

References

7. *Rekomendatsii po krepeleniyu gornykh vyrabotok na shakhte «Izvestnyakov» rudnika «Kayerkanskiy» Zapolyarnogo Filiala Otkrytogo Aktsionernogo Obschestva «Gorno-Metallurgicheskiy Kombinat «Norilskiy nikel»* (Recommendations for mine working support on Izvestnyakov mine (Kayerkanskiy mine) of the Polar Division of MMC «Norilsk Nickel»). Norilsk, 2011. (in Russian)
8. *SNiP II-94-80. Podzemnye gornye vyrabotki* (Sanitary rules and regulations II-94-80. Underground mine workings). Moscow : Stroyizdat, 1982. (in Russian)
9. Oparin V. N., Tapsiev A. P., Bogdanov M. N., Badtiev B. P., Kulikov F. M., Uskov V. A. *Sovremennoe sostoyanie, problemy i strategiya razvitiya gornogo proizvodstva na rudnikakh Norilsk* (Modern state, issues and development strategy of mining on Norilsk mines). Novosibirsk : Publishing House of Siberian Department of Russian Academy of Sciences, 2008. 372 p.
10. Karelin V. N., Marysyuk V. P., Sergunin M. P., Nagovitsin Yu. N., Tapsiev A. P. *Opyt vnedreniya sistem razrabotki s primeneniem samokhodnogo oborudovaniya na rudnike «Zapolyarnyy»* (Experience of implementation of mining systems with application of mobile equipment at Zapolyarnyy mine). *Fundamentalnye problemy formirovaniya tekhnogennoy geosredy*. Novosibirsk : Institute of Mining of Siberian Department of Russian Academy of Sciences, 2010. Tom II. Geotekhnologiya (Fundamental problems of formation of anthropogenic geologic environment. Volume II. Geotechnology). pp. 278–283.
11. Borshch-Komponiets V. I., Kraynev B. A., Loginskiy A. P. et al. *Otsenka vliyaniya treshchi-novatosti na ustoychivost massivov gornykh porod* (Assessment of influence of rock jointing on rock mass stability). *Gornyy Zhurnal = Mining Journal*. 1980. No. 10.

УДК 622.273.218

В. П. МАРЫСЮК, А. А. КИСЕЛЬ (ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)
А. А. АНДРЕЕВ, В. И. ХУЦИШВИЛИ (ОАО «ВНИМИ»)

ОСОБЕННОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ОБНАЖЕНИЕМ БУТОБЕТОННОГО МАССИВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ УДАРООПАСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*



В. П. МАРЫСЮК,
главный инженер Центра
геодинамической безопасности,
канд. техн. наук



А. А. КИСЕЛЬ,
ведущий специалист отдела
совершенствования технологии
горных работ Центра
геодинамической безопасности



А. А. АНДРЕЕВ,
зав. Норильским сектором
лаборатории рудных
и нерудных месторождений



В. И. ХУЦИШВИЛИ,
старший научный сотрудник

Разработка Талнахского и Октябрьского месторождений осуществляется в особо сложных горно-геологических условиях, характеризующихся явно выраженной блоковой структурой, наличием тектонических нарушений различных порядков, сильной трещиноватостью, сложным напряженно-деформированным состоянием (НДС), при которых неизбежно возникают инциденты,

Представлены исследования и разработанные по их результатам рекомендации по формированию и поддержанию искусственных бутобетонных закладочных массивов при их вскрытии (обнажении) горными выработками в удароопасных условиях подземной разработки Талнахского и Октябрьского месторождений, характеризующихся блоковой структурой, наличием тектонических нарушений, сильной трещиноватостью и сложным НДС массива горных пород.

В целях обеспечения прочности и устойчивости обнажений при их вскрытии горными выработками рекомендовано применение химических добавок (пластификаторов) в составе твердеющих смесей, а также различные виды закрепления бутобетонного массива (анкеры, рамочная крепь из спецпрофиля, затяжка кровли).

