

УДК 622.271.0025(075.8)

И.А. Паначев, А.А. Черезов

К МЕТОДИКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАГРУЖЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСКАВАТОРОВ-МЕХЛОПАТ

Для вычисления функции надёжности элемента конструкции экскаватора при наличии усталостной трещины необходимо знать распределения вероятностей экстремумов цикла напряжений. С этой целью на разрезах Кузбасса (Кедровский, Томусинский, Бачатский) проведены натурные тензометрические эксперименты на экскаваторах-мехлопатах ЭКГ-8, ЭКГ-10, ЭКГ-12, ЭКГ-12,5, ЭКГ-15, разрабатывающих взорванные горные породы (ВГП). Взрывная подготовка горных пород к выемке проводилась согласно «Временной методике расчета параметров взрывной отбойки пород на угольных разрезах», разработанной на кафедре открытых горных работ КузПИ и утверждённой АН СССР.

При проведении натурных исследований использовался экспериментально-вычислительный центр, состоящий из восьмиканальной тензостанции А17-Т8, фольговых тензорезисторов 2ФКРВ-3х400, экранированного кабеля НВПЭ, сварочного аппарата для точечной сварки, используемого для приварки металлической подложки тензорезисторов, предварительного усилителя ZET410, аналого-цифровой преобразователя Е14-140D, усилителя напряжения для тензомоста LP-04 (рис.1). Общий вид экспериментально-вычислительного центра изображён на рис.2. Запись измеренных сигналов осуществлялась с помощью программного обеспечения PowerGraph v.3.3.6 Professional и Zet-

lab. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием программных продуктов MATLAB 7.0 realize 14 и STATISTICA 6.0.

Тензорезистивный эффект для классической конструкции тензорезистора описывается формулой [1]:

$$\Delta R / R = k_{тенз} \varepsilon, \quad (1)$$

где ΔR – приращение электрического сопротивления тензорезистора;

R – электрическое сопротивление тензорезистора;

$k_{тенз}$ – чувствительность тензорезистора;

ε – относительная деформация.

В элементах металлоконструкций экскаваторов-мехлопат, как правило, возникает плоское напряжённое состояние. При таком состоянии относительная деформация ε будет результатом действия механических напряжений, действующих как параллельно, так и перпендикулярно преобразователю. Поэтому нужно применять тензорезисторы напряжения. Такие измерительные преобразователи, за счёт своей специальной конструкции, формируют выходной сигнал только от механических напряжений, действующих параллельно тензорезистору.

В этом случае тензoeffект описывается выражением [2]:

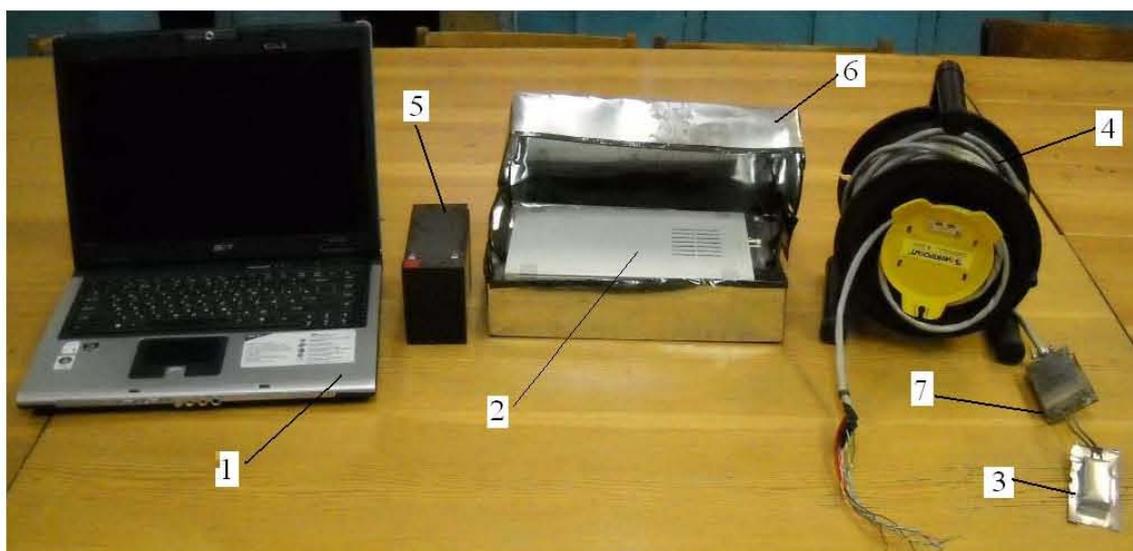


Рис.2. Общий вид экспериментально-вычислительного центра

1 – ноутбук Acer Aspire 5630; 2 – тензостанция А17-Т8; 3 – привариваемый тензорезистор; 4 – экранированный кабель НВПЭ; 5 – аккумуляторная батарея для А17-Т8; 6 – электромагнитный экран; 7 – балансирующая коробка.

