

ВЛИЯНИЕ ПОДРАБОТКИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПОДЗЕМНОГО ДРЕНАЖНОГО КОМПЛЕКСА НА ПРОЦЕССЫ ОСУШЕНИЯ КАРЬЕРА МИХАЙЛОВСКОГО ГОКА ИМ. А. В. ВАРИЧЕВА (КУРСКАЯ МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ)

В. В. Кушнерчук¹, В. В. Хаустов¹, Е. А. Ермолович¹, Л. А. Семенова², В. В. Симонян³

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

²Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

³Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация: Приведены результаты исследования подземного дренажного комплекса Михайловского железорудного месторождения. Осушение последнего в связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом. Выявлено, что в процессе постоянного развития фронта горных работ и углубления карьера часть подземных горных выработок подземного дренажного комплекса оказалась в зоне подработки. Решение о передаче горной выработки на погашение производится на основании анализа совмещения плана открытых и плана подземных горных работ. Установлены размеры охранных целиков около действующих и проектируемых подземных дренажных выработок. Оценены объемы работ по погашению дренажных выработок, подлежащих погашению в период 2023–2032 годов с учетом развития фронта горных работ в трех частях карьера МГОКа: центральной, соединительной и южной (северная часть карьера законсервирована). Разработаны и проанализированы различные варианты развития подземного дренажного комплекса в контексте воспроизводства дренажных горных выработок при производственной необходимости их погашения.

Ключевые слова: месторождение, подземные воды, подземный дренажный комплекс, подработка, погашение дренажных выработок, развитие дренажного комплекса

Для цитирования: Влияние подработки горных выработок подземного дренажного комплекса на процессы осушения карьера Михайловского ГОКа им. А. В. Варичева (Курская магнитная аномалия) / В. В. Кушнерчук, В. В. Хаустов, Е. А. Ермолович [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. 2024. №4. С. 47–55. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_47_55.

THE INFLUENCE UNDERMINING UNDERGROUND MININGS OF AN UNDERGROUND DRAINAGE COMPLEX ON THE DRAINAGE PROCESSES OF THE MIKHAILOVSKY GOK QUARRY NAMED AFTER A. V. VARICHEV (KURSK MAGNETIC ANOMALY)

V. V. Kushnerchuk¹, V. V. Khaustov¹, E. A. Ermolovich¹, L. A. Semenova², V. V. Simonyan³

¹Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation

²Southwestern State University, Kursk, Russian Federation

³National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

Abstract: The results of the study of the functioning of the drainage complex of the Mikhailovsky iron ore deposit are presented. Due to the significant size of the quarry field, as well as to reduce the volume of overburden, its drainage is carried out in a combined surface and underground way. It was revealed that in the process of constant development of the mining front and deepening of the quarry, part of the underground mining of the underground drainage complex turned out to be in the ended up in the undermining zone. The need to transfer mining operations for destruction arises when open-pit mining operations is approached at a distance equal to the size of the security pillar. The dimensions of the security pillars near the existing and projected underground drainage workings have been established. The volume of work on the repayment of drainage workings to be repaid in the period 2023–2032 has been estimated. taking into account the development of the mining front in three parts of the quarry: the central, connecting and southern (the northern part of the quarry has been mothballed). Various options for the development of an underground drainage complex have been developed and analyzed in the context of the reproduction of drainage mine workings with the production need for their destruction.

Keywords: deposit, groundwater, underground drainage complex, destruction of drainage workings, development of drainage complex

For citation: Kushnerchuk V. V., Khaustov V. V., Ermolovich E. A., et al. The influence undermining underground minings of an underground drainage complex on the drainage processes of the Mikhailovsky GOK quarry named after A. V. Varichev (Kursk magnetic anomaly). Mine Surveying and Subsoil Use. 2024;(4):47–55. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_47_55.

Введение

Михайловское месторождение железных руд локализовано на северо-западе Курской области и является одним из крупнейших подобных месторождений на Курской магнитной аномалии (КМА). Его промышленное освоение осуществляется открытым способом. Развитие карьера в пространственно-временном отношении требует эффективной работы системы осушения, которая должна обеспечить безопасные условия ведения вскрышных и добычных работ на расчетный период отработки месторождения, а также благоприятные условия эксплуатации горнодобычного и горнотранспортного оборудования, машин и механизмов.

Основные гидрогеологические особенности карьера Михайловского горно-обогатительного комбината (далее — МГОК) обусловлены наличием мощного осадочного чехла, перекрывающего месторождение, в котором выделены водоносные горизонты в песчаных отложениях четвертичной, меловой и юрской систем, в песчаных и карбонатных образованиях девонской системы [1]. В кристаллическом фундаменте прослеживается водоносная зона трещиноватости в архей-протерозойских изверженных и метаморфических породах. Выдержанная глинистая келловейская толща разделяет гидрогеологический разрез на два водоносных комплекса: надкелловейский комплекс, включающий безнапорные горизонты в четвертичных и меловых отложениях, и подкелловейский напорно-безнапорный комплекс водоносных горизонтов в батских, девонских и архей-протерозойских породах [2, 3]. В целом гидрогеологические условия месторождения характеризуются как сложные, а естественный режим подземных вод в пределах месторождения в результате мероприятий по его осушению существенно нарушен.

В связи со значительными размерами карьерного поля, а также для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом [4–6]. Сбор дождевых и паводковых вод осуществляется с помощью прибортовых дренажных канав, которые проходятся технологическими экскаваторами и поддерживаются в рабочем состоянии дизельными экскаваторами участка осушения. Водоносные горизонты верхнего комплекса — безнапорные, дренируются бортами карьера и гидрографической сетью. Водоносные горизонты подкелловейского комплекса осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы (подземный дренажный комплекс — далее ПДрК) [7–9].

