

# ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.271.45

Р.Г. Клейменов, С.М. Простов, М.В. Гуцал, Е.А. Капралов, К.В. Чухнов

## АЭРОФОТОГРАФИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГИДРООТВАЛАХ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Ввиду ответственности и повышенной промышленной опасности таких технических сооружений как гидроотвалы маркшейдерские службы угольных разрезов вынуждены вести непрерывный мониторинг геомеханического состояния этих объектов и прогноз устойчивости их откосов. Для решения геомеханических задач применяют комплекс инженерно-геологических, маркшейдерско-геодезических, гидрогеомеханических и геофизических методов.

Эти методы характеризуются базой измерений от единиц до сотен метров, т.е. относятся к региональным и локальным. Поскольку гидроотвалы имеют большие площади, значительная часть их

участков недоступна для визуального осмотра и наземных наблюдений, необходимо развитие методов мониторинга этих объектов, в частности, на основе глобальных аэрофотографических измерений.

На угольных разрезах ОАО УК "Кузбассразрезуголь" с 1980 г. начаты работы по применению аэрофотосъемки для создания автоматизированной системы планирования и контроля горных работ [1].

В настоящее время основная объем работ по созданию и обновлению цифровых моделей угольных разрезов выполняет ООО "Геоинформация".

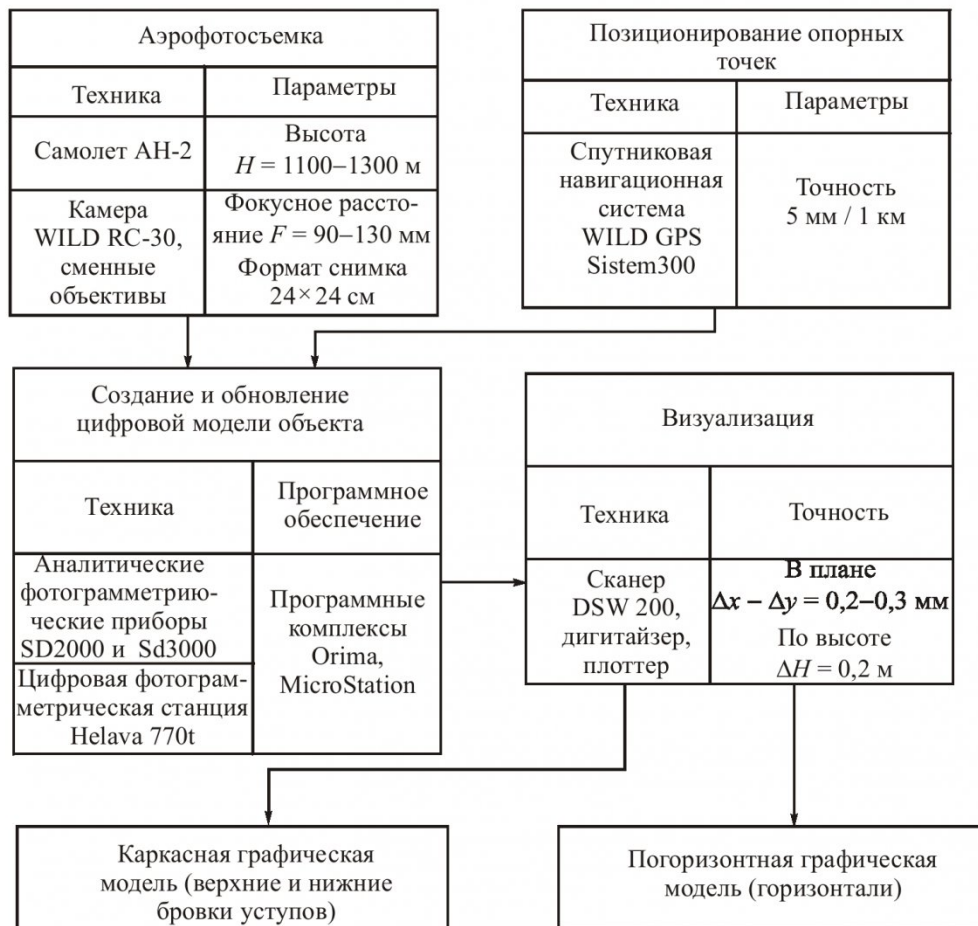


Рис. 1. Схема аэрофотограмметрического мониторинга

Упрощенная схема аэрофотографического мониторинга представлена на рис 1. Она включает следующие этапы:

- проведение фотографических измерительных работ, включающих собственно аэрофото-съемку и позиционирование опорных точек;
- создание и обновление цифровых моделей объектов с помощью аналитической и цифровой аппаратуры;
- визуализация цифровой информации.

В зависимости от особенностей элементов горных работ объекты отображаются на плане двумя способами [2]:

- в виде структурных линий, не нарушающих гладкости моделируемой поверхности (чаще всего, это верхние и нижние бровки уступов);
- горизонталями (изолиниями равной высоты).

Структурные линии образуют каркасную модель, которая содержит геометрическую (координаты вершин) и топографическую (форма линий, соединяющих вершины) информацию.

Высокая точность созданных цифровых моделей (0,2–0,3 мм в плане и 0,2 м по высотным отметкам) позволяет расширить область их применения для периодического контроля горизонтальных смещений и вертикальных оседаний техногенных массивов гидроотвалов.

Алгоритм диагностирования горизонтальных смещений основан на обработке исходной и текущей каркасных моделей объекта (рис. 2).

При анализе  $i$ -ого контура производится идентификация границ изменений, рисовка нового контура и маркировка зон, для которых смещение  $\delta$  и площадь зоны смещений  $S$  превышают заданные граничные значения. При компьютерной об-

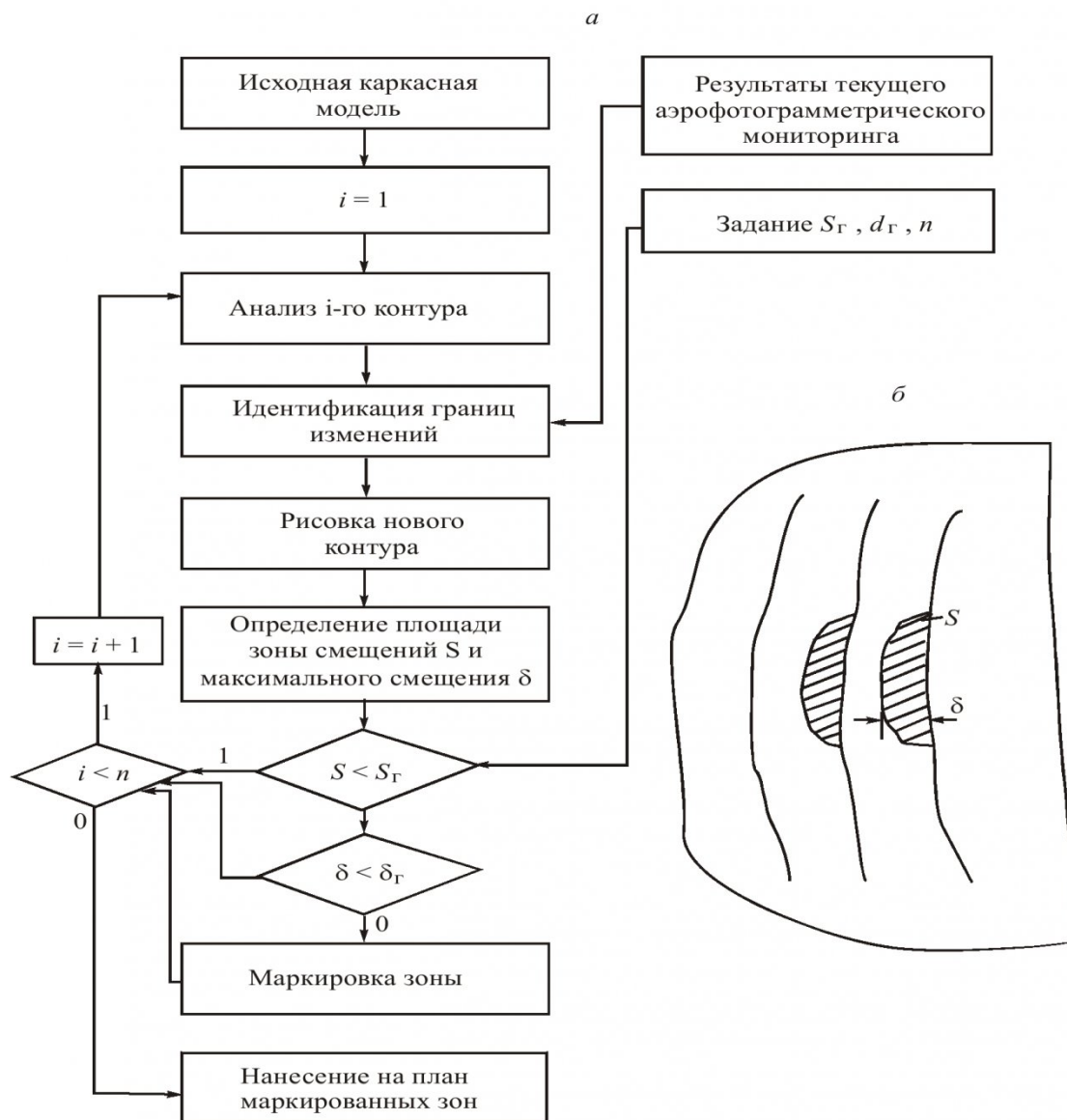


Рис. 2. Алгоритм (а) и схема (б) диагностирования горизонтальных смещений:  $\delta$  – смещение;  $S$  – площадь зоны смещений;  $\delta_\gamma$ ,  $S_\gamma$  – граничные значения;  $n$  – число контуров