Ключевые слова: удароопасные условия, обрушение пород, структура навалов, фильтрующие свойства, твердеющая закладочная смесь, пластификаторы, бутобетонный массив, качество, устойчивость обнажений, вскрытие выработками, крепление.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.16>

связанные с обрушением пород. В процессе ликвидации куполов, образованных обрушением кровли подготовительных, нарезных и очистных горных выработок, в зону обрушения подают твердеющую закладочную смесь, которая формирует так называемый бутобетонный массив. В дальнейшем возникают проблемы обеспечения устойчивости обнажений горных выработок при вскрытии

* В работе принимал участие специалист I категории Центра геодинамической безопасности ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» Н. К. Тухватуллин.

ими обрушенных пород, пропитанных закладочным бетоном, что потребовало исследований свойств бутобетонного массива.

У крупненно обрушения можно разделить на две группы — произошедшие в результате динамического проявления горного давления и другие. В зависимости от этого форма и характеристика навала кусков горной массы могут различаться, что связано с различной динамикой процесса обрушения. Обрушения второй группы (не связанные с динамическим проявлением горного давления) происходят при несоответствии паспорта крепления фактической горно-геологической и горнотехнической ситуации и имеют стихийный, практически управляемый характер. Породы кровли или боков разрушаются по трещинам как естественного, так и техногенного происхождения; размеры «бутов» (кусков) и структура навала обрушенных пород зависят в первую очередь от степени и характера трещиноватости пород, окружающих аварийную выработку, и определяются формой и размерами элементарных блоков, слагающих эти породы [1].

При обрушении слаботрещиноватых пород их куски имеют крупные размеры (0,5 м и более), а навал характеризуется большим числом пустот. При обрушении сильнотрещиноватых пород куски имеют относительно небольшие размеры (5–10 см), а структура навала характеризуется более плотной «упаковкой». В этом случае снижаются фильтрационные свойства навала, и при подаче в него закладочной смеси (ЗС) возможно образование незаполненных пустот либо пустот, заполненных наиболее жидкой водонасыщенной частью ЗС, что снижает сцепление между бутами после ее затвердевания и устойчивость обнажений бутобетонного массива. При слоистой структуре пород в кровле выработки обрушившиеся из нее куски имеют форму плит толщиной, соответствующей мощности слоев, ограниченных по горизонтали размерами, соответствующими расстояниям между вертикальными трещинами в кровле.

Кроме трещиноватости, на распределение фракций в навале горной массы влияет также кинематика обрушения. Так, в начальной стадии обрушения при падении кусков горной массы с высоты кровли или верхней части боков/стенок в результате удара о почву выработки крупные куски горной массы подвергаются разрушению, которое усугубляется последующими ударами падающей вслед за ними породы. Далее падение кусков происходит на породную «подушку», которая гасит энергию удара, в результате чего независимо от исходной трещиноватости пород на почве обрушившейся выработки будет располагаться слой наиболее мелко раздробленных пород, а размеры кусков в средней и верхней частях навала будут соответствовать (или близки) степени их трещиноватости. В связи с тем, что при нединамических обрушениях на горную породу воздействует только гравитационная сила, основной объем обрушившихся пород располагается непосредственно под зоной вывала (рис. 1, а).

Обрушения, связанные с динамическими проявлениями горного давления, характерны исключительно для зоны опорного давления — полосы шириной около 40 м впереди фронта очистных работ. При этом наибольшее давление, а следовательно, и риски обрушения пород в выработках возникают на стыке зон

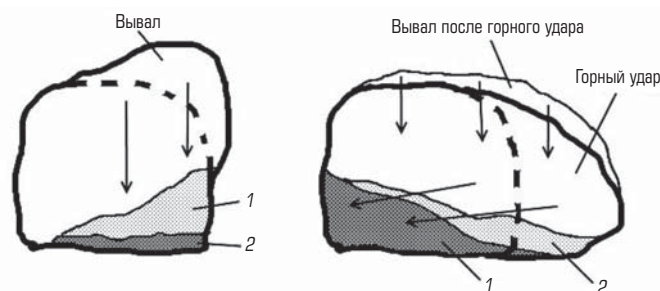


Рис. 1. Форма и структура навала в выработке в результате нединамического (а) и после горного удара (б) обрушения горной массы:

1 — мелкодробленая горная масса; 2 — куски горной массы естественного размера

упругого и пластического состояния руды, впереди фронта очистных работ на расстоянии одного-двух пролетов очистной выработки в так называемой зоне максимума опорного давления [2].

