

А.М. Мухаметшин, В.М. Анисимов

ИНФОРМАТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ НАКЛОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ УНИКАЛЬНОГО ЗДАНИЯ ЦИРКА Г. ЕКАТЕРИНБУРГА

Проанализировано состояние несущей консольной балки уникального здания, показано, что при многократном повторении изменяющихся нагрузок остаточные деформации могут развиваться.

Ключевые слова: макротрещинные нарушения, многократные нагрузки, геоинформационные системы, ударная нагрузка, наклономерные измерения.

Известно, что одним из основных несущих элементов здания цирка являются две балки Б-2 [1, 2, 3, 4, 5 и др.]. В этих работах показаны практически все особенности работы и аспекты теоретических оценок состояния указанных элементов конструкции этого здания. Однако с точки зрения информативности комплексных наклономерных измерений для оценки риска безопасной эксплуатации несущих элементов данного здания пока не публиковались. Ниже приводится один из возможных вариантов такой оценки на основе полу-

ченных нами практических материалов по наклономерным измерениям.

В 2004–2005 гг. в течение целого года была выполнена непрерывная во времени регистрация измерений наклона вышеуказанных балок. Полученные материалы явились основой базы данных для решения многих вопросов теоретического, методического, и конструкционного характера [3, 6, 4 и др.]. И вместе с тем из этой информационной базы можно извлечь следующие характеристики динамических колебаний данных несущих балок Б-2.

Рассмотрим одну из несущих балок – наиболее длинную консольную железобетонную балку Б-2 высотой 3660 мм (рис. 1), толщина стенок 200 мм, ширина верхнего пояса 600 мм, нижнего 800 мм.

Общая длина балки Б-2 18 680 мм (пролетная часть длиной 8680 и консольная часть 10 000 мм) (рис. 2). Пролетная часть балки с одной стороны опирается на единственную колонну, проходящую через все этажи и подвал, а с другой стороны вбетонирована в нижнее и верхнее опорные кольца. Проектная марка

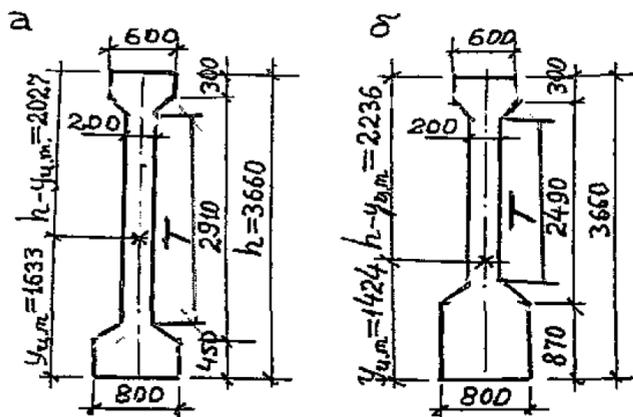


Рис. 1. Поперечные сечения поврежденной балки Б-2: а) – консольная часть балки Б-2; б) – пролетная часть балки Б-2; Т – область распространения трещин в теле балки

бетона М300, что подтвердилось механическим испытанием. Стенки балок армированы хомутами из стержневой арматуры 2014 А – III.

На (рис. 3) приведена непрерывная во времени запись наклонов консоли балки Б-2 вдоль ее продольной оси в течении нескольких суток, с 23.08 по 26.08 (другие параметры не приводятся) [4].

Приведенная запись позволяет оценить амплитуду смещений на консоли балки Б-2. Причина данных колебаний могут быть самыми различными: от лунно-солнечных приливных волн до температурных изменений. Не подвергая сомнению ни одну из указанных причин, остановимся на кратком анализе величины колебаний.

Во-первых, это периодическое колебания, период которых по нашим оценкам составляет около 24 ч. В течение этого времени балка дважды проходит через экстремальные точки: около 9–10 ч – нижний экстремум и около 21–22 ч – верхний.

Во-вторых, при этом в точке нужного экстремума верхняя полка балки Б-2 испытывает растягивающее воздействие, а нижняя полка – сжимающее. А в точке верхнего экстремума наоборот – верхняя полка сжимается, а нижняя растягивается.

В-третьих, учитывая чувствительность наклономеров (25 с/мв), длину консоли (10 м) можно оценить максимальную амплитуду колебаний, которая в среднем составляла около 60 микрон. Период таких колебаний как уже отмечалось выше около 24 ч.