В процессе постоянного развития фронта горных работ и углубления карьера подземные горные выработки ПДрК оказались в зоне подработки на большой протяженности, что самым негативным образом отражается на состоянии и эффективности функционирования системы осушения карьера в целом. В этой связи исследования гидрогеомеханических процессов в пределах функционирующего горного предприятия весьма актуальны.

Цель исследований — выявить влияние подработки горных выработок подземного дренажного комплекса на процессы осушения карьера Михайловского ГОКа.

Объект исследований

Длина карьера МГОКа по контуру вскрыши составляет 6,0 км, ширина — 2,6 км, глубина — 340 м, площадь достигла 15,6 км², а протяженность замкнутого кольца горных выработок дренажной шахты вокруг карьера составляет 20,1 км. Горные работы ведутся в трех карьерах: центральном, соединительном и южном; северный карьер законсервирован и используется для складирования окисленных кварцитов (рис. 1) (см. цветную вклейку на стр. 45).

Осушение карьера осуществляется системой подземных горных выработок ПДрК и пробуренных из них восстающих дренажных скважин (далее — ВДС). Подземные выработки представлены дренажными штреками, оконтуривающими карьер с внешней стороны, а также выработками, направленными внутрь контура, пройденные с уклоном 0,005. Внутриконтурные выработки предназначены в основном для отвода дренажных и карьерных вод, поступающих через дренажно-вентиляционные скважины, пробуренные с уступов карьера в подземные выработки от карьерного водоотлива и прибортовых дренажей к комплексам главного водоотлива, расположенным на горизонтах -20 м и -100 м. Устья дренажно-вентиляционных скважин оборудованы водоприемными устройствами и зумпами-отстойниками для очистки воды от механических примесей, осветления воды и уменьшения запесочивания скважин. С 2002 года запущены в работу водосбросный штрек и насосная станция на горизонте -100 м, которая перекачивает воду на горизонт -20 м. Дренажные воды из насосных ПДрК на горизонте -20 м поступают в коллектор перекачивающей насосной станции, расположенной у ствола шахты № 5. Перекачивающая насосная подает дренажные воды по трубопроводу в хвостохранилище (рис. 2).

Система подземных горных выработок ПДрК и пробуренных из них ВДС включает два вертикальных ствола, один наклонный ствол, штольню «Южный штрек № 5», водосбросные штреки, комплексы выработок водоотлива, камерные и вертикальные выработки различного назначения, расположенные на горизонтах -20 м и -100 м [1].

Ствол № 5 предназначен для спуска-подъема людей, спуска материалов и оборудования, выдачи породы и подачи свежего воздуха и оборудован клетевым подъемом с шахтной подъемной установкой ЦЗ × 2,2АР и лестничным отделением. Глубина ствола — 323,7 м, диаметр в свету — 4,5 м. Ствол № 6 предназначен для выдачи на поверхность исходящей струи воздуха северного крыла шахты и является запасным выходом. Ствол реконструирован и оснащен клетевым подъемом. Глубина ствола — 209,6 м, диаметр — 4,5 м. Наклонный ствол сечением 7,4 м² предназначен для спуска-подъема людей, материалов, оборудования и вентиляции, оборудован двумя шахтными подъемными установками Ц1,6 × 1,2. Ранее пройденные стволы № 1, 2, 3, 4 ликвидированы [7].

Южный штрек № 5 находится в юго-восточной части карьера и предназначен для выдачи на поверхность исходящей струи воздуха южного крыла шахты, а также в качестве запасного выхода.

Заглубленный карьерный водоотлив предусмотрен также на горизонте -225 м, чтобы обеспечить осушение Центрального карьера до проектной абс. отметки -180 м, а также позволит использовать его при заглублении карьера до абс. отметки -225 м и в дальнейшем для совместной его работы с открытым водоотливом. Заглубленный карьерный водо-

