

**А.М. Мухаметшин, В.М. Анисимов**

## **МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ**

*Обоснована методика неразрушающего контроля состояния объектов на базе применения комплексных геофизических исследований. Показана возможность осуществления мониторинга для контроля безопасности эксплуатации объектов.*

*Ключевые слова: неразрушающий контроль, геоинформационные системы, регистрация сейсмических колебаний.*

**К** настоящему времени известно значительное число различного рода автоматизированных систем получения, сбора, передачи, хранения и преобразования информации о свойствах, составе, строении, структуре и состоянии массива горных пород. Поэтому в полном соответствии с паспортом геоинформатики как науки такие системы следует называть геоинформационными системами (ГИС). Так сложилось, что аббревиатурой ГИС в настоящее время обозначают системы сбора и обработки данных (ССОД). Такие системы на базе стандартных ЭВМ предназначены в основном для использования в автоматизированных системах управления горным производством или параметрами отдельных технологических процессов [1].

Развитие геоинформационных систем в другом направлении - с целью обеспечения геодинамической и экологической безопасности - началось в 70-80-х годах двадцатого века. Тогда в ряде научно-исследовательских и проектных организаций страны велись широкомасштабные работы по созданию автоматизированных геомеханических и геофизических систем для долговременных наблюдений за напряженно-деформированным со-

стоянием массива горных пород. В первую очередь опытная эксплуатация таких систем планировалась на удароопасных месторождениях (Североуральск, Таштагол, Норильск, Кировск, Джезказган) [2]. А.М. Мухаметшин в 1984-1990 гг. являлся научным руководителем одной из таких систем для Североуральского бокситового рудника и одним из авторов методики прогноза горных ударов на базе метода акустической эмиссии. В целом же были выполнены широкомасштабные комплексные геофизические исследования методами сейсморазведки, электрометрии, магнитометрии, ядерной геофизики и др. [3]

В дальнейшем в лаборатории горной геофизики ИГД УрО РАН авторами развивается понятие ГИС как исследовательской системы на базе одного или нескольких методов разведочной геофизики [4].

Блок-схема развиваемой нами стилизованной геоинформационной системы представлена на рис. 1. Здесь различные параметры объекта контроля или исследования 1 регистрируются с помощью датчиков 2 и через согласующее устройство 3 передаются в устройство сбора информации 4. Полученная информация об объекте передается в подсистему предварительной



**Рис. 1. Общая структурная схема разработанной геоинформационной системы:** 1 - объект исследования; 2 - датчики; 3 - согласующее устройство; 4 - устройство сбора информации; 5 - подсистема предварительной обработки информации; 6 - подсистема оценки свойств, структур, строения и состояния контролируемого объекта; 7 - подсистема принятия решения на основе экспертных оценок

обработки информации 5, в которой выполняется анализ допустимости зарегистрированных параметров на основании статистических данных, хранящихся в базе данных. Сигналы, имеющие хотя бы один недопустимый параметр, передаются в подсистему 6, в которой устанавливается, является ли сложившаяся в системе ситуация аварийной. При этом на основании базы знаний, хранящей информацию об аварийности по многим параметрам, происходит идентификация зарегистрированного параметра сигнала, вышедшего за допустимые пределы, а также анализ состояния комплекса других параметров на этом же объекте. Далее при условии, что по другим датчикам (не менее двух) наблюдаются превышения допустимых параметров, сигнал аварийной ситуации будет сформирован и передан в подсистему экспертной оценки 7.