работке каркасных моделей точность мониторинга определяется только техническими параметрами фотограмметрической аппаратуры и практически не ограничена. Возможна приближенная визуальная обработка (наложение исходной и текущей модели), точность которой зависит от масштаба маркшейдерского плана: считая, что различимым является смещение на плане 0,1 мм, при масштабе 1:5000 можно зафиксировать смещение  $\delta > 500$  мм, при масштабе 1:2000 –  $\delta > 200$  мм при масштабе 1:500 –  $\delta > 50$  мм.

Алгоритм диагностирования вертикальных оседаний основан на обработке исходной и текущей погоризонтных моделей (рис. 3).

Для реализации алгоритма на план участка наносят сетку с шагами  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Обработка сводится к распознаванию и маркировке узлов сетки, в которых выполняется условие  $z' - z'' > \Delta z_r$ . Точность контроля определяется техническими харак-

теристиками используемой аппаратуры и составляет 0,2 м.

Для проверки принципиальной возможности аэрофотографического мониторинга проведена ручная обработка данных с помощью приведенных алгоритмов цифровых моделей гидроотвалов "Бахтыхтинский" и "Прямой Ускат" угольного разреза "Красный брод".

Обработка проводилась по распечатанным планам горных работ в масштабе 1:5000 за период 2004–2008 гг.

Гидроотвал "Бахтыхтинский" представляет собой сооружение овражно-балочного типа с односторонним обвалованием высотой в тальвеге лога до 38 м и площадью 98 га.

Намыв гидроотвала осуществлялся в период с 1958 по 1962 гг. со стороны дамб обвалования. С 1973 г. гидроотвал служит основанием технологической схемы автомобильно-бульдозерного отва-