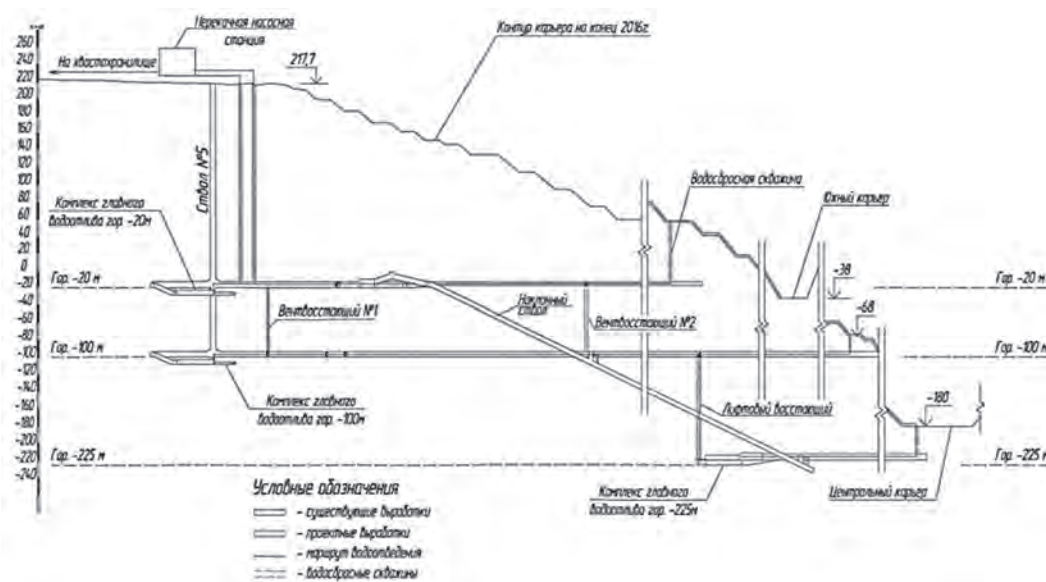


Рис. 2. Схема водоотведения
Fig. 2. Drainage scheme

отлив горизонта -225 м будет состоять из водоотливного комплекса и водоприемной выработки. Вскрытие горизонта -225 м производится уклоном -20 / -225 м, а также лифтово-ходовым восстающим -100 / -225 м (рис. 2). При этом общая длина выработок заглубленного карьерного водоотлива составит 1 740 м при объеме проходки 20 400 м³ [7].

Материал и методы исследований

Как уже отмечалось выше, горные работы, обеспечивающие требуемую выемку запасов, предполагают расширение карьера в северо-западном направлении; объединение Северного, Южного и Центрального карьеров с последующим углублением объединенного карьера [1, 4]. При этом в зоне подработки уже к 2024 году оказалось порядка 3 км подземных горных выработок ПДрК. Погашение этих выработок исключает в дальнейшем эффективный дренаж северо-западного борта карьера, что может повлечь за собой осложнения производства открытых горных работ, вплоть до их остановки.

Размеры охранных целиков около действующих и проектируемых подземных дренажных выработок определяются в зависимости от параметров массовых взрывов в карьере и с учетом геологического строения массива горных пород, прочностных свойств горных пород, пространственного расположения выработки относительно фронта буровзрывных работ, наличия и конструкции крепи горной выработки [10-13].

За норму сейсмостойкости горных выработок ПДрК МГОКа приняты нормы для вспомогательных (подготовительных) горных выработок, допускающие отдельные вывалы и отколы в кровле, поддающиеся удалению. Расчеты безопасных размеров охранных целиков выполняли по предельным параметрам скважинных зарядов ВВ в соответствии с методикой, приведенной в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» (с изменениями на 30 ноября 2017 года) [13].

В соответствии с п. 843 данных правил безопасные размеры охранных целика (толщина потолочины) при одновременном взрывании N зарядов со временем замедления между взрывами не менее 20 мс определена по формуле

$$r_c = \frac{K_r K_c \alpha}{N^{1/4}} Q^{1/3},$$

где r_c — размер целика (потолочина), м;
 K_r — коэффициент, зависящий от свойств грунта;
 K_c — коэффициент, зависящий от типа сооружения;
 α — коэффициент, зависящий от условий взрывания;
 Q — общая масса зарядов, кг;
 N — количество зарядов.

Вместе с тем следует иметь в виду, что валидация расчетных данных и достоверные сведения не могут быть получены без применения методов прямого (визуального) обследования состояния горных выработок ПДрК.

Результаты исследований

По предварительным оценкам, в зоне подработки уже к концу 2024 года может оказаться порядка 3 км подземных горных выработок ПДрК (рис. 3).



Рис. 3. Схема подземных горных выработок подземного дренажного комплекса с выделенной зоной подработки карьером Михайловского горно-обогатительного комбината (по состоянию на начало 2024 года)
Fig. 3. The scheme of underground mining of the Pr with a dedicated part-time work area by the quarry (as of the beginning of 2024)

Погашение этих горных выработок исключает в дальнейшем эффективный дренаж северо-западного борта карьера МГОКа.

Результаты расчетов значений безопасного размера цели-

ков в горных выработках с учетом крепости пород на основании исходных данных по ПДрК МГОК представлены в таблице 1. При расчете были выбраны следующие параметры: масса ВВ в одной скважине — 1 200 кг; общая масса зарядов (Q) — 10 800 кг; количество зарядов (скважин) — 9 шт.; коэффициент, зависящий от условий взрывания (α), — 0,5.

Таблица 1 / Table 1

Безопасный размер целиков
Safe size of pillars, m

Наименование горных выработок / Name of the mine workings	Категория крепости пород по шкале М. М. Протодьяконова / The category of rock strength on the scale of M. M. Protodyakonov	Значения коэф. Кг / Coefficient values	Безопасный размер целиков, м / Safe size of pillars, m
Западный штрек № 9 гор. -20 м	15–17	5	48
Западный штрек № 10 гор. -20 м	15–17	5	48
Обходная выработка северо-западного штрека гор. -20 м	10–15	5	48
Северо-западный штрек	9–11	5	48
Сбойка № 3 гор. -20 м	6–8	8	77
Северо-центральный штрек № 3 гор. -20 м	15–17	5	48
Северо-западный штрек № 2	15–17	5	48

Безопасный размер целиков должен уточняться с учетом количества применяемых зарядов и категории крепости пород. Из приведенных расчетов и планов расположения выработок ПДрК следует, что контурные действующие дренажные выработки находятся на сейсмобезопасном расстоянии и для них не требуется выполнения каких-либо специальных мероприятий. Внутрикатьерные же дренажные и водоотводящие выработки по мере развития горных работ в карьере оказываются в зоне сейсмического воздействия и требуют осуществления соответствующих мероприятий.

Таким образом, решение о передаче горной выработки на погашение производится на основании анализа совмещения плана открытых и плана подземных горных работ. Необходимость передачи горной выработки на погашение возникает при приближении открытых работ к горной выработке на расстояние, равное размеру охранного целика, рассчитанного по сейсмическому действию массовых взрывов в карьере [14–18].