Разгрузка накопленных упругих напряжений в динамической форме (микроудар, горный удар) проявляется в виде хрупкого разрушения приконтурного массива с выбросом мелкодробленых пород на значительное расстояние. Куски обрушенной горной массы, как правило мелкоплитчатой, зачастую изогнутой формы, располагаются на некотором удалении от зоны вывала. При расположении гипоцентра горного удара в боку выработки основной объем горной массы будет концентрироваться у противоположного бока этой выработки.

Основные последствия динамического явления — существенное увеличение сечения выработки и, как правило, нарушение крепления [3]. Кроме того, реализация упругих напряжений обуславливает разгрузку прилегающего массива горных пород, создавая при этом условия для последующего обрушения пород в нединамической форме. Таким образом, после динамического явления формируется значительная толща навала мелкодробленых пород, покрытых слоем кусков среднего размера (рис. 1, б).

Кроме горно-геологических и геомеханических условий, на свойства бутобетонного массива влияют также горнотехнические и технологические факторы. Так, выработки со сводчатой формой кровли более устойчивы к вывалам; обрушение вмещающих пород в выработку с таким сечением возможно либо от геодинамических воздействий, либо при несоответствии паспорта крепления фактическим горно-геологическим и горнотехническим условиям. Такие параметры выработок, как высота, ширина, угол наклона, также влияют на возможность образования вывала, форму навала горной массы и его структуру. С увеличением высоты падения кусков горной массы образующийся навал будет иметь более выраженное разделение (сегрегацию) на фракции. Увеличение параметров выработки (ее сечения) увеличивает вероятность образования масштабных вывалов и, как следствие, более крупных объемов обрушенной горной массы.



Рис. 2. Обнаженный бутобетон в западном боку заезда на ленту 227 рудника «Октябрьский» с образованием купола

При обрушении участков выработок, закрепленных тем или иным видом крепи, навал горной массы пополняется различными элементами (материалами) разрушенного крепления — металлическими стержнями и балками, лесоматериалами, фрагментами бетонных изделий и др., наличие которых в формируемом бутобетонном массиве создает скрепляющий эффект и в целом упрочняет его [4, 5].

Таким образом, образованный обрушенной горной массой и пропитанный закладочным бетоном массив обладает следующими свойствами:

- весьма неоднородный по вертикальному разрезу состав с концентрацией мелких кусков горной массы, преимущественно в нижней части массива;
- пространственная форма навала кусков горной массы, как правило, представляет собой конус либо его сектор, что снижает его сцепление с вышерасположенным закладочным массивом;
- неравномерность и непредсказуемость пространственного распределения объемов кусков горной массы;
- существенные различия размеров кусков горной массы — от первых сантиметров до нескольких метров — как в различных обрушениях, так и в пределах одного;
- высокая вероятность пустот, образованных при проникновении закладочной смеси в навал обрушенной горной массы;
- более низкие в сравнении с кубиковыми физико-механические свойства закладочной смеси, проникшей в пространство между кусками навала горной массы: в первую очередь свободное пространство заполняет вода, при этом теряется требуемое для данной марки бетона соотношение вода/цемент.

Эти специфические свойства определяют значительные различия в условиях поддержания обнажений и требуют индивидуального подхода к обеспечению устойчивости обнажения в каждом конкретном случае с учетом размеров кусков горной массы, их ориентации в закладочном массиве, мощности бутовой части массива и т. д. [6]. Для уточнения свойств бутобетонного массива в 20 выработках рудников «Октябрьский», «Таймырский» и

«Комсомольский» были проведены наблюдения распределения закладочной смеси в межбутловом пространстве реальных бутобетонных массивов. Шахтные исследования показали, что средние значения пределов прочности межбутловой закладки на сжатие составляли от 1 до 3,9 МПа, при марочной прочности проектной закладки 3 МПа.

