

Внедрение мониторинга безопасности на участке строительства крутонаклонного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа

Р.И. Исмагилов¹✉, А.В. Козуб², Б.П. Бадтиев¹, А.А. Павлович³

¹ ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ», г. Москва, Российская Федерация

² ПАО «Михайловский ГОК», г. Железнодорожск, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉r.ismagilov@metalloinvest.com

Резюме: В настоящий момент требования к организации мониторинга безопасности прибортового массива на участках расположения ответственного сооружения регламентируются документами, которые не позволяют в полной мере учитывать современное состояние приборной базы и потребностей горного производства. В связи с чем организация мониторинга может осуществляться только с привлечением научных и специализированных организаций. Каждое месторождение имеет свои отличительные особенности, и поэтому для своевременной интерпретации наблюдений необходимо контролировать параметры, которые наиболее полно позволяют охарактеризовать состояние устойчивости откосов. Применение только одного метода наблюдений может быть недостаточным. В связи с чем появляется необходимость в создании комплексной системы мониторинга. На Южном карьере Михайловского ГОКа для уточнения видов мониторинга и особенностей конструкции наблюдательных станций на участке строительства конвейерного комплекса был произведен анализ инженерно-геологических, гидрогеологических условий и проведены расчеты устойчивости прибортового массива методами предельного равновесия и численное моделирование методом конечных элементов с учетом изменчивости физико-механических свойств горных пород. После проведенных предварительных исследований на восточном борту Южного карьера Михайловского ГОКа, на участке строительства крутонаклонного конвейера и погрузочно-складского комплекса была внедрена система мониторинга, включающая в себя визуальные и инструментальные наблюдения. В состав инструментальных наблюдений входят маркшейдерские, гидрогеологические и магнитометрические измерения. Для каждого вида наблюдений разработаны критерии безопасности. В статье также описаны результаты тестирования радара и показаны сложности его использования при наличии конвейера и железнодорожных путей. Предложены дальнейшие пути по развитию комплексной системы мониторинга.

Ключевые слова: крутонаклонный конвейер, погрузочно-складской комплекс, метод предельного равновесия, численное моделирование, магнитометрические измерения, критерии безопасности, георадар

Благодарности: В работе принимали участие А.М. Шепель, А.С. Сидоренко.

Для цитирования: Исмагилов Р.И., Козуб А.В., Бадтиев Б.П., Павлович А.А. Внедрение мониторинга безопасности на участке строительства крутонаклонного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа. *Горная промышленность*. 2020;(1):120–126. DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-120-126.

Implementation monitoring of safety at the construction area of a steep-inclined conveyor complex at the south open pit of Mikhailovsky GOK

R.I. Ismagilov¹✉, A.V. Kozub², B.P. Badtiev¹, A.A. Pavlovich³

¹ Management Company Metalloinvest, LLC, Moscow, Russian Federation

² Mikhailovsky Mining and Processing Plant JSC, Zheleznogorsk, Russian Federation

³ Saint-Petersburg Mining University, St Petersburg, Russian Federation

✉r.ismagilov@metalloinvest.com

Abstract: Currently, the requirements for the organization of monitoring of the safety of the rock mass at the sites of critical construction are regulated by documents that do not allow to fully take into account the current state of the instrument base and the needs of mining. That's why the organization of monitoring can be carried out only with the involvement of scientific and specialized organizations. Each deposit has its own distinctive features, and therefore, for the timely interpretation of observations, it is necessary to control the parameters that most fully characterize the state of slope stability. The use of only one observation method may be insufficient. In this connection, there is a need to create an integrated monitoring system. To clarify the types of monitoring and features of observation stations at the construction site of the conveyor complex at the Mikhailovsky GOK South open pit, as well as to identify the most dangerous sections in the section, an analysis of engineering-geological and hydrogeological conditions was carried out and the slope stability analysis was provided by the methods of limit equilibrium and numerical simulation finite element method, taking into account the variability of the physical and mechanical properties

of rocks. After preliminary research on the eastern side of the South open pit, where steep inclined conveyer and lifting-storage compound were supposed to be placed, the monitoring systems, which include visual and instrumental observations, were injected. Instrumental observers include surveying, hydrogeological and magnetometric measurements. Also safety criteria for each type of observer were developed. The article also describes the results of testing the radar and shows the difficulties of its use in the presence of the conveyer and railway tracks. Further ways to develop an integrated monitoring system are proposed.

Keywords: steep inclined conveyer, lifting-storage compound, limit equilibrium method, computational simulation, magnetic measurement, safety criteria, georadar

Acknowledgements: The work was attended by A.M. Shepel, A.S. Sidorenko.