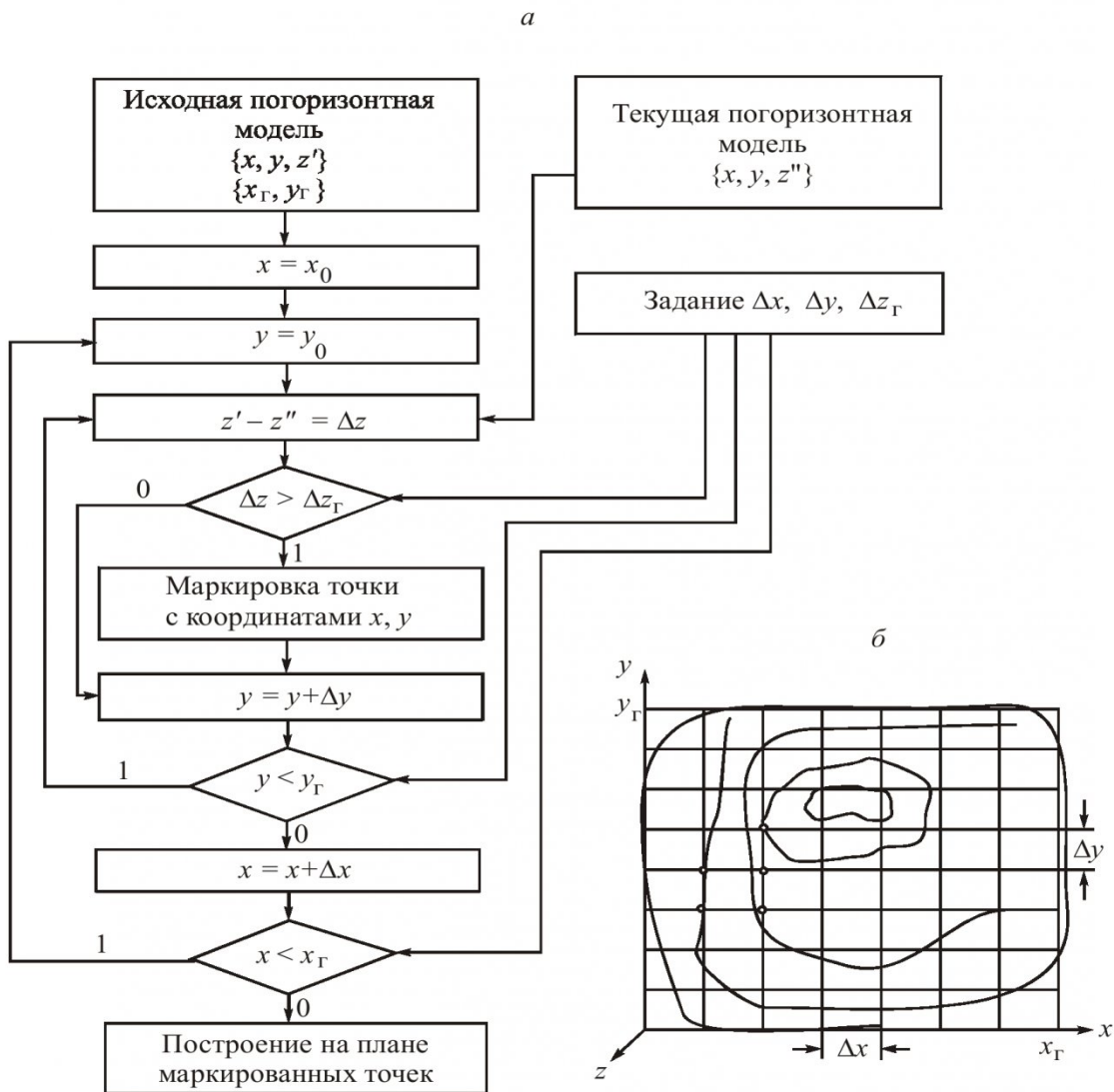


Рис. 3. Алгоритм (а) и схема (б) диагностирования оседаний:

$x, y$  – координаты узловой точки в плане;  $z', z''$  – высота точки в исходной и текущей модели;  $\Delta x, \Delta y$  – шаг сетки;  $\Delta z_r$  – граничное значение регистрируемого оседания

лообразования. По состоянию на лето 2006 г. максимальные отметки отвала превысили значения +400,0 м.

Гидроотвал "Прямой Ускат" построен в 1967 г. и эксплуатировался до 1996 г., ныне находится на стадии консервации. Гидроотвал овражно-балочного типа с трехсторонним обвалованием, расположен в долине р. Прямой Ускат.