Аппаратурные модификации геоинформационных систем, общая структурная схема которых представлена на (рис. 1), использовались на здании Екатеринбургского цирка

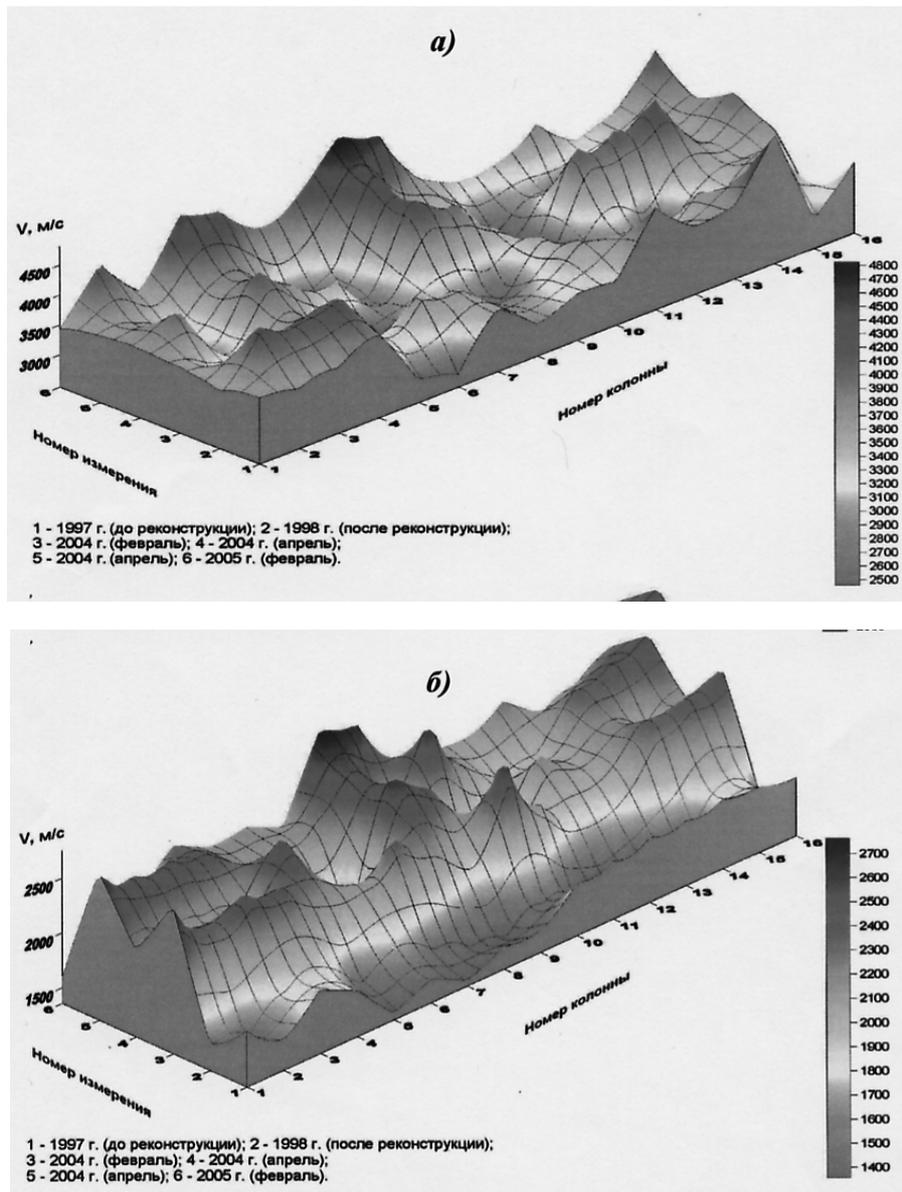
Здесь разработка автоматизированной геоинформационной системы

непрерывного контроля обусловлена необходимостью обеспечения безопасной эксплуатации здания цирка, расположенного на границе меридионального разлома массивов. На основании данных полученных с помощью геофизических методов был изучен геолого-геофизический разрез горных пород до глубин порядка 80-100 м. При этом электроразведочным методом переходных процессов были выполнены работы по субпараллельному профилю на

северной части участка исследований.

В результате установлено наличие нескольких субмеридиональных границ раздела, отождествляемых с зоной разлома. В связи с этим были проведены сейсмометрические исследования основных несущих колонн. Были выполнены измерения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн, проходящих через несущие колонны здания цирка (рис. 2). Доказано, что отдельные колонны весьма сильно нагружены. Здесь же показано, что нагрузки на колоннах изменяются со временем. В течении нескольких лет, установлено, что нагрузка на колоннах №№ 1, 2, 3, 4, 5 иб уменьшилась, а на колоннах №№ 7, 8, 9 и 10 увеличилась. Мы считаем, что это связано с процессами техногенного выветривания горного массива под зданием цирка.