For citation: Ismagilov R.I., Kozub A.V., Badtiev B.P., Pavlovich A.A. Implementation monitoring of safety at the construction area of a steep-inclined conveyer complex at the south open pit of Mikhailovsky GOK. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2020;(1):120–126. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-120-126.

Введение

Для оценки принятых на стадии проектирования исходных данных и геомеханических моделей в нормативных и методических документах указывается на необходимость проведения наблюдений за устойчивостью откосов как на стадии строительства, так и эксплуатации*.

Стоит отметить, что, руководствуясь данными документами, фактически в качестве основного инструментального метода используются только маркшейдерские наблюдения. Однако маркшейдерские измерения позволяют контролировать преимущественно только состояние поверхности откосов (берм). В то время как на скрытых стадиях развития деформаций основные сдвиги наблюдаются в массиве. Причем их инициировать могут и внешние воздействия, контроль которых также следует осуществлять.

В связи с этим для создания надежной системы своевременного предупреждения об опасности необходимо контролировать параметры, которые наиболее полно позволяют охарактеризовать состояние устойчивости откосов. Применение только одного метода наблюдений может быть недостаточным. В связи с чем появляется необходимость в создании комплексной системы мониторинга.

Причем для реализации системы своевременного предупреждения необходимо разработать критерии безопасности, в зависимости от которых принимаются те или иные действия и решения.

На гидротехнических сооружениях и на зарубежных карьерах, в отличие от российских предприятий,

* Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971; Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1987.

такой подход находит все большее применение [1–6].

Однако при строительстве на прибортовом массиве ответственных сооружений повышаются требования к обеспечению безопасности и, соответственно, имеется необходимость в разработке и внедрении системы мониторинга, учитывающей инженерно-геологические, гидрогеологические и горнотехнические особенности месторождения.

Общие сведения о Михайловском ГОКе

Для повышения технико-экономических показателей ПАО «Михайловский ГОК» управляющей компаний «МЕТАЛЛОИНВЕСТ» принято решение о строительстве в Южном карьере дробильно-конвейерного комплекса с производительностью порядка 15 млн т руды в год. Ввод ДКК позволит без участия дополнительного транспорта осуществлять доставку руды с нижних горизонтов на поверхность.

В состав ДКК входит дробильно-перегрузочная установка, конвейер промежуточный, крутонаклонный конвейер (далее КНК), погрузочно-складской комплекс (далее ПСК).

Одним из основных конструктивных решений является размещение основного конвейера под углом 37° на временно нерабочем борту. Высота подъема руды составит 215 м.

Для обеспечения подъема руды предполагается использовать конвейер с двумя замкнутыми лентами: нижняя грузонесущая и верхняя прижимная, рабочая ветвь которой прижимает транспортируемую горную массу к рабочей ветви грузонесущей ленты.

В настоящий момент происходит строительство крутонаклонного конвейера (рис. 1).



Рис. 1
Строительство крутонаклонного конвейера

Fig. 1
Construction of a steep inclined conveyer

При расположении столь ответственного сооружения на борту карьера предъявляются весьма высокие требования к обеспечению безопасности ведения горных работ и созданию мониторинга устойчивости откосов.

Эффективный мониторинг должен обеспечивать получение актуальной и объективной информации о наблюдаемых процессах, а перечень контролируемых показателей должен быть достаточен для интерпретации проводимых измерений. В связи с этим в районе КНК и на прилегающих к нему участках в настоящий момент внедряется комплексная система мониторинга устойчивости восточного борта Южного карьера.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия восточного борта Южного карьера

Восточный борт Южного карьера характеризуется сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями.

В геологическом и гидрогеологическом строении восточного борта Южного карьера ПАО «Михайловский ГОК» выделяются два резко различных структурных этажа – верхний и нижний. В нижней части борта залегают отложения кристаллического фундамента, представленные метаморфическими отложениями нижнего протерозоя с малым коэффициентом фильтрации. К данным породам приурочен архейско протерозойский водоносный комплекс. В зоне влияния буровзрывных работ проницаемость существенно возрастает в связи с наличием техногенной трещиноватости.

Верхний структурный этаж сложен отложениями фанерозойского осадочного чехла и представлен (снизу вверх) среднедевонским водоносным комплексом, батским водоносным горизонтом, келловейским водоупорным горизонтом и надкелловейским водоносным комплексом.

Осадочный массив пригружен разрыхленными окисленными кварцитами мощностью до 45–50 м (рис. 2).