В гидроотвал складировались вскрышные по-

роды суглинистого состава, разрабатываемые способом гидромеханизации.

Емкость сооружения составляет 54,8 млн. м<sup>3</sup>, а площадь гидроотвала при отметке заполнения +325,3 м – 228 га.

Дамбы гидроотвала за срок эксплуатации сооружения неоднократно наращивались и на момент консервации имели максимальную высоту 54,3 м.

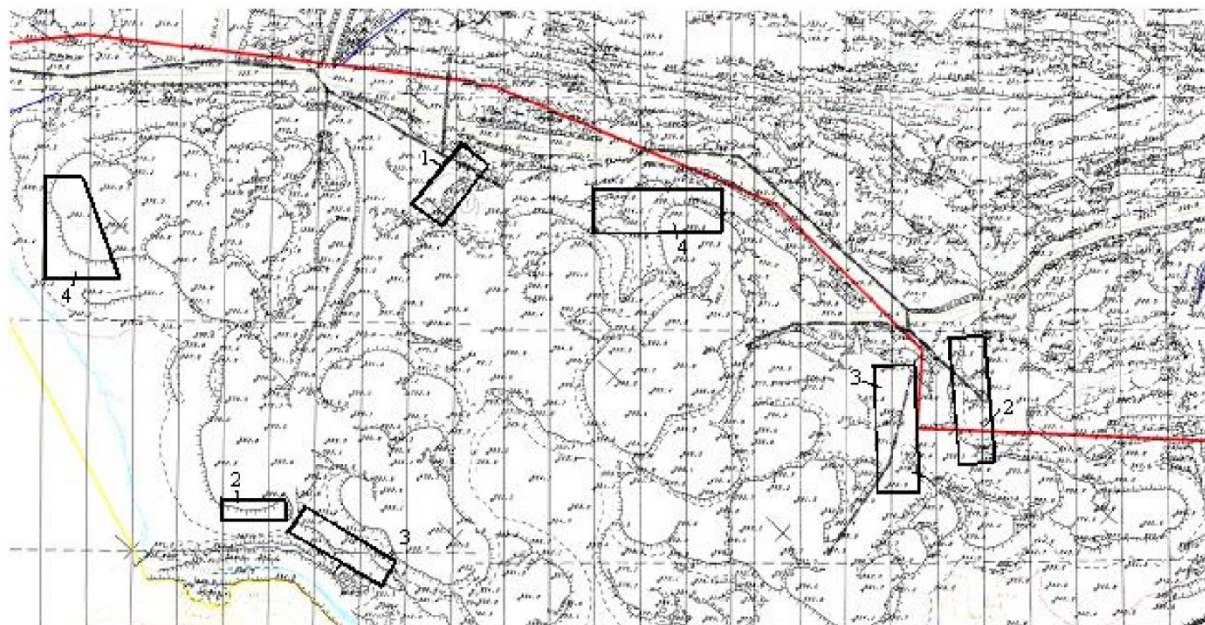


Рис. 4. Зоны горизонтальных сдвижений техногенного массива автоотвала "Батыхтинский", выявленные по результатам мониторинга: 1 – 2005 г.; 2 – 2006 г.; 3 – 2007 г.; 4 – 2008 г.



Рис. 6. Зоны горизонтальных сдвижений и оседаний техногенного массива гидроотвала "Прямой Ускат", выявленные по результатам мониторинга: 1 – оседания, 2005 г.; 2 – оседания, 2006 г.; 3 – оседания, 2007 г.; 4 – оседания, 2008 г.; 5 – горизонтальные сдвижения, 2005–2008 гг.