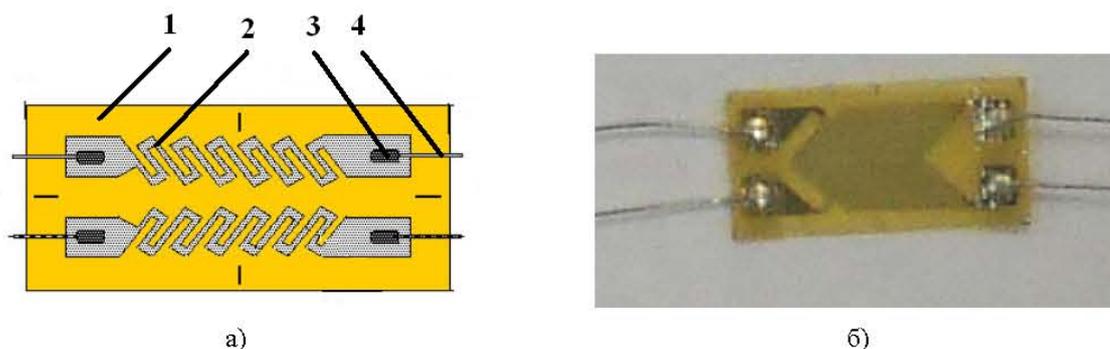


Рис.3. Тензорезистор 2ФКРВ-3-400

а) Конструкция тензорезистора 2: 1 – подложка; 2 – чувствительный элемент; 3 – узел пайки; 4 – вывод
б) Общий вид тензорезистора



Рис.4. Привариваемый тензорезистор при позиционировании на металлоконструкции экскаватора

$$\Delta R / R = k_{\text{тенз}}^{\sigma} \sigma^e, \quad (2)$$

где $k_{\text{тенз}}^{\sigma}$ – коэффициент пропорциональности между относительным изменением электрического сопротивления и механическим напряжением, действующим параллельно продольной оси тензорезистора;

σ^e – экспериментально определенное нормальное механическое напряжение.

Тензорезисторы напряжения изготавливались из тензорезисторов розеточного типа 2ФКРВ-3-400, путём соединения пары выводов (рис.3).

В силу малости изменения электрического сопротивления преобразователя был использован мост Уинстона, имеющий один рабочий тензорезистор. Ввиду сильной чувствительности электрического сопротивления тензорезистора к тем-

пературе была применена схемная термокомпенсация. Этот способ основан на том, что тензорезисторы, наклеенные на один и тот же материал и находящиеся в одинаковых температурных условиях, изменяют своё сопротивление практически одинаково. Поэтому активный тензорезистор устанавливали на исследуемую стальную конструкцию, включив его в одно плечо измерительного моста, а компенсационный тензорезистор наклеивали на стальную пластину, включив его в соседнее плечо с первым тензорезистором моста, что практически исключило влияние температуры на рабочий преобразователь [3].

Из измерительных преобразователей 2ФКРВ-3-400 были изготовлены привариваемые тензорезисторы (рис.4). Эти тензорезисторы отличаются от приклеиваемых наличием дополнительной металлической подложки, с помощью которой пре-