Расчетные объемы работ по погашению дренажных выработок, подлежащих погашению в период 2023–2032 годов, приведены в таблице 2.

Погашение горных выработок происходит путем их обрушения буровзрывными работами в карьере, которые ведутся по отдельным проектам производства массовых взрывов. При составлении проектов массовых взрывов должны быть учтены размеры охранных целиков, попадающих в зону взрывных работ.

Таким образом, приведенными расчетами установлен объем горных выработок, подлежащих погашению в перспективе 2032 года — 6 415 п. м. Процесс погашения горных выработок ПДрК, безусловно, снижает эффективность дренажных процессов в целом, что требует их компенсационного воспроизводства.

Таблица 2 / Table 2

Объемы работ по погашению дренажных выработок
подземного дренажного комплекса
на период 2023–2032 годов
Scope of Works to Extinguish Drainage Workings
for the Period 2023–2032

Наименование выработок / Description of workings	Количество, п. м. / Quantity
Северо-центральный штрек № 3 гор. -20 м	257
Северный штрек № 4 гор. -20 м	60
Северный штрек № 11 гор. -20 м	58
Отстойник ВС-51	105
Западный штрек № 9 гор. -20 м	178
Отстойник ВС-30	53
Северо-западный штрек № 2 гор. -20 м	140
Отстойник ВС-31	102
Обходная выработка северо-западного штрека гор. -20 м	267
Северо-западный штрек гор. -20 м + бремсберг	772
Западный штрек № 10 гор. -20 м	400
Западный штрек № 13 гор. -20 м	278
Западный штрек № 14 гор. -20 м	120
Отстойник ВС-65	63
Отстойник ВС-91	122
Отстойник ВС-92	114
Сбойка № 3 гор. -20 м	138
Отстойник ВС-9	130
Отстойник ВС-32	124
Западный штрек № 8 гор. -20 м	111
Отстойник ВС-21	167
Западный штрек № 3 гор. -20 м	660
Южный штрек № 6 гор. -20 м	530
Южно-Центральный штрек гор. -20 м	99
Южный штрек № 9	162
Южный штрек № 16	110
Сбойка № 2 гор. -20 м	170
Западный штрек № 2	670
Добычной штрек	67
Сбойка № 3 гор. -20 м	161
Дренажная выработка № 9	27
Итого	6 415

Обсуждение результатов исследований

Технологическое и организационное обеспечение выполнения годовых планов МГОКа по добыче 50 млн тонн руды в год на период до 2032 год требует разработки и анализа вариантов развития ПДрК в контексте воспроизводства дренажных горных выработок при производственной необходимости их погашения.

Направление перспективного развития горных работ показывает, что существующая система осушения в целом сохраняется и может удовлетворительно функционировать вплоть до конечного этапа отработки карьера. Исключение составляет северо-западный борт карьера, границы которого на более поздних этапах отработки выходят за пределы существующего дренажного контура подземных горных выработок ПДрК [7]. При развитии горных работ в северо-западном направлении окажутся подработаны дренажные выработки на этом фланге, то есть на всем протяжении северо-запад-

ного борта, а также потребуется погашение части выработок северо-западного штрека на северном борту карьера (рис. 1, 3). Погашение этих выработок исключает в дальнейшем самотечный отвод дренажных вод с северо-западного борта карьера, что может повлечь за собой проблемы производства открытых горных работ, снижение качества разрабатываемых руд и пр. В связи со сложными горно-геологическими условиями, не позволяющими развивать горизонт -20 м в северо-западном направлении от ствола № 5, следует сосредоточиться на развитии инфраструктуры горизонта -100 м в этом же направлении, а именно создать дренажный контур от околоствольного двора ствола № 5 на горизонт -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на горизонт -20 м уклоном на квершлаг к стволу № 6.

Предлагаемые ниже варианты развития ПДРК в связи с подработкой карьером призваны обеспечить следующие обязательные условия для осуществления безопасной эксплуатации карьера и выемки требуемых объемов запасов.

Обязательные условия включают в себя:

- устойчивость бортов и транспортных берм карьера;
- обеспечение допустимой величины притоков подземных вод непосредственно к уступам карьера, при которых фильтрационные деформации последних исключаются;
- обеспечение общей фильтрационной устойчивости бортов карьера как в постоянном положении, так и при их разработке;
- предотвращение подтопления вскрышных и добычных уступов карьера;
- отвод воды с уступов карьера и достижение нормативной для принятого типа оборудования несущей способности пород;
- благоприятные условия эксплуатации горнодобычного и горнотранспортного оборудования, машин и механизмов;
- упорядоченный сбор и отвод дренажных вод за пределы карьера.

Вариант № 1 – проведение обходных горных выработок с горизонта -20 м. Вариант предусматривает проходку следующих горных выработок: западный-бис штрек, северный-бис штрек, сбойка западный – северный-бис штреков горизонта -20 м и северный штрек № 2-бис-1, северный штрек № 2-бис-2, северный штрек № 2-бис-3 на горизонт -20 м. Проходка указанных выработок позволит сохранить существующую схему водоотведения и выход к стволу № 6 (рис. 3).