Инструментально подтверждена неравномерность распределения прочности бетона по объему межбутлового пространства: прочность, определенная в средних точках бутобетонного массива, практически во всех случаях ниже, чем в точках, расположенных по контуру. Это является следствием фильтрующих свойств горной массы, когда частицы цемента задерживаются во внешних слоях бутовой части навала горной массы, а в центральную часть проникает обедненная связующим смесь. Толщина задерживающего слоя составляет около 1–1,5 м, а разница в прочности смежных точек достигает 0,5 МПа.

Кроме того, наблюдениями установлены случаи недостаточной равномерной пропитки бетонной смесью обрушенных пород. Например, в обнажении бутобетона в западном боку заезда на ленту 227 рудника «Октябрьский» выделен интервал, на котором между кусками горной массы отсутствует закладочный бетон, в результате чего в процессе проведения выработки образовался характерный «купол» (рис. 2). Еще более ярким примером является слоевой орт 11/8-бис, по мере проходки которого установлено постепенное снижение качества пропитки горной массы до такого низкого уровня, при котором она стала уже несвязанной и утратила способность сохранять устойчивость в обнажении. Проходку в таких неблагоприятных условиях пришлось остановить.

На базе Центра геодинамической безопасности (ЦГБ) были проведены специальные лабораторные исследования по определению предела прочности бутобетона на растяжение (разрыв) по контакту «бут—бетон». По результатам испытаний 10 образцов среднее значение предела прочности на разрыв составило 22 КПа, максимальное — 39 КПа, минимальное — 7 КПа (при прочности на сжатие 3 МПа). Проведена также серия экспериментов с целью определения заполняемости межбутлового пространства закладочной смесью. Исследования показали, что полное заполнение межбутловых пространств с образованием бутобетона цельномонolitной структуры происходит при размерах бутов не менее 30 мм. При наличии в навале более мелких бутов (20 мм и менее) заполнение пустот становится неполным и весьма неравномерным, вследствие ухудшения фильтрационных свойств навала, что приводит к формированию бутобетона нецельномонolitной структуры, весьма неустойчивой при последующем обнажении горными выработками.

Таким образом, бутобетонный массив, в отличие от традиционного закладочного, имеет ненормируемые физико-механические свойства. Образовавшиеся в результате обрушений навалы горной массы невозможно нормировать и стандартизировать как по форме, так и по составу. В связи с этим закладочный бетон, проникая сквозь куски горной массы, при подаче в горную выработку с навалом горной массы меняет свои нормативные па-

раметры и свойства, в результате чего бутобетонный массив имеет неоднородные прочностные свойства, а также пустоты из-за некачественной пропитки горной массы. Эти негативные характеристики подтверждены как лабораторными испытаниями, так и натурными наблюдениями в реальных шахтных условиях. По результатам исследований разработаны *рекомендации по креплению и поддержанию бутобетонного массива, обнаженного вскрывающей его горной выработкой*.

При расположении бутобетонного массива в кровле проектируемой выработки наиболее надежным решением является его отбойка из кровли. Возможность принудительного обрушения бутобетона из кровли зависит от высоты бутобетонного массива вскрывающей выработки. При этом суммарная высота выработки после обрушения должна обеспечивать возможность контроля состояния кровли. В противном случае бутобетонное обнажение в кровле необходимо не обрушать, а крепить. Так как бутобетонный массив представляет собой конгломерат пород, сцементированных закладочным бетоном, то для повышения надежности обнажений рекомендуется максимально использовать свойства такого массива. Как было установлено лабораторными испытаниями, прочность бутобетона на сжатие существенно превышает прочность на растяжение. Поэтому вполне оправданно и целесообразно трансформировать механические схемы в такие, при которых преобладают силы сжатия. Например, арка работает в основном на сжатие и передает на опоры не только вес (вертикальную нагрузку), но и распор — горизонтальное давление. Если для слоистых пород и традиционного закладочного массива наиболее устойчивой является плоская форма кровли, при которой обеспечивается целостность слоев, то для пород блочного строения (к которым относится и бутобетон) наиболее устойчивой будет сводчатая кровля горной выработки [7].