Таким образом, основанием конвейера и склада являются горные породы с контрастными прочностными и

деформационными свойствами, деформирование которых может осуществляться по принципиально разным механизмам. Фактически четыре опоры конвейерного става располагаются в породах протерозоя и пять опор на участке борта, пригруженного окисленными кварцитами.

Расчет устойчивости восточного борта Южного карьера

Условия восточного борта Южного карьера сложные. В связи с этим перед разработкой системы мониторинга были осуществлены расчеты устойчивости откосов методами предельного равновесия и методом конечных элементов в программе RS2 компании Rocscience с учетом вариации физико-механических свойств глинистых отложений.

Перед проведением численного моделирования модель прибортового массива тарировалась на основании результатов маркшейдерских измерений.

По результатам выполненных расчетов выявлялись основные особенности деформирования откосов: возможный механизм разрушения, зоны сдвижения и участки концентрации напряжений. Причем данные параметры определялись с учетом изменчивости физико-механических свойств горных пород с целью выявления наиболее опасных участков в разрезе (рис. 3).

Расчеты устойчивости восточного борта карьера показали следующее:

1. Возможное проявление деформаций на поверхности будет осуществляться приблизительно на одном и том же участке, что предопределяется геометрией уступов, подстилающих массивную пригрузку.
2. В зависимости от прочностных свойств келловейских отложений разрушение будет осуществляться непосредственно по самой породе, либо по контакту глины–окисленные кварциты.
3. В случае деформирования борта карьера по осадочным породам в нижней части откоса будет наблюдаться выпирание.

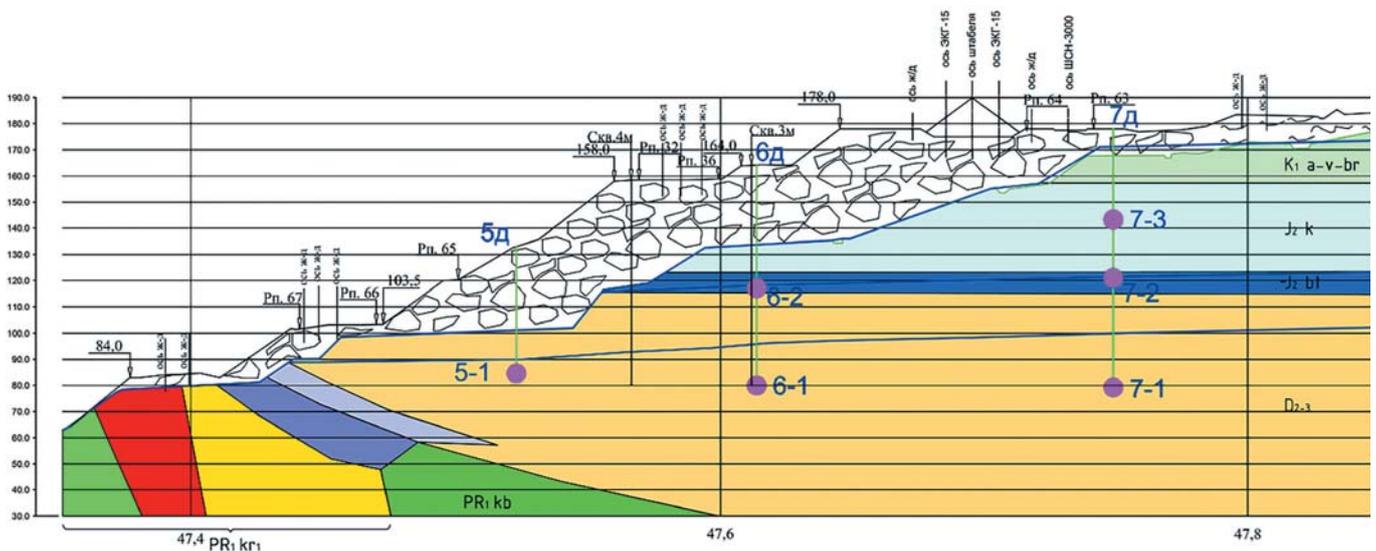


Рис. 2
Геологический разрез участка борта карьера с отображенными на нём наблюдательными реперами (Rp.), магнитометрическими (Сква. 3 м и 4 м) и гидрогеологическими скважинами (5Д, 6Д, 7Д)

Fig. 2
Geological profile of the open pit wall with indicated observational benchmarks (Rp.), magnetometric (Bh. 3 m and 4 m) and hydrogeological boreholes (5D, 6D, 7B)