Преимущества данного варианта заключаются в относительно небольшой протяженности горных выработок, проведении горных выработок (штреки северный № 2-бис-1, северный № 2-бис-2, северный № 2-бис-3) в условиях устойчивых кристаллических пород. Недостатки варианта обусловлены проведением горных выработок (штреки западный-бис, северный-бис, а также сбойка западный – северный-бис в зоне неустойчивых осадочных пород, и в этой связи наблюдается значительная трудоемкость проекта, требующая специальных способов проходческих работ и крепления горных выработок. Кроме этого, при проходке отмеченных выработок возникает технологическая сложность подсежки карьерных водосбросных скважин по причине сложных горно-геологических условий: необходимо разбирать крепления и взрывать сопряжения для проходки отстойников, что может привести к обрушению всей горной выработки, а также при перепуске воды по данным выработкам с риском переувлажнения пород и потери их устойчивости.

Данный вариант уже находился в производстве, однако при проходке участка выработки западного штрека-бис на отметке 240 м работы были приостановлены по причине проявления весьма неустойчивых пород, представленных чередованием глин, алевроитов и известняков с весьма обильным обводнением. Проходка указанного участка требует специального способа проведения горной выработки с замораживанием.

Ориентировочный срок реализации проекта – 10–12 лет.

Вариант № 2 – проведение горных выработок с горизонта -100 м. Предусматривается создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонт -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на ствол № 6, который потребует углубления на 67 м. Протяженность предлагаемой трассы контура дренажных выработок на горизонт -100 м без учета водосбросных выработок составит 5 400 м. Проектируемые выработки дренажного контура оборудуются камерами для бурения восстающих дренажных скважин, камерами вентиляционных скважин и пр. (рис. 3). Кроме этого, данный вариант предусматривает сооружение наклонного ствола с горизонта -20 м на горизонт -100 м на участке северо-западного штрека № 2 севернее сопряжения с северным штреком № 2-бис-1.

Увеличение притоков воды на горизонт -100 м требует реконструкции водоотливного комплекса горизонта -100 м, т. е. сооружения дополнительной насосной станции и дополнительной центральной подземной подстанции на горизонте -100 м у ствола № 5 в дополнение к уже существующим. Объем выемки породы при реконструкции водоотливного комплекса горизонта -100 м составит 10 600 м³. Ведение работ по углублению ствола № 6 и горнопроходческие работы на горизонте -100 м с выдачей породы через ствол № 6 потребуют значительных объемов строительно-монтажных работ и соответствующего оборудования. В данном варианте предусматривается также продолжение строительства водоотливного комплекса на горизонте -225 м.

Преимущества приведенного варианта в том, что проходка горных выработок будет производиться в устойчивых и среднеустойчивых кристаллических породах, представленных сланцами и кварцитами. Настоящий вариант обеспечивает существенный задел для развития горных работ и возможность эффективного осушения месторождения, в частности северо-западной его части. Кроме всего прочего, вариант предусматривает сохранение целостности шахтного поля.

Недостатки варианта № 2 – в его значительной капиталоёмкости, обусловленной большими объемами горнопроходческих работ. Кроме того, неминуема большая протяженность горных выработок с потребностью их крепления на некоторых интервалах в структурно-ослабленных зонах (складчатость, трещиноватость).

Ориентировочный срок реализации проекта – 7–9 лет.

Вариант № 3 – проведение горных выработок с горизонта -100 м со сбросом воды с горизонта -20 м. Предусматривается создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонте -100 м и далее на север шахтного поля до сопряжения северо-западного штрека № 2 и северного штрека № 2 горизонта -20 м. При этом из района сопряжения выработок горизонта -20 м будут пробурены водосбросные скважины, которые подсекаются выработкой горизонта -100 м. Протяженность предлагаемой трассы контура дренажных выработок на горизонте -100 м без учета водосбросных выработок составит 5 184 м. Проектируемые

выработки дренажного контура оборудуются камерами для бурения восстающих дренажных скважин, камерами вентиляционных скважин (рис. 3).

Преимущества варианта заключаются в проведении горных выработок в устойчивых и среднеустойчивых кристаллических горных породах, представленных сланцами и кварцитами. Кроме этого, данный вариант обеспечит возможность осушения северо-западного борта карьера и имеет меньшие сроки реализации, чем варианта № 2. Недостатки варианта кроются в том, что на некоторых интервалах все же потребуются крепление горных выработок (структурно-ослабленные зоны складчатости и повышенной трещиноватости горных пород). Неизбежен разрыв шахтного поля и в этой связи усложнение обслуживания ПДрК в целом. Также по мере развития горных работ потребуются строительство новых подземных горных выработок в направлении границы горного отвода.

Ориентировочный срок реализации проекта – 9–10 лет.

Заключение

Учитывая направления развития горных работ в карьере, важно понимать, что существующая система дренажа существенно деградирует в связи с разрывом контура дренажных выработок северного крыла шахты (северо-западный штрек ПК 53 – ПК 114, обходная выработка, северо-западный штрек № 2 ПК 0 – ПК 28). Кроме этого, приближение забоев восстающих дренажных скважин (ВДС) к западному контуру карьера на расстояния менее 300 м (вплоть до их подсечения открытыми горными работами) приведет к неполному перехвату воды ВДС с последующим проскоком воды в карьер. Указанные обстоятельства требуют приближения замкнутого контура выработок северо-западного крыла ПДрК к границам горного отвода на максимально возможное расстояние. Однако весьма сложные горно-геологические условия проходки горных выработок на рассматриваемом участке при значительном объеме горнопроходческих работ существенно затрудняют сооружение нового контура на горизонте -20 м. В связи с этим целесообразно строительство нового дренажного контура на нижележащих горизонтах, для чего рационально использовать ближайший нижележащий горизонт -100 м. Последний имеет достаточно развитую коммуникационную структуру и сооружен в толще углистых кварц-хлорит-серицитовых сланцев с прослоями метапесчаников, метаалевролитов и кварцитов. Следовательно, из рассмотренных выше вариантов развития инфраструктуры ПДрК как наиболее эффективный следует принять именно вариант № 2.

