

И.Ю. Розанов, А.А. Завьялов

## ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРА IBIS FM ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ БОРТА КАРЬЕРА РУДНИКА «ЖЕЛЕЗНЫЙ» (АО «КОВДОРСКИЙ ГОК»)

**Аннотация.** В России радары стали применяться относительно недавно, около 4 лет назад, и на сегодняшний день этот метод мониторинга становится все более используемым, несмотря на достаточно высокую стоимость оборудования. Такой рост обусловлен несомненными преимуществами перед другими методами: в способности за короткий промежуток времени выдавать большое количество информации о перемещении массива горных пород, в слежении за состоянием массива 24 ч в сутки в любую погоду, в высокой точности наблюдений и т.д. Приведены данные о зафиксированных обрушениях в карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК», а также интерпретация полученных данных измерений.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, карьер, геомеханический мониторинг, деформации массива горных пород, радар.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-40-46

Большое количество месторождений полезных ископаемых обрабатывается открытым способом. Увеличиваются размеры карьеров в плане, а также глубина ведения горных работ.

Вопрос устойчивости уступов и бортов в целом становится актуальным с начала отработки месторождения открытым способом и не теряет свою актуальность даже после закрытия карьера или перехода на подземную отработку. Не является исключением и карьер рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» в особенности потому, что на сегодняшний день около 30% контура карьера сформировано бортами с вертикальными уступами [1].

С точки зрения масштабов областей деформирования и разрушения массива горных пород иерархично-блочной структуры и форм потери устойчивости контролируемых объектов, можно выде-

лить региональный и локальный уровни проявлений геомеханических процессов.

Соответственно формам геомеханических проявлений и размерам контролируемых областей массива должна соответствовать иерархичная система геомеханического мониторинга состояния массива пород и промышленных объектов [2–5].

К региональным системам мониторинга можно отнести традиционные методы геодезии, методы космической геодезии и космические радарные измерения. А к локальным: методы наземного лазерного сканирования и геометрического нивелирования (в масштабах 1–2 уступов), а также наземные радарные измерения.

Принцип работы радара основан на измерении времени прохождения радиоволны от источника до объекта мониторинга. Точность, заявленная произ-

водителями оборудования, составляет 0,1 мм, но стоит учесть, что такая высокая точность соответствует проведению измерений в идеальных условиях.

Основным преимуществом радаров по сравнению с другими системами мониторинга является их способность следить за состоянием массива 24 ч в сутки в любую погоду, невзирая на осадки (снег, дождь, град, туман) или плохую видимость в карьере, вызванную пылью, выхлопными газами и т.п. Программное обеспечение радара способно за короткое время проанализировать большой объем данных о состоянии массива и при необходимости выдать предупреждение об эвакуации персонала.

Все существующие радары можно установить либо стационарно, либо на

мобильной платформе. Они различаются по дальности действия (максимальная дальность 5000 м), углам съемки, размеру пикселя и т.д. Инструменты также делятся на радары с реальной апертурой и синтезированной апертурой.

Производителями радаров являются 3 фирмы: Reutech Mining (ЮАР, официальным дистрибьютором в России является компания ВИСТ Групп), Ground Probe (Австралия) и IDS (Италия, официальным дистрибьютором в России является компания Hexagon Geosystems).

В 2014 г. АО «Ковдорский ГОК» стационарно установил на контуре карьера рудника «Железный» 2D радар с синтезированной апертурой IBIS FM [6–11] фирмы IDS в контейнерном исполнении. Дальность действия от 10 до 4000 м. Раз-