Виды и параметры крепления качественного и некачественного бутобетонного массива различны: если назначением крепи при качественном бутобетоне является повышение надежности в принципе устойчивого, но неоднородного массива, то некачественного бутобетона — обеспечение устойчивости неустойчивого неоднородного массива. Когда данные о качестве бутобетона отсутствуют, крепление необходимо выполнять, исходя из условий вскрытия некачественного бутобетонного массива.

Для удароопасных месторождений определен следующий перечень критериев качественного бутобетона: фактическая прочность на сжатие и на разрыв по контакту «бут—бетон»; наличие в межбутовом пространстве незаполненных пустот и их размеры; соответствие геометрических параметров бутобетона параметрам вскрывающей выработки и физико-механическим свойствам межбутовой закладки. Качественный состав бутобетона является индивидуальным для каждого случая его формирования, что требует определения его свойств при проектировании и проведении каждой отдельной горной выработки.

Для получения данных о качестве бутобетонного массива может быть использована информация из маркшейдерской документации (маркшейдерской съемки), актов расследования обрушений, фактического обнажения данного бутобетона другими гор-

ными выработками. Наиболее эффективным способом получения комплексной информации является выбуривание керна. Количество и глубина бурения керновых скважин зависит от размеров подлежащего вскрытию бутобетонного массива и определяется таким образом, чтобы максимальное расстояние между скважинами составляло не более 1,5 м, а высота зоны разбуривания охватывала минимально необходимую зону влияния проектной выработки.

При вскрытии выработкой качественного бутобетона, рекомендовано крепление кровли анкерами по сетке 1×1 м, с полной затяжкой межштангового пространства металлической решеткой. Глубину штанг определяют в зависимости от параметров проектируемой выработки, но не менее 1,8 м. При вскрытии бутобетона в боках выработки наиболее неблагоприятным фактором является наличие в нем больших слабосвязанных вертикальных плит размером более 2 м. Перед выполнением каких-либо работ в этих выработках необходимо провести визуальный осмотр и оценку возможности принудительного обрушения таких кусков, а при невозможности — выполнить его крепление анкерами по всей площади бута с сеткой штангования не более 1,5×1,5 м. В остальных случаях бока выработок допускается поддерживать без крепления.

При вскрытии выработкой явно некачественного бутобетона либо отсутствии данных о его качестве рекомендовано использование поддерживающих видов крепи со сплошной затяжкой, например арочной податливой крепи. Согласно расчету, расстояние между осями рам для арочной крепи КМП-А3 из спецпрофиля СВП-27 с конструктивной податливостью 300 мм составляет 1,25 м.

С целью повышения подвижности бетонного раствора и полноты заполнения межбутовых пустот, а также увеличения его сцепления с арматурой и заполнителем (бутами) рекомендовано проведение шахтных испытаний различных химических добавок (типа суперпластификатора С-3) в закладочную смесь, направляемую в навалы обрушений в горных выработках. По данным ГМОИЦ, положительные результаты по кинетике твердения ЗС и улучшение ее реологических свойств были получены при использовании С-3 в количестве 0,9 кг на 1 м³ смеси.

Библиографический список

1. Хомяков В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. — М.: Недра, 1984. — 224 с.
2. Бронников Д. М., Цыгалова М. Н. Закладочные работы в шахтах : справочник. — М. : Недра, 1989. — 400 с.
3. Потапенко В. А., Казанский Ю. В., Цыпляков Б. В. и др. Проведение и поддержание выработок в неустойчивых породах. — М. : Недра, 1990. — 336 с.
4. Мирзаев Г. Г., Протосеня А. Г., Огородников Ю. Н., Вхарев В. И. Крепь горных выработок глубоких рудников. — М.: Недра, 1984. — 252 с.
5. Каретников В. Н., Клейменов В. Б., Нуждихин А. Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок : справочник. — М. : Недра, 1989. — 571 с.

6. Грабчак Л. Г., Брылов С. А., Комашченко В. И. Проведение горно-разведочных выработок и основы разработки месторождений полезных ископаемых : учебник для вузов. — М. : Недра, 1988. — 566 с.
7. Гелескул М. Н., Каретников В. Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. — М. : Недра, 1982. — 479 с.