Таким образом, для создания оптимальных условий эффективного осушения месторождения при наличии задела для развития горных работ целесообразным представляется создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонте -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на ствол № 6 согласно варианту № 2. Для приема воды с бортов карьера по скважинам в ПДрК от сооружаемого контура предусматривается строительство девяти водосбросных штреков общей протяженностью 2 тыс. м. Выходы в карьер оборудуются порталами и служат для выдачи исходящей шахтной струи на поверхность, а также являются запасными выходами из ПДрК в соответствии с требованиями правил безопасности [19]. При этом компоновочные и конструктивные решения по реконструкции ПДрК должны быть приняты с учетом всего комплекса задач, возникающих

при отработке Михайловского железорудного месторождения, и на основании требований раздела 6 СНиП II-94-80 (актуализированная редакция) «Подземные горные выработки» и требований «Инструкции по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы» в части определения протяженности выработок для следования отделения ВГСЧ с выносом пострадавшего [20].

Результаты проведенных исследований:

1. Трассы дренажных выработок, образующих контурную систему осушения, определяются в соответствии с конфигурацией бортов карьера в перспективе 2032 года и реальных границ горного отвода.

2. Компоновочные решения по расположению дренажных выработок определяются исходя из требования перехвата основного потока подземных вод батского водоносного горизонта.

3. Дренажные горные выработки должны проектироваться таким образом, чтобы соблюдались минимальные размеры охранных целиков по всем литологическим разностям горных пород, обеспечивающих устойчивость выработок при проведении массовых взрывов в карьере.

4. В соответствии с прогнозируемыми горно-геологическими условиями выбор проектных трасс дренажных выработок осуществляется таким образом, чтобы избежать заложения горных выработок в зонах тектонической нарушенности массивов, а также в неустойчивых водонасыщенных породах.

Вместе с тем определяющим фактором в выборе компоновочных решений является, безусловно, получение необходимого эффекта осушения.

В горно-геологических условиях проходки дренажных выработок ПДрК Михайловского ГОКа с учетом многолетнего опыта сооружения и эксплуатации дренажных выработок на предыдущих этапах вариантом № 2 предусмотрено сооружение выработок в монолитных малотрещиноватых породах I категории устойчивости без крепления. В горных выработках, проходка которых предусмотрена в породах II категории устойчивости, предполагается установка металлической арочной крепи с железобетонной затяжкой. Проходка дренажных выработок в породах, характеризующихся низкими прочностными параметрами, предусматривается с предварительным возведением опережающей крепи.

Результаты приведенных исследований могут быть использованы при проектировании дренажных систем не только на подобных железорудных месторождениях КМА, но и на прочих месторождениях, сходных по геолого-гидрогеологическим условиям.

Выводы

1. В связи со значительными размерами карьерного поля Михайловского железорудного месторождения, а также для уменьшения объема вскрыши и повышения экономической эффективности добычи руды его осушение осуществляется комбинированно-поверхностным и подземным способом. Водоносные горизонты подкелловейского комплекса в карьере осушаются комбинированно системой насосных установок в карьере, для чего создана сеть подземных выработок и пробуренных из них восстающих дренажных скважин на все водоносные горизонты и дренажные узлы – подземный дренажный комплекс.

2. В процессе постоянного развития фронта горных работ и углубления карьера часть подземных горных выработок ПДрК оказалась в зоне подработки, что самым негативным образом отражается на состоянии и эффективности функционирования системы осушения карьера в целом. В зоне подработки уже к началу 2024 года оказалось порядка 3 км подземных горных выработок ПДрК. Погашение этих выработок исключает в дальнейшем эффективный дренаж северо-западного борта карьера, что может повлечь за собой осложнения производства открытых горных работ, вплоть до их остановки.

3. Установлены размеры охранных целиков около действующих и проектируемых подземных дренажных выработок, рассчитанные в зависимости от параметров массовых взрывов в карьере и с учетом геологического строения массива горных пород, прочностных свойств горных пород, пространственного расположения выработки относительно фронта буровзрывных работ, наличия и конструкции крепи горной выработки. Решение о передаче горной выработки на погашение производится на основании анализа совмещения плана открытых и плана подземных горных работ. Необходимость передачи горной выработки на погашение возникает при приближении открытых работ к

горной выработке на расстояние, равное размеру охранный целика.

4. Оценены объемы работ по погашению дренажных выработок, подлежащих погашению в период 2023–2032 годов, с учетом развития фронта горных работ в трех частях карьера МГОКа: центральной, соединительной и южной (северная часть карьера законсервирована) – 6415 п.м.