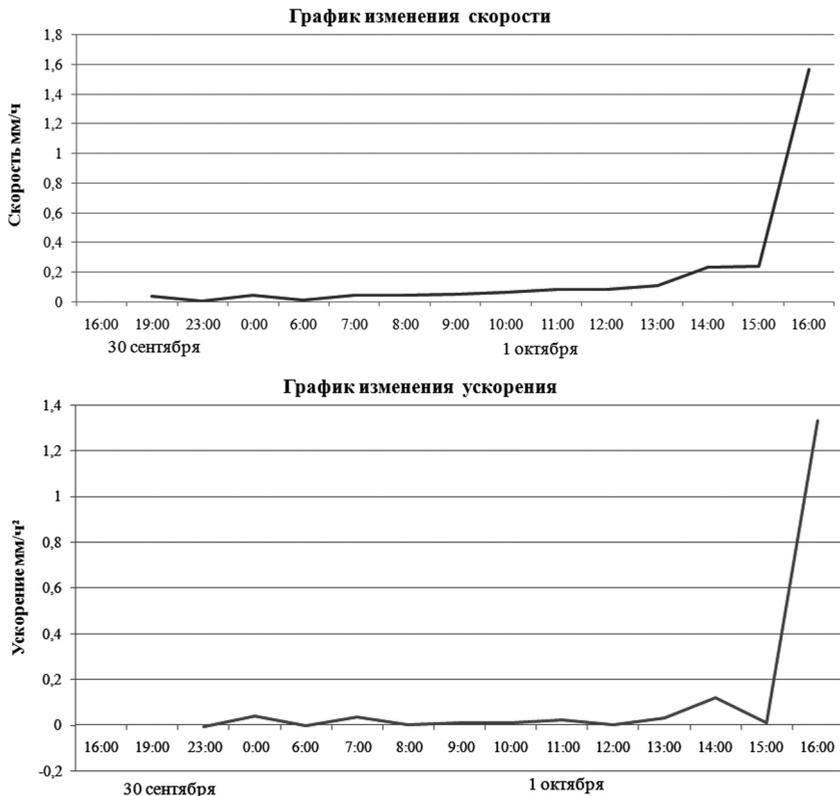


Рис. 1. Графики изменения скорости и ускорения во времени (обрушение 1 октября 2014)  
Fig. 1. Curves of velocity and acceleration variation in time (rock fall on October 1, 2014)

мер пикселя 4,4 м на 0,75 м (при удалении на 1000 м) и 8,8 м на 0,75 м (при удалении на 2000 м). Рабочие температуры окружающей среды в контейнерном исполнении от  $-50^{\circ}$  до  $+55^{\circ}$  [12].

За время работы в область работы радара попало 2 обрушения объемами 500 и 100 000 м<sup>3</sup>.

Первое обрушение произошло 1 октября 2014 г. на восточном участке борта (гор. +10 м; -20 м), объем обрушения составил 500 м<sup>3</sup>.

По данным о предшествующих перемещениях радара IBIS были рассчитаны значения скоростей и ускорений и построены графики (рис. 1). В соответствии с выводами «Службы мониторинга устойчивости уступов» (СМУУ ГУ) причинами обрушения стали: высокая степень

обводненности скального массива, воздействие на массив энергии массовых взрывов и неблагоприятное сочетание двух систем трещин.

На рис. 1 стоит обратить внимание на значение скорости и ускорения в 14:00 1 октября. В этот момент произошло резкое увеличение ускорения и соответственно скорости. Ускорение увеличилось с 0,03 до 0,12 мм/ч<sup>2</sup>, а скорость от 0,11 до 0,23 мм/ч. После этого скорость не уменьшилась и через 2 ч произошло обрушение.

Второе обрушение произошло 24 августа 2015 г. на восточном участке борта (гор. +70 м; -35 м), объем обрушения составил около 100 000 м<sup>3</sup>. По данным о перемещениях также были рассчитаны значения скоростей и ускорений