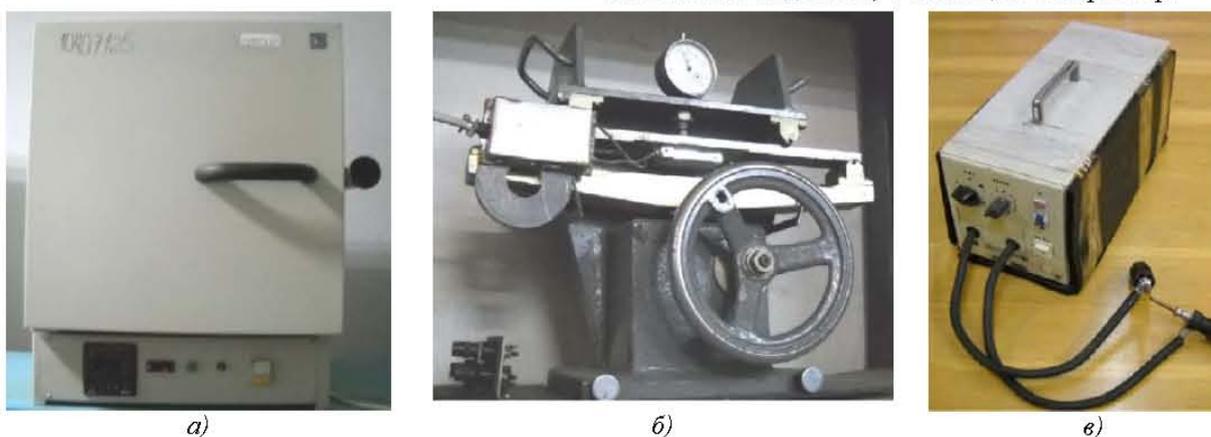


Рис.5. Оборудование для подготовки к тензоизмерениям
а – сушильный шкаф; б – тарировочная установка; в – сварочный аппарат



Рис.6. Места установки тензорезисторов на экскаваторе

образователь приваривается к металлоконструкции.

Аппликация фольгового тензорезистора на стеклотканной основе к металлической подложке выполнялось в лабораторных условиях, чем обеспечивалось высокое качество и надежность склеивания. Особенно была важна термообработка, которая выполнялась с помощью сушильного шкафа СНОЛ-Ф-67/350-ИП (рис.5а).

Неоднократными тарировками привариваемых тензорезисторов на специальной тарировочной установке установлено, что отклонения показаний тензорезисторов на металлической подложке от соответствующих показаний на стеклотканной подложке находятся в пределах точности измерений, как при однократных, так и при многократных нагружениях и разгрузках (рис.5б).

Применение привариваемых тензорезисторов позволяет значительно сократить сроки подготовки объекта к испытанию благодаря упрощению большинства подготовительных операций. Для приварки металлической фольги не требуется тщательная зачистка и обезжиривание мест установки тензорезисторов. Вполне достаточно снять краску и ржавчину наждачным кругом. Качество крепления тензорезисторов с помощью аппарата для точечной сварки не зависит от субъективных качеств исполнителей, так как по сравнению с приклейкой приварка требует меньших навыков персонала при более высокой надежности соединения (рис.5в).

Привариваемые тензорезисторы устанавливались на элементы металлоконструкций стрелы, рукояти, ковша, поворотной платформы и стойки экскаваторов-мехлопат (рис.6).

При проведении натурных экспериментов с

помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) использовалась частота дискретизации, выбранная с помощью теоремы Котельникова-Нейквиста. Согласно этой теореме, частота дискретизации АЦП должна быть выбрана в соответствии с формулой:

$$v_{\text{АЦП}} \geq 2v_{\text{н.мах}}, \quad (3)$$

где $v_{\text{АЦП}}$ – частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя, Гц;

$v_{\text{н.мах}}$ – максимальная частота нагружения элементов металлоконструкций экскаваторов-мехлопат.

В исследованиях проф. А.С. Громадского, В.Г. Дворуруба и др. определено, что для экскаваторов-мехлопат, разрабатывающих взорванные горные породы, $v_{\text{н.мах}} = 1\text{кГц}$.

Согласно формуле (2.3) необходимая частота дискретизации АЦП должна быть $v_{\text{АЦП}} \geq 2\text{кГц}$. В связи с

этим была выбрана $v_{\text{АЦП}} = 25\text{кГц}$, то есть измерения напряжений проводились через каждые 40 мкс.

В связи с использованием антиэлайзинговой фильтрации измеренных тензосигналов, выбранная частота дискретизации (25 кГц) была больше левой границы допустимого диапазона (2 кГц).

В результате проведения натурных исследований элементов металлоконструкций экскаваторов-мехлопат, разрабатывающих взорванные горные породы, были получены численные массивы механических напряжений.

В общем виде эти массивы представляют собой матрицу:

$$I = \begin{pmatrix} t_1 & \sigma_1^e \\ \dots & \dots \\ t_{N_D} & \sigma_{N_D}^e \\ \dots & \dots \\ t_{N_{Dv}} & \sigma_{N_{Dv}}^e \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где t – моменты времени измерения тензосигнала аналого-цифровым преобразователем;

N_D – номер измерения тензосигнала аналого-цифровым преобразователем;

N_{Dv} – количество измерений тензосигнала аналого-цифровым преобразователем.