5. В целях технологического и организационного обеспечения выполнения годовых планов МГОКа по добыче 50 млн тонн руды в год на период до 2032 года разработаны и проанализированы альтернативные варианты развития ПДрК в контексте воспроизводства дренажных горных выработок при производственной необходимости погашения некоторых из них. Для создания наилучших условий осушения месторождения при наличии задела для развития горных работ, наиболее рациональным и эффективным решением представляется создание дренажного контура от околоствольного двора ствола № 5 на горизонте -100 м и далее на север шахтного поля с выходом на ствол № 6 с сооружением наклонного ствола с горизонта -20 м на горизонт -100 м на участке северо-западного штрека № 2 севернее сопряжения с северным штреком № 2-бис-1, что обеспечит стабильный дренаж карьерного поля на годы вперед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- О проблеме эксплуатации восстающих дренажных скважин при осушении Михайловского месторождения (Курская магнитная аномалия) / В. В. Кушнерчук, В. В. Хаустов, Л. А. Семенова [и др.] // Маркшейдерия и недропользование. – 2024. – № 3. – С. 80–88.
- Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии (КМА): В 3 томах. Т. II: Гидрогеология и инженерная геология / Под ред. А. Т. Бобрышева. – М.: Недра, 1972. – 479 с.
- Смолянинов, В. М. Подземные воды Центрально-Черноземного региона: условия их формирования, использование / В. М. Смолянинов. – Воронеж: Истоки, 2003. – 240 с.
- Пономаренко, Ю. В. Способ осушения бортов глубоких карьеров с помощью систем комбинированных дренажных устройств / Ю. В. Пономаренко // Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 52–54.
- Мироненко, В. А. Горнопромышленная гидрогеология / В. А. Мироненко, Е. В. Мольский, В. Г. Румынин. – М.: Недра, 1989. – 287 с.
- Мироненко, В. А. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах (опыт гидрогеологических исследований) / В. А. Мироненко, В. Г. Румынин, В. К. Учаев. – Л.: Недра, 1980. – 320 с.
- Опыт освоения и осушения месторождения в сложных гидрогеологических условиях / А. В. Козуб, Р. И. Исмагилов, Б. П. Бадтиев [и др.]. // Горная промышленность. – 2019. – № 5 (147). – С. 12–14.
- Осушение глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых системами восстающих дренажных скважин – технология будущего / К. Н. Трубецкой, Ю. И. Волков, А. А. Изотов [и др.] // Неделя горняка – 2006: сб. мат-лов. – Белгород: ВИОГЕМ, 2006. – С. 175–184.
- Сооружение восстающих скважин в подземном дренажном комплексе Стойленского ГОКа / А. Ю. Шемякин, И. А. Тимошков, Ю. И. Волков [и др.] // Горный журнал. – 2014. – № 6. – С. 24–26.
- Горная энциклопедия: В 5 томах / ред. Е. А. Козловский. М.: Советская энциклопедия, 1984–1991. – 2900 с.
- Шахтное и подземное строительство / Б. А. Картозия, Б. И. Федунец, М. Н. Шуплик [и др.]. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 607 с.
- Excavation-induced deep hard rock fracturing: Methodology and applications / Cheng-Xiang Yang, Rui Kong, Jun Zhao [et al.] // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2022. – Vol. 14, № 1. – P. 1–34.
- О внесении изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности Правила безопасности при взрывных работах, утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 декабря 2013 г. № 605: Приказ Ростехнадзора от 30.11.2017 № 518 (Зарегистрировано в Минюсте России 12.04.2018 № 50737) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499066484> (дата обращения: 25.05.2024).
- Тюпин, В. Н. Зависимость геомеханического состояния трещиноватого массива от интервала замедления в зоне сейсмического действия массовых взрывов / В. Н. Тюпин, В. В. Хаустов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2. – С. 45–54.
- Oparin, V. N. Theoretical fundamentals to describe interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams // Journal of Mining Science. – 2017. – Vol. 53, № 2. – P. 201–215.
- Seismically safe parameters of confined blasting in levelling dry dock bottom / V. N. Tyupin, E. B. Yanitsky, A. E. Polyakh [et al.] // Eurasian Mining. – 2022. – Vol. 2. – P. 16–19.
- Kaiser, P. K. Design of rock support system under rockburst condition / P. K. Kaiser, Cai Ming // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2012. – Vol. 4, № 3. – P. 215–227.
- Closed-form solution of stress and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rock / Duc-Phi D., Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang [et al.] // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2019. – Vol. 113. – P. 11–23.
- Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы: Приказ Ростехнадзора от 11.12.2020 № 520. Зарегистрировано в Минюсте России 21 декабря 2020 г. № 61628 [Электронный ресурс]. – URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-11122020-n-520-ob-utverzhdenii-federalnykh/> (дата обращения: 25.05.2024).

СП 91.13330.2012. Свод правил. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80 (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 № 283). – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 58 с.