Кроме того, был выполнен теоретический расчет моделирования нагрузки на балке Б-2, которая является одним из основных несущих элементов здания Екатеринбургского государственного цирка. Для нашего случая построили эпюру балки Б-2, нашли единичные перемещения, с помощью которых составили вековое



**Рис. 2. Визуализация результатов измерения скоростей продольных (а) и поперечных (б) сейсмических волн проходящих через несущие колонны здания цирка**

уравнение, раскрыли детерминант, откуда получили квадратное уравнение. В качестве одного из его решений получили квадратное уравнение, решили его относительно длины волны, после чего были определены рас-

четные величины частот колебаний балки Б-2.

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{1}{\lambda_1}} = \sqrt{\frac{1}{3,59}} = 0,52 \text{ Гц,}$$

$$\varphi_2 = \sqrt{\frac{1}{\lambda_2}} = \sqrt{\frac{1}{0,07}} = 3,78 \text{ Гц.}$$

В дальнейшем были рассмотрены данные, полученные при регистрации сейсмических колебаний от внешних воздействий на здание цирка. Получили данные, а именно скорости поперечной, продольной волны, по ним нашли экспериментальные значения частот колебаний балки Б-2, которые практически подтверждают расчетные.

$$\varphi_1 = \frac{3,515}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} = \frac{3,515}{10^2} \sqrt{\frac{8,1 \cdot 27529}{1070}} = 0,5 \text{ Гц.}$$

$$\varphi_2 = \frac{22}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} = \frac{22}{10^2} \sqrt{\frac{8,1 \cdot 27529}{1070}} = 3,17 \text{ Гц.}$$

где  $\lambda$  - длина волны,  $m$  - масса консольной части,  $E$  - модуль упругости;  $I$  - момент инерции.

В заключение отметим:

1. Теоретическими расчетами моделировались различные варианты нагрузки одного из основных несущих элементов уникального здания Екате-

ринбургского государственного цирка - балки Б-2.

2. Показано, что при данных силовых нагрузках балка Б-2 находится в режиме упругих колебаний во вполне допустимых пределах.

3. Экспериментально полученные данные при взрывных работах на строительстве объектов метро (количество взрывов свыше 30) подтверждают ранее установленные параметры колебаний в упругом режиме).

4. Анализ полученных результатов при практическом использовании информационных систем показал правильность выбранных принципов, методов построения структурной схемы, а также эффективность их использования.

5. Доказана возможность получения необходимой технической информации о состоянии несущих элементов сооружений и конструкций без нарушения целостности и отбора образцов (наличие неразрушающего метода испытаний).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Введение в геоинформатику горного производства: Учебное пособие* / Под ред. В.С.Хохрякова. -2-е изд., переработанное и дополненное. -Екатеринбург: Издательство УГГА, 2001. - 198с.

2. *Яковлев Д.В., Шабаров А.Н., Гусева Н.В., Сельх А.Д., Деликов Е.В.* Система обеспечения геодинамической и экологической безопасности при проектировании и эксплуатации объектов ТЭК. - СПб.: ВНИМИ, 2001. -86 с.

3. *Мухаметшин А.М.* Проблемы горной геофизики (на примере подземной векторной магнитометрии). - Екатеринбург: УрО РАН.2001. 125с.

4. *Мухаметшин А.М., Поршнев С.В., Битюцкий В.П., Захарова Г.Б., Параничев А.В.* Геоинформационная система контроля состояния объектов социальной и промышленной инфраструктуры.// Вестник ТГУ. Приложение. - 2006. - № 18. - С. 174-178.

**ГИАБ**

## Коротко об авторах

*Мухаметшин А.М.* - доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоинформатики УГГУ, научный руководитель ООО «АМиК - Инновационные технологии», anisimov\_v (dog) r66.ru

*Анисимов В.М.* - кандидат технических наук, главный инженер ООО «ЕЭЛС», (343) 325-92-81