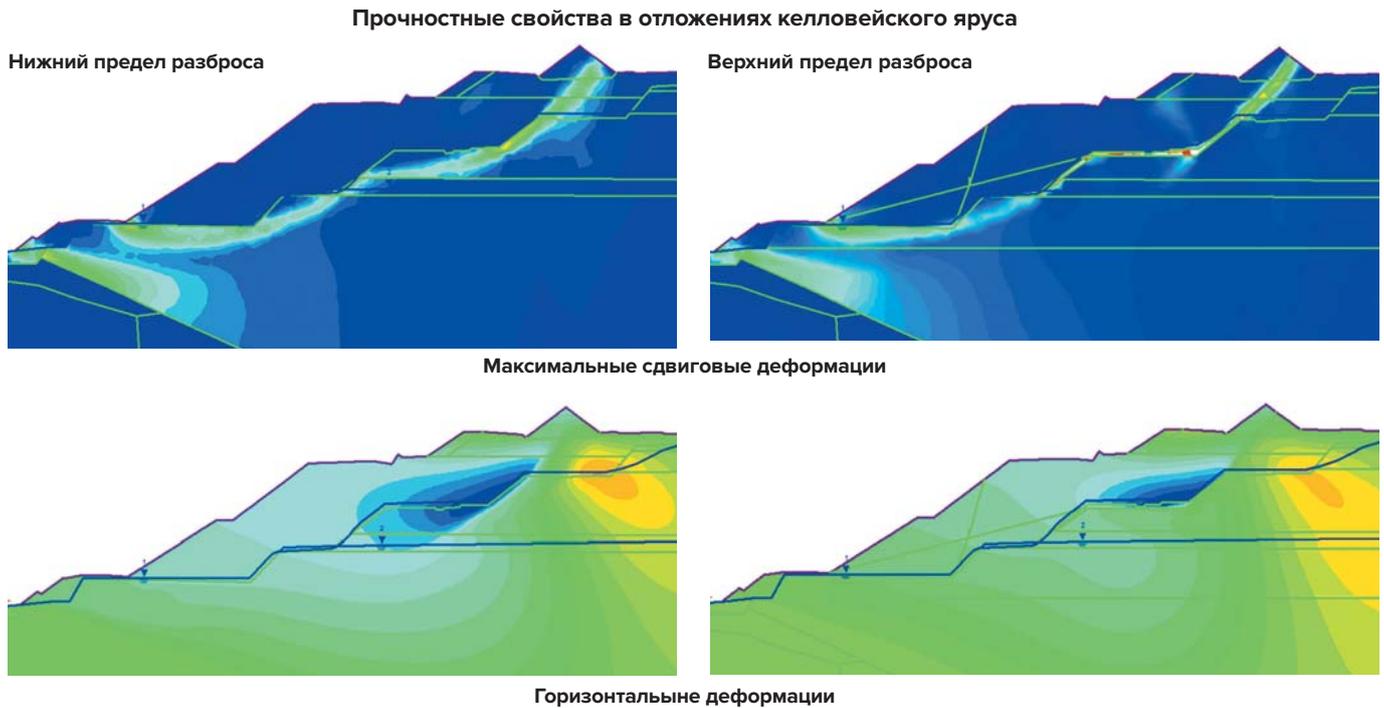


Рис. 3
Расчет устойчивости борта карьера методом конечных элементов с учетом вариации физико-механических свойств горных пород

Fig. 3
Calculation of the open pit wall stability using the finite elements method with account for variation of physical and mechanical properties of rocks

Таким образом, анализ инженерно-геологических и гидрогеологических условий, а также результаты расчетов позволили выбрать участки наблюдений и перечень необходимых для этого методов мониторинга.

Комплексная система мониторинга

На совместном совещании со специалистами ПАО «Михайловский ГОК», ООО УК «Металлоинвест», Санкт-Петербургского горного университета и ОАО «ВИОГЕМ» было принято решение о создании комплексной системы мониторинга.

В состав данной системы вошли следующие виды мониторинга:

1. Визуальные наблюдения.
2. Маркшейдерские наблюдения. Точечный контроль по профильным линиям, по которым проводились расчеты устойчивости откосов.
3. Гидрогеологические наблюдения. Контроль уровня режима водоносных горизонтов.
4. Магнитометрические наблюдения. Глубинный мониторинг сдвижения горных пород и разрыхленных окисленных кварцитов.

Визуальные наблюдения

Данный вид наблюдений является весьма важной составляющей общей системы мониторинга и обеспечения безопасности ведения горных работ. Визуальные наблюдения позволяют контролировать проявления и показатели, за которыми не организован инструментальный мониторинг. Данные наблюдения осуществляют все специалисты, работающие на предприятии, в особенности те, кто находится на прилегающем и/или на самом участке, или с использованием беспилотного летательного аппарата [7].