REFERENCES

1. *Kushnerchuk VV, Khaustov VV, Semenova LA, et al.* On the problem of operating rising drainage wells during drainage of the Mikhailovskoye field (Kursk magnetic anomaly). *Mine surveying and subsoil use.* 2024;3:80-8 (In Russ.).
2. *Geology, hydrogeology and iron ores of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA) basin. Vol. II. Hydrogeology and engineering geology.* Ed. A. T. Bobrysheva. Moscow, 1972. (In Russ.).
3. *Smolyaninov VM.* Groundwater of the Central Black Earth region: conditions of their formation, use. Voronezh, 2003. (In Russ.).
4. *Ponomarenko YuV.* A method for draining the sides of deep quarries using systems of combined drainage devices. *Mining Journal.* 2014;7:52-4 (In Russ.).
5. *Mironenko VA, Molsky EV, Romanin VG.* Mining hydrogeology. M., 1989 (In Russ.).
6. *Mironenko VA, Romanin VG, Uchaev VK.* Protection of groundwater in mining areas (experience of hydrogeological research). Leningrad, 1980 (In Russ.).
7. *Kozub AV, Ismagilov RI, Badtiev BP, et al.* Experience in the development and drainage of deposits in difficult hydrogeological conditions. *Mining Industry.* 2019;5(147):12-4 (In Russ.).
8. *Trubetskoy KN, Volkov YuI, Izotov AA, et al.* Drainage of deep mineral deposits by systems of rising drainage wells – the technology of the future. *Miner's Week – 2006: Collection of materials.* Belgorod, 2006:175-84 (In Russ.).
9. *Shemyakin AYU, Timoshkov IA, Volkov YuI, et al.* Construction of riser wells in the underground drainage complex of Stoilensky GOK. *Mining Journal.* 2014;6:24-6 (In Russ.).
10. *Mining encyclopedia.* In 5 volumes. Ed. E.A. Kozlovsky. Moscow, 1984-1991 (In Russ.).
11. *Kartoziya BA, Fedunets BI, Shuplik MN et al.* Mine and underground construction. Moscow, 2001 (In Russ.).
12. *Cheng-Xiang Yang, Rui Kong, Jun Zhao et al.* Excavation-induced deep hard rock fracturing: Methodology and applications. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 2022;14(1):1-34.
13. Order of Rostekhnadzor dated November 30, 2017 No. 518 On amendments to the Federal norms and rules in the field of industrial safety Safety rules for blasting operations, approved by order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated December 16, 2013 № 605 (Registered in Ministry of Justice of Russia 04/12/2018 № 50737). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/499066484> (In Russ.).
14. *Tyupin VN, Khaustov VV.* Dependence of the geomechanical state of a fractured massif on the deceleration interval in the zone of seismic action of mass explosions. *Mining Information and Analytical Bulletin.* 2021;2:45-54 (In Russ.).
15. *Oparin VN.* Theoretical fundamentals to describe the interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams. *Journal of Mining Science.* 2017;53(2):201-15.
16. *Tyupin VN, Yanitsky EB, Polyakh AE, et al.* Seismically safe parameters of confined blasting in levelling dry dock bottom. *Eurasian Mining.* 2022;2:16-9.
17. *Kaiser PK, Ming Cai.* Design of rock support system under rockburst condition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 2012;4(3):215-27.
18. *Duc-Phi D, Nam-Hung Tran, Hong-Lam Dang, et al.* Closed-form solution of stress and stability analysis of wellbore in anisotropic permeable rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2019;113:11-23.
19. Order of Rostekhnadzor dated December 11, 2020 № 520 On approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety “Instructions for localizing and eliminating the consequences of accidents at hazardous production facilities where mining operations are carried out.” Registered with the Ministry of Justice of Russia on December 21, 2020 №61628. Available from: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-11122020-n-520-ob-utverzhenii-federalnykh/> (In Russ.).
20. SP 91.13330.2012. Code of rules. Underground mine workings. Updated edition of SNiP II-94-80 (approved by Order of the Ministry of Regional Development of Russia dated June 30, 2012 № 283). Moscow, 2012 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Вячеслав Викторович Кушнерчук –
аспирант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет,
г. Белгород, Россия,
e-mail: v_kushnerchuk@mgok.ru

ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav V. Kushnerchuk –
postgraduate student, Belgorod State National
Research University, Belgorod, Russian Federation,
e-mail: 1415728@bsu.edu.ru



Владимир Васильевич Хаустов –
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г. Белгород,
Россия, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS
Researcher ID: C-3838-2016, Scopus Author ID:
7003912446, e-mail: khaustov@bsu.edu.ru

Vladimir V. Khaustov –
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Associate Professor, Belgorod National Research
University, Belgorod, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-1895-7367>, WoS Researcher ID:
C-3838-2016, Scopus Author ID: 7003912446,
e-mail: khaustov@bsu.edu.ru



Елена Ахмедовна Ермолович —
доктор технических наук, профессор,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, г.
Белгород, Россия, [http://orcid.org/ 0000-0003-4250-7726](http://orcid.org/0000-0003-4250-7726), WoS Researcher ID: G-3266-2013, Scopus Author ID: 54893721800, e-mail: ermolovich@bsu.edu.ru

Elena A. Ermolovich —
Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod
State National Research University, Belgorod, Russian
Federation, [http://orcid.org/ 0000-0003-4250-7726](http://orcid.org/0000-0003-4250-7726),
WoS Researcher ID: G-3266-2013, Scopus Author ID:
54893721800, e-mail: ermolovich@bsu.edu.ru



Людмила Анатольевна Семенова —
кандидат педагогических наук, доцент, Юго-
Западный государственный университет, г.
Курск, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru

Lyudmila A. Semenova —
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate
Professor, Southwestern State University, Kursk,
Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-4816-101X>, e-mail: romahka31@yandex.ru



Владимир Викторович Симонян —
доктор технических наук, доцент, Национальный
исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия,
<http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, Researcher
ID: AAV-8457-2020, e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

Vladimir Viktorovich Simonyan —
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
National Research Moscow State University of Civil
Engineering, Moscow, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-3224-9500>, Researcher ID:
AAV-8457-2020,
e-mail: simonyan.vladimir@gmail.com

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION:

Вячеслав Викторович Кушнерчук — написание текста статьи, анализ результатов исследования, выполнение работы по систематизации материала; **Владимир Васильевич Хаустов** — постановка задачи, написание текста статьи; **Елена Ахмедовна Ермолович** — генерация идеи исследования; **Людмила Анатольевна Семенова** — проведение полевых работ; **Владимир Викторович Симонян** — постановка задачи, анализ результатов исследования.

Vyacheslav Viktorovich Kushnerchuk — writing the text of the article, analyzing the research results, performing work on systematizing the material; **Vladimir Vasilievich Khaustov** — problem statement, writing the text of the article; **Elena Akhmedovna Ermolovich** — generating the research idea; **Lyudmila Anatolyevna Semenova** — conducting field work; **Vladimir Viktorovich Simonyan** — problem statement, analysis of research results.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.