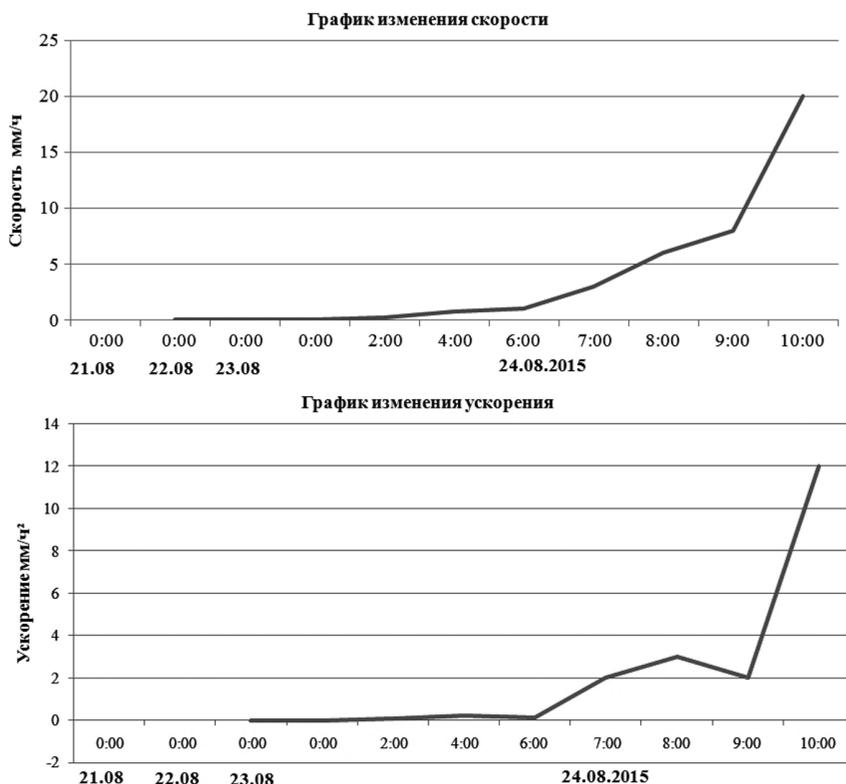


Рис. 2. Графики изменения скорости и ускорения во времени (обрушение 24 августа 2015)  
Fig. 2. Curves of velocity and acceleration variation in time (rock fall on August 24, 2015)

(рис. 2). В соответствии с выводами СМУУ ГУ причиной обрушения стало несоответствие параметров уступа физико-механическим и инженерно-геологическим характеристикам массива в пределах данного участка борта.

На рис. 2 необходимо обратить внимание на область, соответствующую 7 ч 24 августа. В этот момент, как и в первом случае, произошло резкое увеличение ускорения и скорости. Ускорение увеличилось с 0,13 до 2 мм/ч<sup>2</sup>, а скорость от 1 до 3 мм/ч. После этого скорость развития процесса стала возрастать до момента обрушения, которое наступило через 4 ч.

07 сентября 2017 г. в рабочую область радара попал еще один участок

восточного борта карьера (гор. +95; +70) с зафиксированной потерей устойчивости. Суммарное смещение массива, на сегодняшний момент, составило 94,18 мм.

Необработанные данные представляют собой массив чисел в который входит дата и время съемки, и соответствующее значение перемещений. Радар производит измерение 1 раз в 2 мин и за весь период съемки сделал около 65 000 измерений. Данные были отфильтрованы, и был выбран период измерений 1 раз в час. После этого рассчитывались скорости и ускорения (рис. 3).

Наибольшее значение скорости были зафиксированы 11 сентября в 14:00 и составило 1,04 мм/ч, а соответствующее