Маркшейдерские наблюдения

На прилегающей к КНК территории в разрыхленных кварцитах оборудована наблюдательная станция из 46 поверхностных реперов: 5 перпендикулярных борту профильных линии и одна продольная линия вдоль бровки на верхней площадке.

Наблюдения проводятся с использованием глобальных навигационных спутниковых систем методом «Быстрая статика». Координирование реперов производится от базового спутникового приемника, установленного на здании управления.

Гидрогеологические наблюдения

Для оценки устойчивости восточного борта карьера была создана геофильтрационная модель участка с использованием программного комплекса Visual ModFlow, который реализует блочно-центрированный балансовый метод конечных разностей [8]. Для ее калибровки, а также для контроля уровня режима во всех водоносных горизонтах вдоль конвейера и на прилегающей к нему территории были пробурены скважины для проведения гидрогеологических наблюдений. В настоящий момент мониторинг осуществляется по 10 гидронаблюдательным скважинам, оборудованным 20 датчиками гидростатического давления.

Влияние колебаний атмосферного давления на показания датчиков осуществляется автоматизированно по данным бародатчиков. Влияние осадков осуществляется в ручном режиме на этапе интерпретации данных на основании данных по метеостанции.

Магнитометрические наблюдения

Данные наблюдения проводятся силами ОАО «ВИОГЕМ». Для проведения глубинных магнитометрических измерений были пробурены четыре скважины, которые

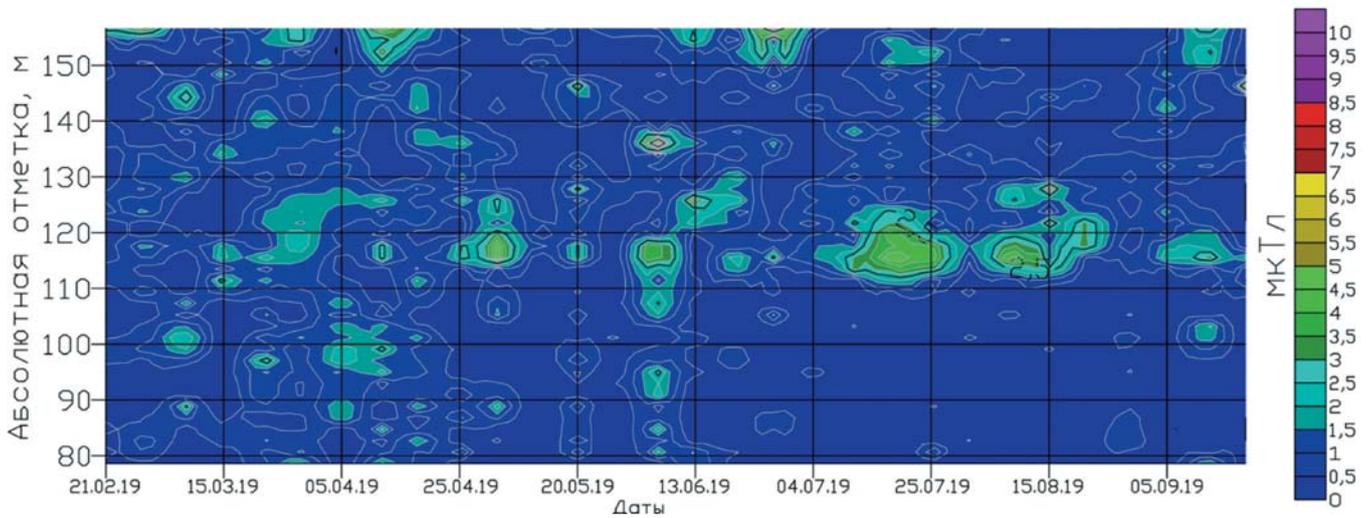


Рис. 4
Изоплета относительных приведенных изменений индукции по скважине

Fig. 4
Isopleth curve of the relative adjusted induction changes along the borehole

обсаживались стальными трубами. Внутри скважин устанавливаются магнитоупругие реперы через равные интервалы. Принцип действия реперов основан на изменении магнитной индукции репера под воздействием приложенных к нему сил. Реперы отличаются высокой чувствительностью и точностью замеров. Установка реперов на всю длину скважины позволяет отслеживать изменения индукции и, соответственно, проявления деформационной активности на конкретных глубинах.

Пример графического отображения результатов магнитометрических измерений, обрабатываемых специалистами Санкт-Петербургского горного университета, приведен на рис. 4.

На рис. 4 видно, что в начальный период измерений изменение магнитной индукции связано с обжатием трубы и затем, в приповерхностной части, с горными работами. Величины магнитной индукции незначительные, что говорит об отсутствии четко выраженных глубинных деформационных процессов в прибортовом массиве.

