdot \cos \frac{\pi f_+}{f_+ + f_-}, \quad (4)$$

Функции $A(\omega)$ и $v(\omega)$ определяют частотные (амплитудную и скоростную) характеристики фрикционного регистратора суммарных динамических перегрузок.

Корни уравнения $dv/d\omega = 0$ являются критическими значениями аргумента ω . Среди них можно отыскать значения, дающие экстремум функции $v(\omega)$. Однако для инженерных расчетов с достаточной точностью можно полагать, что указанная функция принимает максимальное значение при $\omega = 0,8\omega_c$, а минимальное – при $\omega = \omega_c$.

Нетрудно заметить, что произведение cl представляет собой величину силы N упругого отжатия деталей при страгивании с места, которая связана с силой трения T известным соотношением

$$Nf = T,$$

где f – коэффициент трения между клиновидным телом и роликом. С учетом указанных соотношений имеем

$$l = \frac{T}{cf}. \quad (5)$$

Таким образом, имеется возможность статической настройки регистратора на срабатывание в заданном динамическом режиме путем создания определенной силы трения T при помощи усилия нажатия пружины.

Справедливость формул (3) и (4) подтверждают результаты испытаний фрикционного регистратора со стальным клиновидным телом и роликом из бронзы (для равнопрочности устройства материал инерционного тела назначают более износостойким, чем материал фрикционного ролика).

Параметры регистратора: $m=0,11$ кг, $c=0,4 \cdot 10^5$ Н/м, $\psi=35^\circ$, $r=0,016$ м, $f=0,18$.

На рис. 2 приведены теоретические частотные характеристики регистратора, рассчитанные по формулам (3) и (4); здесь же точками нанесены экспериментальные данные.

При расчете фрикционного регистратора суммируемых динамических перегрузок исходными данными являются собственные частоты колебаний контролируемого объекта и соответствующие им амплитуды. Расчет проводим для каждой собственной частоты спектра нагружения.

Порядок расчета заключается в следующем:

1) задав конструктивно величини m , c , ψ , f , из соотношений (3) и (5) находим необходимую величину силы трения T ;

2) по величине усилия $Q = \frac{T}{f \sin \psi}$ подбираем замыкающую пружину;

пружину;

3) с помощью формул (2) и (4) определяем скорость v на периферии фрикционного ролика;

4) назначаем радиус фрикционного ролика r ;

5) используя теорию усталостной прочности, определяем время t действия циклической нагрузки, соответствующее предельному состоянию объекта;

6) находим показание счетчика регистратора $z = \frac{v}{r}t$, которое соответствует величине ресурса объекта.

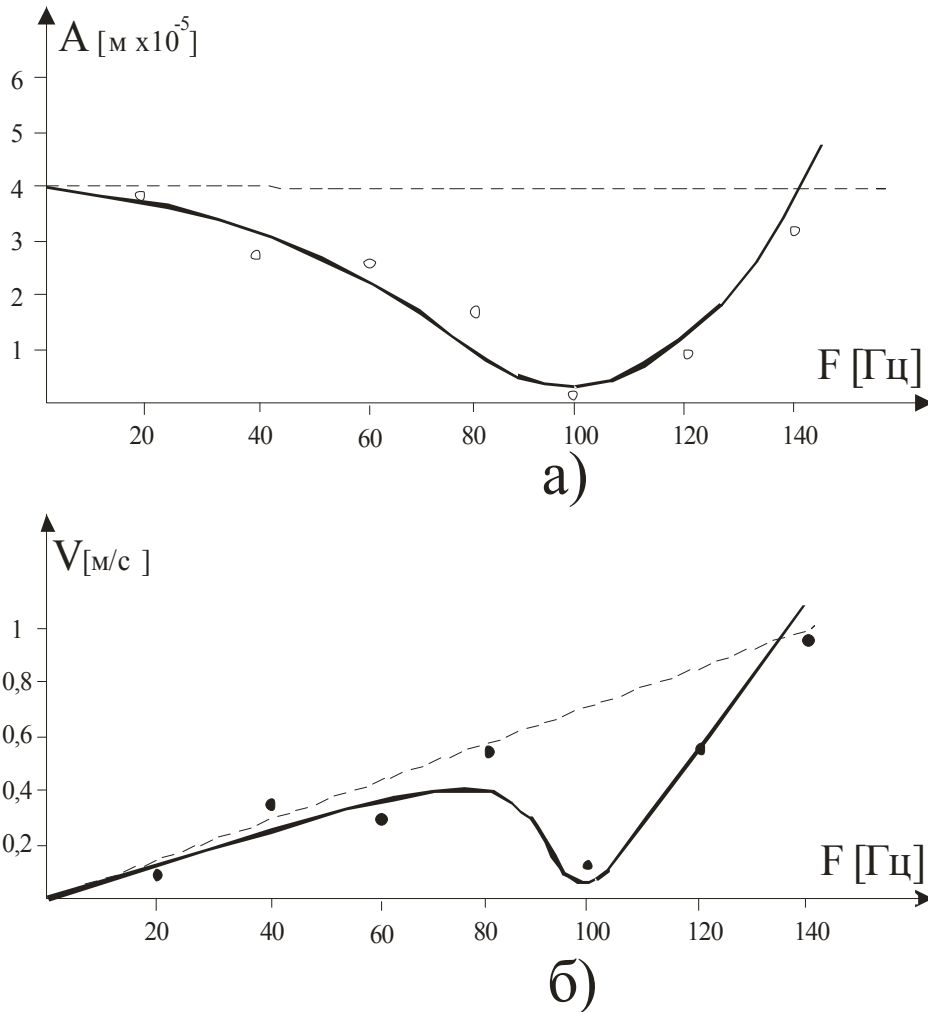


Рис. 2 – Частотные характеристики фрикционного регистратора: а) амплитудная, б) скоростная

Если в результате расчета окажется, что необходимые силы трения различаются более, чем в два раза, и один регистратор неспособен зафиксировать динамические перегрузки на всех существенных частотах спектра, то следует использовать гамму (набор) регистраторов с различными характеристиками, которые перекрывают диапазон возможных перегрузок объекта.

Спроектированный по предложенной методике регистратор позволяет в процессе эксплуатации вести непрерывный учет динамических воздействий на объект нарастающим итогом, что дает возможность судить о выработке ресурса объекта и степени пригодности его к использованию.

Выводы. Как следует из вышеизложенного, для правильного выбора параметров регистратора необходимо согласовывать его рабочий диапазон частот со спектром частот нагружения и с динамической частотной характеристикой чувствительности груза (например, заряда взрывчатого вещества). При этом наиболее опасные частоты нагружения зарядов определяются по способу [1], а для регистрации вибраций с этими частотами можно использовать повышенную чувствительность регистратора в диапазоне частот $0,8\omega_c < \omega < 1,4\omega_c$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регистратор ударов 2503. Каталог продукции фирмы «Bruel&Kjaer», Denmark.
2. Петренко А.В., Вамболь С.А., Мищенко И.В. Исследование характеристик фрикционного регистратора накопленных динамических перегрузок // Бизнес-мост. Промышленность и технологии, №4, 2006.
3. Патент Российской Федерации 2259560 /А.В.Петренко. Способ определения характеристик чувствительности взрывчатых веществ к динамическим нагрузкам. Опубл. 27.08.2005. Бюл.№24.