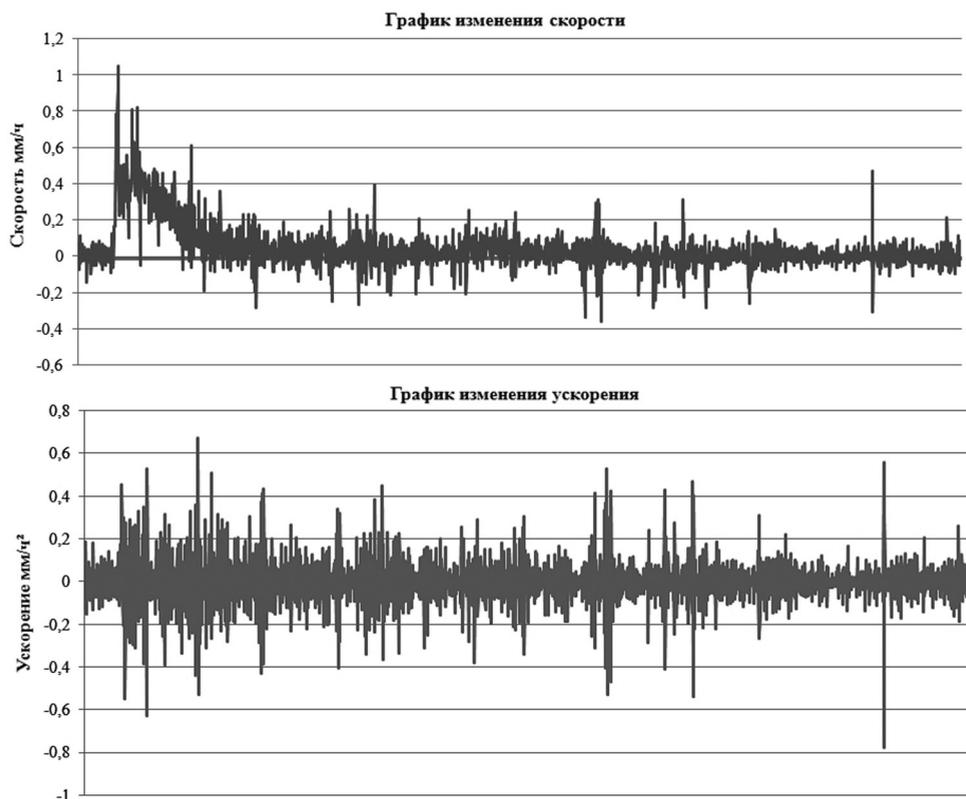


Рис. 3. Графики изменения скорости и ускорения во времени (восточный участок борта гор. +95 м; +70 м)

Fig. 3. Curves of velocity and acceleration variation in time (east pit wall levels +95 m; +70 m)

значение ускорения равно 0,11 мм/ч<sup>2</sup>. После этого процесс смещения постепенно замедлялся. На сегодняшний день наблюдаются небольшие смещения в пределах точности инструмента, причем эти смещения колеблются от положительных к отрицательным, это может быть вызвано различными факторами, в том числе и климатическими, однако процесс может возобновиться. Для фиксации вероятного процесса обрушения необходимо выставить предельные значения скорости смещения.

В качестве выводов стоит отметить, что массив горных пород, слагающий борт карьера, представляет собой иерархично-блочную среду, свойства которой определяются физико-механическими свойствами пород, масштабами структурных неоднородностей, степенью обводненности и т.д. Предельные значения параметров деформирования необходимо подбирать для каждого случая потери устойчивости в зависимости от конкретных определяющих факторов. Также на выбор предельных значений

может повлиять и объем вероятного обрушения.

Выполнен анализ двух зафиксированных случаев обрушений (1 октября 2014 г. и 24 августа 2015 г.) по 3 критериям — величинам перемещений, скоростей и ускорения. Полученные результаты показали, что за несколько часов до обрушения скорость движения массива существенно увеличивается (в 2 и более раз) и в дальнейшем продолжает увеличиваться до момента обрушения. В первом случае значение скорости увеличилось от 0,11 до 0,23 мм/ч, а во втором случае от 1 до 3 мм/ч.

Для потенциально опасного участка борта (восточный участок борта гор. +95 м; +70 м) максимальное значение скорости было зафиксировано 11 сентября в 14:00 и составило 1,04 мм/ч, а соответствующее значение ускорения 0,11 мм/ч<sup>2</sup>. При прогнозе дальнейшего состояния данного участка и начала обрушения в качестве исходного порогового значения рекомендуется принять величину скорости равную 1,1 мм/ч.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев А. А., Решетняк С. П., Каспарьян Э. В., Рыбин В. В., Кампель Ф. Б. Обоснование рациональной конструкции конечного борта карьера рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2004. — № 3. — С. 243–250.
2. Каспарьян Э. В., Кожуховский А. В., Розанов И. Ю. Опыт организации мониторинга устойчивости бортов и уступов карьера // Известия вузов. Горный журнал. — 2015. — № 5. — С. 67–74.
3. Розанов И. Ю., Достовалов Р. Н., Кузнецов М. А. Опыт применения GNSS и светодальномерных наблюдений для изучения деформаций массива горных пород в карьере рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 56. — С. 183–191.
4. Розанов И. Ю., Кузнецов М. А., Достовалов Р. Н. Опыт применения методов космической геодезии для геомеханического мониторинга массивов горных пород при открытых горных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 4. — С. 100–106.
5. Каспарьян Э. В., Козырев А. А., Иофис М. А., Макаров А. Б. Геомеханика: Учебное пособие. — М.: Высшая школа, 2006. — 503 с.
6. Mitri H., Vennes J. Rock slope surface monitoring technologies with focus on ground-based synthetic aperture radar / Proceedings mine planning and equipment selection. Switzerland, 2014.
7. Pieraccini M. Real beam vs. Synthetic aperture radar for slope monitoring / Proceedings progress in electromagnetics research symposium proceedings. Stockholm, Sweden, Aug. 12–15, 2013.