Марысюк Валерий Петрович,
тел.: +7 (3919) 49-15-34
Кисель Александр Анатольевич,
тел.: +7 (3919) 24-77-20
Андреев Александр Александрович,
Хуцишвили Владимир Иванович:
тел.: +7 (812) 327-21-22

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 6, pp. 80–84	
Title	Peculiarities of support of mine workings with exposed surfaces of cyclopean concrete under rockburst-hazardous mining conditions
DOI:	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.16
Author 1	Name & Surname: Marysyuk V. P.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Principal Engineer, Center for Geodynamic Safety
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: phone: +7 (3919) 49-15-34
Author 2	Name & Surname: Kisel A. A.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Chief Expert, Geotechnology Improvement Department, Center for Geodynamic Safety
Author 3	Name & Surname: Andreev A. A.
	Company: VNIMI (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Head of Norilsk Sector of Metalliferous and Nonmetalliferous Deposit Geomechanics Laboratory
Author 4	Name & Surname: Khutsishvili V. I.
	Company: VNIMI (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Senior Researcher
Abstract	<p>This work was accomplished with participation of N. K. Tuhvatullin, Category I Expert, Center for Geodynamic Safety, Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL”.</p> <p>The article describes the research and the related recommendations on support of man-made cyclopean concrete masses exposed by mining, for the rock-burst hazardous conditions of the Talnakh and Oktyabrsky deposits featuring block structure, faulting, well-developed joint systems and multiaxial stress-strain state.</p> <p>The authors give characteristics of rock piles inevitably resulting from rock falls, their structure (size distribution of rock fragments), shapes and volumes depending on geological, geomechanical and technical factors. On this basis, using the in-situ observation and lab testing data, the properties and conditions are determined for cyclopean concrete backfilling by means of feeding solidifying backfill underneath fallen-in rock piles. Criteria and estimation procedure for quality of cyclopean concrete mass are offered.</p> <p>In order to ensure strength and stability of cyclopean concrete surface exposed by mining, it is recommended to use chemical additives (plastifiers) in solidifying backfill mixtures and to employ various type support (rock bolts, special steel frame support, roof bracing).</p>
Keywords	Rockburst-hazardous conditions, rock falling, rock pile structure, filtering properties, solidifying backfill mixture, plastifiers, cyclopean concrete mass, quality, exposure stability, exposure by mining, support.
References	<ol style="list-style-type: none"> 1. Khomyakov V. I. <i>Zarubezhnyy opyt zakladki na rudnikakh</i> (Foreign experience of stowing operations on mines). Moscow : Nedra, 1984. 224 p. 2. Bronnikov D. M., Tsygalova M. N. <i>Zakladochnye raboty v shakhtakh : spravochnik</i> (Stowing operations in mines : reference book). Moscow : Nedra, 1989. 400 p. 3. Potapenko V. A., Kazanskiy Yu. V., Tsyplakov B. V. et al. <i>Provedenie i podderzhanie vyrabotok v neustoychivyykh porodakh</i> (Carrying out and maintenance of workings in unstable rocks). Moscow : Nedra, 1990. 336 p. 4. Mirzaev G. G., Protosenya A. G., Ogorodnikov Yu. N., Vkharev V. I. <i>Krep gornykh vyrabotok glubokikh rudnikov</i> (Support of mine workings of deep mines). Moscow : Nedra, 1984. 252 p. 5. Karetnikov V. N., Kleymenov V. B., Nuzhdikhin A. G. <i>Krepleniye kapitalnykh i podgotovitelnykh gornykh vyrabotok : spravochnik</i> (Support of permanent and development workings : reference book). Moscow : Nedra, 1989. 571 p. 6. Grabchak L. G., Brylov S. A., Komashchenko V. I. <i>Provedeniye gorno-razvedochnykh vyrabotok i osnovy razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh : uchebnyk dlya vuzov</i> (Carrying out of mining-exploration workings and basis of mineral deposits mining : tutorial for universities). Moscow : Nedra, 1988. 566 p. 7. Geleskul M. N., Karetnikov V. N. <i>Spravochnik po krepleniyu kapitalnykh i podgotovitelnykh gornykh vyrabotok</i> (Reference book on support of permanent and development workings). Moscow : Nedra, 1982. 479 p.