Критерии безопасности

Основной целью проведения мониторинга устойчивости откосов является оценка их устойчивости. Однако напрямую измерить устойчивость не представляется возможным. В связи с этим оценку устойчивости откосов осуществляют на основании измерений и оценки контролируемых показателей (параметров), состав которых может меняться в зависимости от инженерно-геологических и горнотехнических условий рассматриваемого объекта.

Наиболее значимые для сооружения контролируемые показатели называют диагностическими показателями. На основании сопоставления диагностических показателей с критическими значениями осуществляется оценка устойчивости откосов.

Сложность выбора критериев безопасности заключается в том, что в настоящий момент ни в одном нормативном или методическом документе не предложена методика оценки состояния устойчивости откосов. Поэтому чаще всего анализ результатов наблюдений осуществляется на основании опыта или оценки стабильности измеряемых показателей.

Для условий восточного борта Южного карьера специалистами Горного университета на основании анализа инженерно-геологических и гидрогеологических условий, результатов наблюдений на участке ПСК и КНК, а также с учетом требований методических и нормативных документов были разработаны критерии безопасности.

В зависимости от величин коэффициентов запаса были выделены четыре критерия безопасности (рис. 5).

Каждому критерию безопасности были присвоены диагностические показатели, их критические значения и рекомендации по ведению горных работ в зависимости от результатов измеренных величин. Основной особенностью в выборе диагностических показателей являлись четкость и однозначность, а количественная величина показателя должна была превосходить погрешность измерительной системы не менее чем в 3 раза.

Перспективы развития мониторинга безопасности

Внедряемые на сегодняшний день для контроля устойчивости откосов в районе строительства КНК и ПСК методы являются точечными и не позволяют в полной мере производить мониторинг всей поверхности прибортового массива, а измерения проводятся периодически.

В связи с этим для повышения качества контроля над деформациями в летний период производилось тестирование наземного интерферометрического георадара IBIS-FM компании ООО «ГЕКСАГОН ГЕОСИСТЕМС РУС».

Георадар позволяет производить контроль сдвижения всей поверхности прибортового массива с субмиллиметровой точностью вне зависимости от времени суток и погодных условий в режиме реального времени [9].

Георадар показал себя качественным инструментом, который может дополнить внедряемую систему мониторинга. Но в ходе тестирования радара были выявлены и недостатки, в частности, повышенный шум в районе расположения железнодорожных путей и конвейерного комплекса. Шумы не позволяют однозначно интерпретировать смещения в районе расположения данных конструкций.