После предварительной обработки значений измеренных тензосигналов, были выделены экстремумы механических напряжений.

В результате этого матрица I была преобразована в матрицу G :

$$G = \begin{pmatrix} \sigma_{\min 1}^e \\ \sigma_{\max 1}^e \\ \vdots \\ \sigma_{\min N_P}^e \\ \sigma_{\max N_P}^e \\ \vdots \\ \sigma_{\min N_{Pv}}^e \\ \sigma_{\max N_{Pv}}^e \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где σ_{\max}^e (σ_{\min}^e) – максимальное (минимальное) экспериментально определенное напряжение цикла нагружения;

N_P – номер цикла нагружения эксплуатационной реализации;

N_{Pv} – количество циклов нагружения эксплуатационной реализации;

В качестве примера в таблице приведены экстремумы экспериментально определенных напряжений цикла нагружения металлоконструкций экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-10 и ЭКГ-12 на разрезах Томусинский, Бачатский и Кедровский.

Представленные исследования являются одним из первых этапов для решения задачи о структурном анализе процесса нагружения элементов конструкции экскаваторов-мехлопат. Этот анализ выявит закономерности динамических процессов механических лопат. Разработанные модели позволят определять опти-

Экстремумы определенных экспериментально напряжений цикла нагружения элементов металлоконструкций экскаваторов-мехлопат, разрабатывающих взорванные горные породы на разрезах Кузбасса

ЭКГ-8И (разрез Томусинский)		ЭКГ-10 (разрез Бачатский)		ЭКГ-12 (разрез Кедровский)				
$d_{cp} = 0,381 \text{ м}$	σ_{\min}^e	17,9	$d_{cp} = 0,347 \text{ м}$	σ_{\min}^e	12,0	$d_{cp} = 0,313 \text{ м}$	σ_{\min}^e	-7,14
	σ_{\max}^e	-25,1		σ_{\max}^e	-6,04		σ_{\max}^e	1,44
	σ_{\min}^e	6,69		σ_{\min}^e	10,3		σ_{\min}^e	-1,51
	σ_{\max}^e	-21,3		σ_{\max}^e	-19,7		σ_{\max}^e	4,70
	σ_{\min}^e	0,931		σ_{\min}^e	6,35		σ_{\min}^e	-12,3
	σ_{\max}^e	-1,07		σ_{\max}^e	-7,65		σ_{\max}^e	3,17
	σ_{\min}^e	14,7		σ_{\min}^e	4,66		σ_{\min}^e	-3,83
	σ_{\max}^e	-7,28		σ_{\max}^e	-3,34		σ_{\max}^e	16,9
	σ_{\min}^e	24,4		σ_{\min}^e	9,82		σ_{\min}^e	-13,1
	σ_{\max}^e	-14,6		σ_{\max}^e	-5,18		σ_{\max}^e	28,9
	σ_{\min}^e	13,4		σ_{\min}^e	7,72		σ_{\min}^e	-21,1
	σ_{\max}^e	-15,6		σ_{\max}^e	-6,28		σ_{\max}^e	9,94
σ_{\min}^e	35,7	σ_{\min}^e	30,8	σ_{\min}^e	-3,06			
σ_{\max}^e	-17,3	σ_{\max}^e	-30,2	σ_{\max}^e	7,35			
σ_{\min}^e	3,51	σ_{\min}^e	2,03	σ_{\min}^e	-2,65			
σ_{\max}^e	-3,54	σ_{\max}^e	-2,11	σ_{\max}^e	4,27			

d_{cp} – средний диаметр куска взорванной горной массы

мальные режимы их эксплуатации, что позволяет повысить долговечность, эксплуатационную производительность и экономическую эффективность экскаваторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подэрни Р.Ю., Ковалёв Ю.А. Основы практического тензометрирования. М., изд. МГИ, 1980. – 47 с.
2. Дайчик М.Л. и др. Методы и средства натурной тензометрии: Справочник/ М.Л. Дайчик, Н.И. Пригоровский, Г.Х. Хоршунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 240с.: ил.
3. Тензометрия в машиностроении: Справочное пособие/ Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 627 с.

□ Авторы статьи

Паначев
Иван Андреевич.
докт.техн. наук. проф. каф. сопротив-
твления материалов КузГТУ.
Тел. 8-3842-21-16-68.

Черезов
Артём Анатольевич
зав. лаб. каф. сопротивления мате-
риалов КузГТУ.
e-mail: тчerezov_85@mail.ru