Таким образом установлено, что консольные балки Б-2 ежедневно дважды проходят режимы растяжения с сжатия. В результате следует считать, что после известного взрыва ст. Свердловск–Сортировочный в результате которого, как мы считаем, на балках Б-2 в здании цирка появились диагональные трещины [7], эти балки

испытывали воздействие многократно (более 19 000) повторяющейся статической и переменной нагрузок.

В нашем случае, если ударная нагрузка превышала допустимую настолько, что появились макротрещинные нарушения, следует ожидать значительные снижения по числу многократных повторных нагрузок. При этом идет сравнение по «...мере ползучести...» бетонов с «усталостью материала», известного с начала XX в. для металлических изделий. При этом известно, что «усталость материала» сказывается при переменных нагрузках в виде разрушения хрупкого или пластического при нагрузках (напряжениях) значительно более низких, чем в случае статического действия нагрузок. А если учесть эффект «разрыхленности», то получим снижение сопротивления разрушению «статический критерий» [7].

При учете одновременного воздействия статических и переменных, но многократно повторяющихся нагрузок следует ожидать значительного снижения числа допустимых многократно изменяющихся нагрузок на один или два порядка.

Рассмотрим результаты многолетних экспериментальных исследований двух различных образцов: а) – призмы из бетона, б) – кубик из бетона (рис. 4).

Очевидно, что образец из призмы не выдержал многолетних испытаний в силу косоугольной симметрии. Кубический образец, имевший гораздо более низкий предел прочности выдержал значительное большее число нагрузок.

До сих пор мы вели анализ состояния балки Б-2 в основном как элемента, работающего на сжатие, т.е. без учета имеющихся трещин. Так сделано лишь потому, что ни одной сквозной трещины не обнаружено до сих пор.

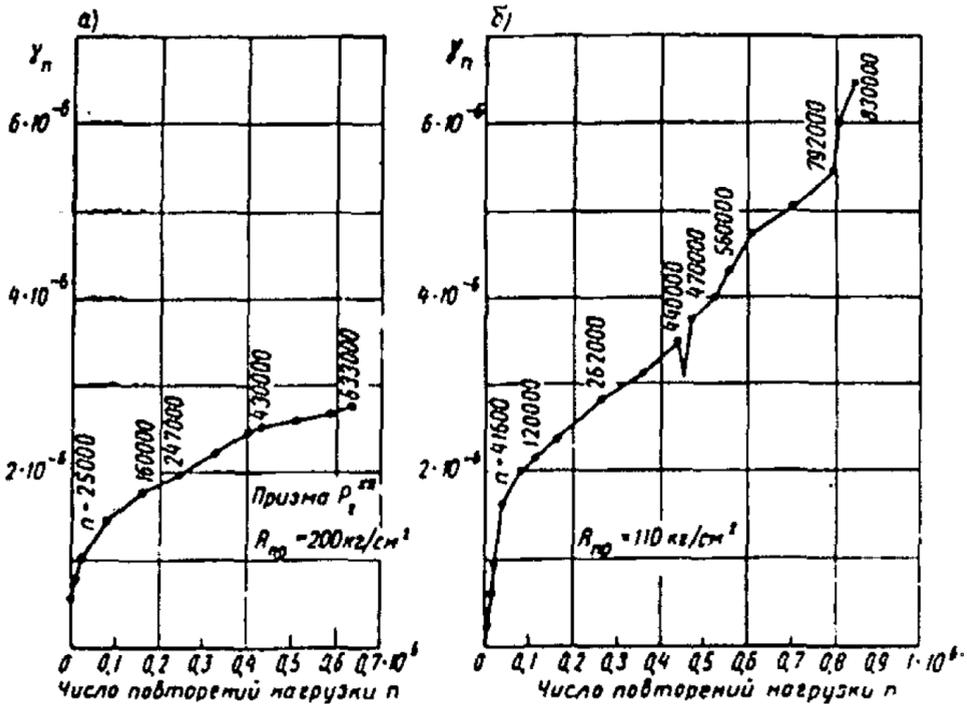


Рис. 4. Кривые развития остаточных деформаций под воздействием многократно повторяющейся нагрузки в зависимости от числа ее повторения «n» (по А. Надаи)
 а) – по данным Иосида; б) – по данным Мемеля

В заключение отметим, что вышеприведенные материалы с достаточной полнотой показывают насколько важно своевременно начинать мониторинговые наблюдения за состоя-

нием несущих элементов здания на основе наклономерных измерений с помощью испытанных приборов, так как они обладают наибольшей информативностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов В.М. Оценка прочностных параметров балки Б-2 в здании Екатеринбургского государственного цирка по данным экспериментальных исследований и теоретических расчетов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 232–240.
2. Скоробогатов С.М. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов. Екатеринбург: УрГУПС, 2000. – 420 с.
3. Инженерно-сейсмологические исследования состояния несущих конструкций здания цирка при его реконструкции (опор-

- ное кольцо, необследованные колонны, балки). Отчет о НИР. Руководитель А.М. Мухаметшин. № 35/97. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1998. – 47 с.
4. Мухаметшин А.М. Особенности создания геоинформационных систем для неразрушающего контроля состояния ответственных объектов // Дефектоскопия. – 2012. – № 4. – С. 3–16.
5. Мухаметшин А.М., Анисимов В.М. Анализ состояния основных несущих элементов конструкции здания цирка с позиций теории прочности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 262–266.