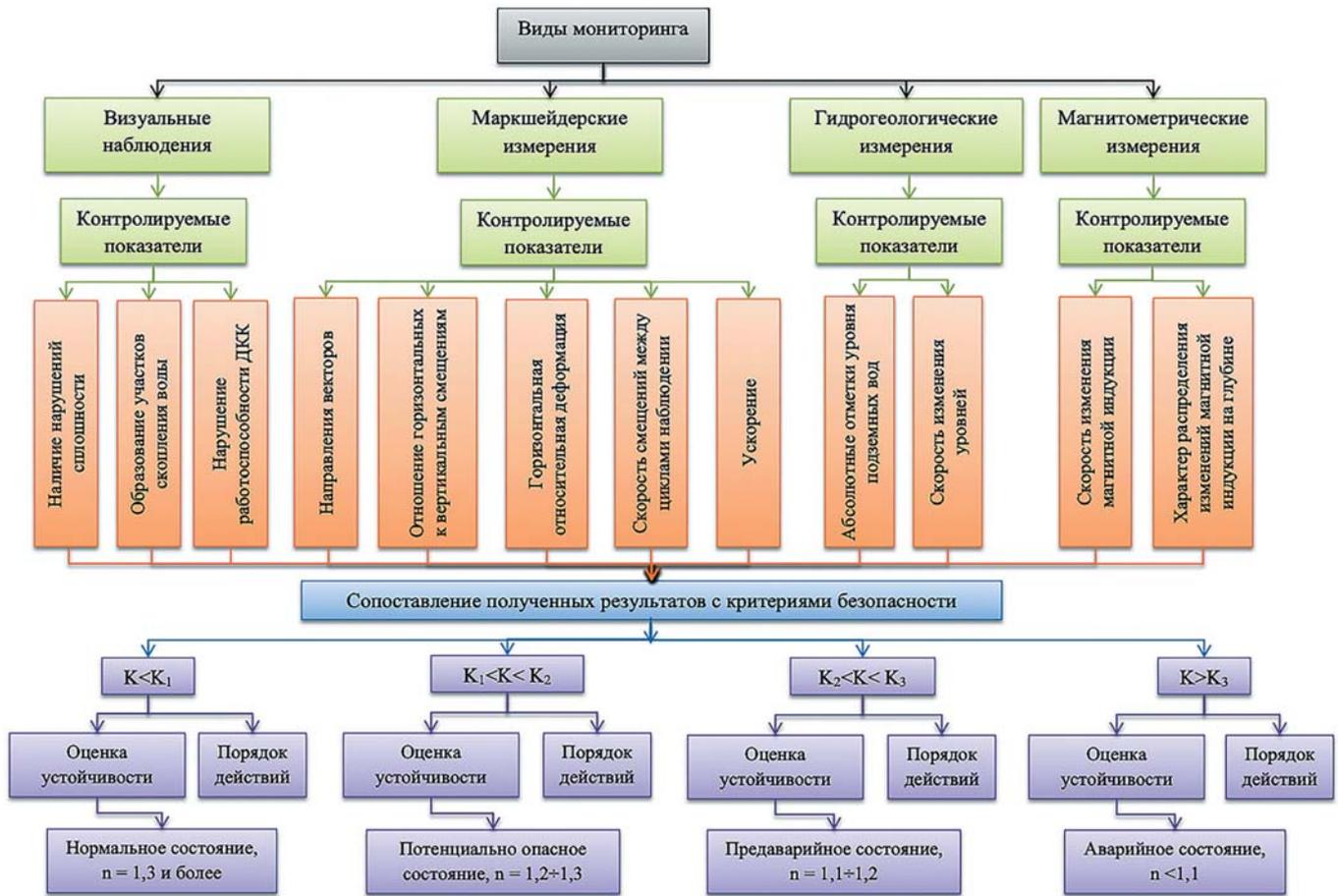


Рис. 4
Блок-схема критериев безопасности для каждого вида наблюдений

Fig. 5
Block diagram of safety criteria for each type of monitoring

Заключение

На восточном борту Южного карьера на участке расположения погрузочно-складского комплекса и вдоль крутонаклонного конвейера внедрена комплексная система мониторинга, включающая в себя контроль всех наиболее важных показателей, которые могут позволить оценить состояние устойчивости прибортового массива как на этапе строительных работ, так и на этапе эксплуатации.

Однако стоит отметить, что созданная система мониторинга не является стационарной. Каждая система требует постепенного развития и поддержания. Уже сейчас видны перспективы дальнейшего развития комплексной системы мониторинга:

1. Обеспечить автоматизацию сбора данных;
2. Организовать централизованную систематизацию

всех получаемых данных и их хранение на специально отведенном сервере с доступом к нему различных специалистов;

3. Внедрить систему оповещения по результатам предварительного анализа наблюдений;

4. Разработать предложения по осуществлению мониторинга за железобетонными конструкциями, расположенными на участке склада, а также за крутонаклонным конвейером;

5. Внедрение в систему мониторинга методов сплошного покрытия откосов в режиме 24/7.

Стоит отметить, что для повышения качества внедряемых систем мониторинга устойчивости откосов, необходимо обновить существующие нормативные и методические документы и легализовать возможность применения современных методов наблюдений.

Список литературы

1. Бахаева С.П., Простов С.М. Комплексный мониторинг техногенных грунтовых массивов угольных разрезов. *Безопасность труда в промышленности*. 2011;(4):20–24.
2. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Васильева А.Д. Обоснование устойчивости внешних отвалов Кузбасса и мониторинг их состояния. *Горный информационно-аналитический бюллетень* 2019;(4):109–120. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.
3. Рид Д., Стейси П. (ред.) *Руководство по проектированию бортов карьеров*. Екатеринбург: Правовед; 2015.
4. Гальперин А. М., Пуневский С.А., Ческидов В.В., Петряков А.М. Совершенствование мониторинга техногенных массивов горных предприятий с применением дистанционных методов. В: *Сергеевские чтения. Юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, г. Москва, 21 марта 2014 г.* М.: Российский университет дружбы народов; 2014. С. 533–538.
5. Маловичко Д.А., Линч Р.Э. Микросейсмический мониторинг бортов карьеров. *Горное эко*. 2006;(2):21–30.