Поскольку на гидроотвале "Бахтыхтинский" ведется складирование сухих пород, фиксировались только зоны горизонтальных сдвижений. Ре-

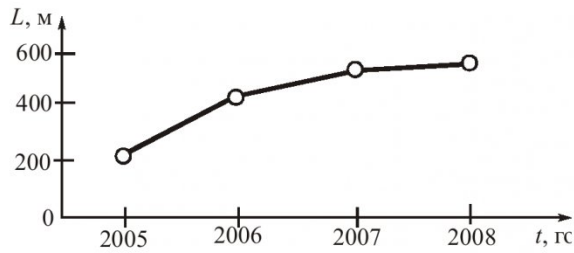


Рис. 5. Изменение суммарной протяженности L участков сдвижений по годам на гидроотвале "Бахтыхтинский"

зультаты обработки представлены на рис. 4.

Установлено 7 зон, на которых сдвижения проявились на фоне производимых отвальных работ (на этих участках проверялись совпадения вертикальных отметок соответствующих уступов) (рис. 4).

График изменения суммарной протяженности L смещенных участков уступов отвала с течением времени t (рис. 5) показывает, что деформационные процессы протекают равномерно и локализируются на интервалах 70–200 м. Целесообразно проводить региональный и локальный мониторинг на выявленных интервалах по периметру гидроотвала.

Поскольку отвальные работы на гидроотвале "Прямой Ускат" не ведутся с 1996 г., все изменения цифровой модели объекта можно трактовать как проявление напряженно-деформированного состояния техногенного массива.

Выявлены зоны оседаний, которые в значительной мере приурочены к юго-западной части отвала, что свидетельствует о незавершенности

процессов фильтрационной консолидации намывных грунтов (рис. 6).

Горизонтальные сдвижения зафиксированы только на юго-восточном участке ограждающей

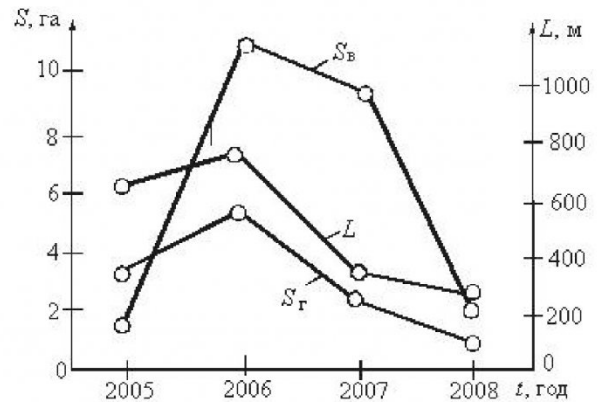


Рис. 7. Изменение суммарных площади  $S_v$  зон оседания, протяженности L и площади  $S_g$  зон горизонтальных сдвижений по годам на гидроотвале "Прямой Ускат"

дамбы. На этих участках целесообразно проводить дополнительные инструментальные наблюдения.

Анализ графиков изменения во времени суммарной площади  $S_v$  зон сдвижений, суммарной протяженности L участков дамбы с горизонтальными сдвигами и площади  $S_g$  этих участков в плане (рис 7) показал равномерность развития деформационных процессов в теле гидроотвала и вполне четко выраженную тенденцию к их затуханию.

Автоматизированная обработка цифровых моделей гидроотвалов и участков ведения горных работ позволит значительно увеличить информативность геомеханического мониторинга на угольных разрезах

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермошкин, В. В. Автоматизированная система планирования и контроля горных работ / В. В. Ермошкин, Р. Г. Клейменов // Маркшейдерский вестник. – 2002. – №2. – С. 51–53.
2. Тимофеева, О. А. Использование фотометрических методов при съемке открытых угольных месторождений // ГИС-обозрение. – 1999. – №3–4. – С. 25–26.

□ Авторы статьи:

Клейменов Роман Геннадьевич – нач. отдела маркшейдерии и недропользования ОАО УК «Кузбассразрез-уголь» Тел. (3842) 44-00-31

Простов Сергей Михайлович – докт. техн. наук, проф. каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ E-mail: raen@kuzstu.ru

Гуцал Максим Владимирович – канд. техн. наук, доц. каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ Тел. (3842) 58-10-56

Капралов Евгений Александрович – студент группы ФП-041 Тел. (3842) 58-10-56

Чухнов Кирилл Витальевич – студент группы ФП-041 Тел. (3842) 58-10-56