6. *Обследования и оценка состояния основных несущих элементов здания Екатеринбургского государственного цирка: Отчет о НИР.* Руководитель А.М. Мухаметшин.

№ 0105/04. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2005. – 80 с., прилож. 8.

7. *Волков С.Д. Статистическая теория прочности.* – М.: Машгиз, 1960. **ЦИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мухаметшин Анатолий Матвеевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, действительный член Академии горных наук, главный научный сотрудник Горного Института УрО РАН, e-mail: amik-it@e1.ru,
Анисимов Вячеслав Михайлович – кандидат технических наук, начальник отдела ООО «СТК».

UDC 691.539.4

INFORMATION CONTENT OF COMPREHENSIVE INCLINED-PLANE MEASUREMENT FOR OPERATIONAL RISK ASSESSMENT IN SUPPORT STRUCTURES OF THE UNIQUE BUILDING OF EKATERINBURG CIRCUS

Mukhametshin A.M., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Full Member of Academy of Mining Sciences, Chief Researcher of Mining Institute of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, e-mail: amik-it@e1.ru,
Anisimov V.M., Candidate of Technical Sciences, Head of Department, STK LLC .

This article contains some results of the experimental and analytical studies executed by authors in 1997–2005 directly on the basic bearing elements of the specified building. In this case, the authors have used serial geophysical devices (seismographs, seismic receivers, registrars, etc.), and also the original IN-D3 tiltmeters made by JSC Gorizont (Moscow). The purpose of the research, ultimately, was to assess the possibility of the building operation by purpose at observance of safety rules for his visitors. Authors show that B-2 Beam which is already broken by diagonal cracks continues to work in the mode of elastic fluctuations [1–7]. But, as it is known from works of A. Nadai, Ya. V. Stolyarov, O. Ya. Berg and other scientists, the durability of concrete and ferroconcrete designs is a final value. This value can be rather big, but after all it's final. From this it follows that the organization of monitoring supervision is not simply a duty, but even a vital need for safety of this construction. It is shown that the information content of complex tiltmetric measurements is sufficient to eliminate the risk of a safe operation of the most important load-bearing elements of the circus building.

Key words: macro-fractures, repetitive loading, geoinformation systems, impact load, inclination measurements.

REFERENCES

1. Anisimov V.M. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2013, no 4, pp. 232–240.
2. Skorobogatov S.M. *Printsip informatsionnoi entropii v mekhanike razrusheniya inzhenernykh sooruzhenii i gornykh plastov* (Principle of information entropy in fracture mechanics of engineering structures and mineral strata), Ekaterinburg, UrGUPS, 2000, 420 p.
3. *Inzhenerno-seismologicheskie issledovaniya sostoyaniya nesushchikh konstruksii zdaniya tsirka pri ego rekonstruksii (opornoe kol'tso, neobsledovannye kolonny, balki). Otchet o NIR.* Rukovoditel' A.M. Mukhametshin, no 35/97 (Engineering and seismological studies of support structures in the circus building during reconstruction (body of shield, unexamined columns, beams). R&D Report. Head – A.M. Mukhametshin, no 35/97), Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 1998, 47 p.
4. Mukhametshin A.M. *Defektoskopiya*, 2012, no 4, pp. 3–16.
5. Mukhametshin A.M., Anisimov V.M. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2013, no 4, pp. 262–266.
6. *Obsledovaniya i otsenka sostoyaniya osnovnykh nesushchikh elementov zdaniya Ekaterinburgskogo gosudarstvennogo tsirka: Otchet o NIR.* Rukovoditel' A.M. Mukhametshin, no 0105/04 (Survey and estimation of state of the main support structures of the Ekaterinburg State Circus building. R&D Report. Head – A.M. Mukhametshin, no 0105/04), Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2005, 80 p.
7. Volkov S.D. *Staticheskaya teoriya prochnosti.* (Statistical theory of strength), Moscow, Mashgiz, 1960.