6. Hawley M., Cuning J. (eds) *Guidelines for mine waste dump and stockpile design*. CSIRO Publishing; 2017.
7. Кретов С.И., Исмагилов Р.И., Бадтиев Б.П., Шарковский Д.О., Павлович А.А., Свириденко А.С. Организация комплексного мониторинга устойчивости внешних отвалов, сложенных породами с низкой несущей способностью, на слабом основании в условиях ПАО «Михайловского ГОК». *Горная промышленность*. 2019;(3):15–19. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-3-145-15-19.
8. Aphu Elvis Selase, Brantson Eric Thompson, Addo Bright Junior, Akunda Doreen. Development of Finite Difference Explicit and Implicit Numerical Reservoir Simulator for Modelling Single Phase Flow in Porous Media. *Earth Sciences*. 2018;7(6):242–259. DOI: 10.11648/j.earth.20180706.11.
9. Розанов И.Ю. Завьялов А.А. Применение радара IBIS-FM для контроля состояния борта карьера рудника «Железный» (АО «Ковдорский ГОК»). *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(7):40–46. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-40-46.

References

1. Bakhaeva S.P., Prostov S.M. Complex monitoring of technogenic soil massifs in surface coal mine. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2011;(4):20–24. (In Russ.).
2. Kutepov Yu. I., Kutepova N.A., Vasil'eva A.D. External dump stability substantiation and monitoring in Kuzbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(4):109–120. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.
3. Read J. (ed.), Stacey P. (ed.) *Guidelines for open pit slope design*. Boca Raton: CRC Press; 2009. DOI: 10.1071/9780643101104.
4. Galperin A.M., Punevskii S.A., Cheskidov V.V., Petryakov A.M. Improvements in technogenic massif monitoring at mining operations using remote sensing methods. In: *Sergeev's Readings. Milestone Conference Dedicated to Centennial Anniversary of Academician E.M. Sergeev. Proceedings of the annual session of RAS Academic Board on challenges in Geocology, Engineering Geology and Hydrogeology, Moscow, March 21, 2014*. Moscow: RUDN University; 2014, pp. 533–538. (In Russ.).
5. Malovichko D.A., Linch R.E. Microseismic monitoring of open pit walls. *Gornoe ekho*. 2006;(2):21–30. (In Russ.).
6. Hawley M., Cuning J. (eds) *Guidelines for mine waste dump and stockpile design*. CSIRO Publishing; 2017.
7. Kretov S.I., Ismagilov R.I., Badtiev B.P., Sharkovskiy D.O., Pavlovich A.A., Sviridenko A.S. Management of complex stability monitoring of external dumps made up of soils with low bearing capacity and located on weak base for conditions of PJSC «Mikhailovsky GOK». *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2019;(3):15–19. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-3-145-15-19.
8. Aphu Elvis Selase, Brantson Eric Thompson, Addo Bright Junior, Akunda Doreen. Development of Finite Difference Explicit and Implicit Numerical Reservoir Simulator for Modelling Single Phase Flow in Porous Media. *Earth Sciences*. 2018;7(6):242–259. DOI: 10.11648/j.earth.20180706.11.
9. Rozanov I. Yu., Zavyalov A. A. Application of IBIS FM radar to pit wall monitoring at Zhelezny open pit mine of Kovdor Mining and Processing Plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018;(7):40–46. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-40-46.

Информация об авторах

Исмагилов Ринат Иршатович – директор департамента горнорудного производства ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: r.ismagilov@metalloinvest.com.

Козуб Александр Васильевич – кандидат технических наук, главный инженер ПАО «Михайловский ГОК», г. Железнодорожск, Российская Федерация; e-mail: a_kozub@mgok.ru.

Бадтиев Батрадз Петрович – доктор технических наук, начальник управления мониторинга и перспективного развития горных работ ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: b.badtiev@metalloinvest.com.

Павлович Антон Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией устойчивости бортов карьеров Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: pavlovich_aa@pers.spmi.ru.

Information about the author

Rinat I. Ismagilov – Director of the Department of Mining, Management Company Metalloinvest, LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: r.ismagilov@metalloinvest.com.

Alexandr V. Kozub – Candidate of Technical Sciences, Chief Engineer, Mikhailovsky Mining and Processing Plant JSC, Zheleznogorsk, Russian Federation; e-mail: a_kozub@mgok.ru.

Batradz P. Badtiev – Doctor of Technical Science, Head of the Department for Monitoring and Prospective Development of Mining, Management Company Metalloinvest, LLC, Moscow, Russian Federation; e-mail: b.badtiev@metalloinvest.com.

Anton A. Pavlovich – Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory of Open Pit Wall Stability, Saint-Petersburg Mining University, St Petersburg, Russian Federation; e-mail: pavlovich_aa@pers.spmi.ru.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.12.2019

Поступила после рецензирования: 16.01.2020

Принята к публикации: 21.01.2020

Article info

Received: 19.12.2019

Revised: 16.01.2020

Accepted: 21.01.2020