8. Atzeni C., Barla M., Pieraccini F., Antolini A. Early warning monitoring of natural and engineered slopes with Ground Based Synthetic Aperture Radar // Roc. Mech. Roc. Eng, 2015, vol. 48, Issue 1, pp. 235–246, Springer.

9. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Ricci P. IBIS-M, Innovative radar for monitoring slopes in open-pit mines / Proceedings, Slope Stability 2011: International symposium on rock slope stability in open pit mining and civil engineering. Vancouver, Canada (September 18–21, 2011).

10. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Coli N., Helbawi A. Monitoring open pit slopes through slope monitoring radar based on synthetic aperture radar / Proceedings Rock-Eng 2012 21st Canadian Rock Mechanics Symposium. Edmonton (AB), Canada. May 5–9, 2012, 6 pp.

11. Farina P., Coli N., Yon R., Eken G., Ketizmen H. Efficient real time stability monitoring of mine walls: the Çöllolar Mine case study / Proceedings of 23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey, 16–19 April 2013, Antalya, Turkey.

12. <http://geosystems.ru/shop/Sistemymonitoringastabilnostiustupov/radar-dlya-monitoringa-stabilnosti-ustupov-ibis/fm/> **ИДБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Розанов Иван Юрьевич – младший научный сотрудник,  
Горный институт Кольского научного центра РАН,  
e-mail [ivan-rozanov@yandex.ru](mailto:ivan-rozanov@yandex.ru),

Завьялов Александр Александрович – начальник службы мониторинга  
устойчивости уступов, АО «Ковдорский ГОК»,  
e-mail: [aleksander.zavyalov@eurochem.ru](mailto:aleksander.zavyalov@eurochem.ru).

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 7, pp. 40–46.

## Application of IBIS FM radar to pit wall monitoring at Zhelezny open pit mine of Kovdor Mining and Processing Plant

Rozanov I.Yu., Junior Researcher, e-mail [ivan-rozanov@yandex.ru](mailto:ivan-rozanov@yandex.ru),  
Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,  
184209, Apatity, Russia.

Zavyalov A.A., Chief of Service of Monitoring of Slope Stability,  
JCC «Kovdorsky GOK», Kovdor, Murmansk region, Russia,  
e-mail: [aleksander.zavyalov@eurochem.ru](mailto:aleksander.zavyalov@eurochem.ru).

**Abstract.** Radars have found relatively recent application in Russia, round the last 4 years. Today this monitoring approach becomes increasingly more employed despite sufficiently expensive equipment. Such a boost is conditioned by the decisive advantages of the approach over the other methods: it provides extensive evidence on rock mass movement for a short time, allows rock mass surveillance for 24 hours a day in any weather, ensures high observation accuracy, etc. This article presents the data on two cases of rock falls recorded in Zhelezny open pit mine of Kovdor Mining and Processing Plant by IVIS FM radar manufactured by IDS, Italy. The field observation results were analyzed, and the peak values of velocities and accelerations were determined. Based on the available information, the recommendations on setting limit deformation parameters for potentially hazardous areas of pit wall are made.

**Key words:** open pit mining, open pit, geomechanical monitoring, deformation of rock mass, radar.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-40-46

## REFERENCES

1. Kozyrev A.A., Reshetnyak S.P., Kaspar'yan E.V., Rybin V.V., Kampel' F.B. Obosnovanie ratsional'noy konstruktсии konechnogo borta kar'era rudnika «Zheleznyy» OAO «Kovdorskiy GOK» [Substantiation of the rational design of the final side of the open pit mine «Zheleznyy» JSC «Kovdorsky GOK»]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2004, no 3, pp. 243–250. [In Russ].

2. Kaspar'yan E. V., Kozhukhovskiy A. V., Rozanov I. Yu. Opyt organizatsii monitoringa ustoychivosti bortov i ustupov kar'era [Organization experience of open pit walls and benches stability monitoring]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2015, no 5, pp. 67–74. [In Russ].

3. Rozanov I. Yu., Dostovalov R. N., Kuznetsov M. A. Opyt primeneniya GNSS i svetodal'nomernykh nablyudeniya dlya izucheniya deformatsiy massiva gornyx porod v kar'ere rudnika «Zheleznyy» AO «Kovdorskiy GOK» [Experience of GNSS and optical distance observations application to study the deformation of the rock mass in the open pit mine «Zheleznyy» JSC «Kovdorskiy GOK»]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. CB 56, pp. 183–191. [In Russ].

4. Rozanov I. Yu., Kuznetsov M. A., Dostovalov R. N. Opyt primeneniya metodov kosmicheskoy geodezii dlya geomekhanicheskogo monitoringa massivov gornyx porod pri otkrytykh gornyx rabotakh [Experience of using satellite geodesy techniques for geomechanical monitoring of rock mass in open pit mining]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 4, pp. 100–106. [In Russ].

5. Kaspar'yan E. V., Kozyrev A. A., Iofis M. A., Makarov A. B. *Geomekhanika: Uchebnoe posobie* [Geomechanics: Educational aid], Moscow, Vysshaya shkola, 2006, 503 p.

6. Mitri H., Vennes I. Rock slope surface monitoring technologies with focus on ground-based synthetic aperture radar. *Proceedings mine planning and equipment selection*. Switzerland, 2014.

7. Pieraccini M. Real beam vs. Synthetic aperture radar for slope monitoring. *Proceedings progress in electromagnetics research symposium proceedings*. Stockholm, Sweden, Aug. 12–15, 2013.

8. Atzeni C., Barla M., Pieraccini F., Antolini A. Early warning monitoring of natural and engineered slopes with Ground Based Synthetic Aperture Radar. *Roc. Mech. Roc. Eng*, 2015, vol. 48, Issue 1, pp. 235–246, Springer.

9. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Ricci P. IBIS-M, Innovative radar for monitoring slopes in open-pit mines. *Proceedings, Slope Stability 2011: International symposium on rock slope stability in open pit mining and civil engineering*. Vancouver, Canada (September 18–21, 2011).

10. Farina P., Leoni L., Babboni F., Coppi F., Mayer L., Coli N., Helbawi A. Monitoring open pit slopes through slope monitoring radar based on synthetic aperture radar. *Proceedings RockEng 2012 21st Canadian Rock Mechanics Symposium*. Edmonton (AB), Canada. May 5–9, 2012, 6 pp.

11. Farina P., Coli N., Yon R., Eken G., Ketizmen H. Efficient real time stability monitoring of mine walls: the Çöllolar Mine case study. *Proceedings of 23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey*, 16–19 April 2013, Antalya, Turkey.

12. <http://geosystems.ru/shop/Sistemymonitoringastabilnostiustupov/radar-dlya-monitoringa-stabilnosti-ustupov-ibis-fm/>



---

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

---

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ В ГОРНОЙ ТЕХНИКЕ

(№ 1131/07-18, 1132/07-18 от 21.05.2018 г.; 7 с.)

Слободняк Т.М. — кандидат технических наук, доцент, НИТУ «МИСиС»,

Никитина О.А. — кандидат технических наук, доцент,

Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова.

Исследована возможность применения планетарных редукторов 2К-Н в приводе ленты прицепного ленточного перегружателя проходческого комбайна.

Ключевые слова: цилиндрический редуктор, планетарная передача, долговечность подшипника качения.

## PLANETARY GEARS DESIGN FOR MINING MACHINES

Slobodnyak T.M., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia,

Nikitina O.A., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Magnitogorsk, Russia.

2W-D planetary reducers possibility of using in drive of a tape of the hook-on tape loading crane in paper is investigated.

Key words: cylindrical reducer, planetary gear, durability of rolling bearing.