



UDK: 622.271.001.5

Olga SHISHKINA,

Tayanch doktorant, O'zbekiston Milliy UNIVERSITETI, Toshkent, O'zbekiston,

E-mail: olgageouz@gmail.com, ORCID: 0009-0005-8677-3585

Nodira TADJIBAYEVA,

PhD, dotsent, O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: nadira.ruzievna@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3102-4289

Regional MGTE yetakchi geologi, g-m.f.n L.Dementeenko taqrizi asosida

CURRENT ISSUES IN REGULATING THE STABILITY OF SLOPES IN THE DEEP ANGREN COAL OPEN PIT, CONSIDERING THE ATCHINSKY LANDSLIDE AND UNDERGROUND COAL GASIFICATION PROCESSES

Annotation

The article examines current challenges in ensuring the stability of the slopes of the Angren open-pit coal mine under conditions of deep surface mining and underground coal gasification. The study is based on the analysis of long-term geodetic monitoring data, engineering-geological investigations, and slope stability calculations using limit equilibrium methods. The results indicate that buttress stabilization effectively reduces the deformation activity of the Atchin landslide; however, the further development of mining operations requires comprehensive consideration of hydrogeological, seismic, and anthropogenic factors. The findings can be applied in the development of measures aimed at improving the stability of slopes in deep open-pit coal mines.

Keywords: Angren coal open pit, Atchinsky landslide, slope stability, counterfort, underground coal gasification, landslide processes, geodetic monitoring, seismic impact.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ АНГРЕНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА С УЧЁТОМ АТЧИНСКОГО ОПОЛЗНЯ И ПРОЦЕССОВ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Аннотация

В статье рассмотрены современные проблемы обеспечения устойчивости бортов Ангреновского угольного разреза в условиях глубокой открытой разработки и подземной газификации угля. Исследование основано на анализе материалов многолетнего геодезического мониторинга, инженерно-геологических данных и расчетов устойчивости методами предельного равновесия. Установлено, что контрфорсная стабилизация обеспечивает эффективное снижение деформационной активности Атчинского оползня, однако дальнейшее развитие горных работ требует комплексного учета гидрогеологических, сейсмических и техногенных факторов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке мероприятий по повышению устойчивости бортов глубоких угольных карьеров.

Ключевые слова: Ангреновский угольный разрез, Атчинский оползень, устойчивость бортов, контрфорс, подземная газификация угля, оползневые процессы, геодезический мониторинг, сейсмическое воздействие.

ANGREN KO'MIR KARYERI BORTLARI BARQARORLIGINI TA'MINLASHNING ZAMONAVIY MUAMMOLARI: ATCHIN KO'CHKISI VA KO'MIRNI YER OSTIDA GAZLASHTIRISH JARAYONLARINI HISOBGA OLISH

Annotatsiya

Maqolada Angren ko'mir konining chuqur ochiq usulda qazib olish va ko'mirni yer ostida gazlashtirish sharoitida bortlar barqarorligini ta'minlashning zamonaviy muammolari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot ko'p yillik geodezik monitoring materiallari, muhandislik-geologik ma'lumotlar hamda chegaraviy muvozanat usullari bo'yicha barqarorlik hisob-kitoblari tahliliga asoslangan. Aniqlanishicha, kontrforsli barqarorlashtirish Atchin ko'chkisining deformatsion faolligini samarali ravishda kamaytiradi, biroq tog'-kon ishlarining keyingi rivojlanishi gidrogeologik, seysmik va texnogen omillarni kompleks hisobga olishni talab qiladi. Olingan natijalar chuqur ko'mir karyerlari bortlari barqarorligini oshirishga qaratilgan chora-tadbirlarni ishlab chiqishda qo'llanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: Angren ko'mir karyeri, Atchin ko'chkisi, bortlar barqarorligi, kontrfors, ko'mirni yer ostida gazlashtirish, ko'chki jarayonlari, geodezik monitoring, seysmik ta'sir.

Введение. Открытая разработка угольных месторождений глубокими карьерами сопровождается повышенным риском развития оползневых деформаций, что требует обеспечения устойчивости бортов.

Ангреновский угольный разрез (Республика Узбекистан) (рис. 1), эксплуатируемый с 1948 г., является одним из крупнейших угольных карьеров региона. Глубина разработки превышает 400 м и в перспективе достигнет 520 м. Сложное геологическое строение, высокая обводненность массива и наличие ослабленных зон обусловили развитие Атчинского оползня объемом около 800 млн м³, для стабилизации которого применяется контрфорсная пригрузка вскрышными породами.



Рис. 1. Вид Ангренского угольного разреза и прилегающих объектов (фото карьера и станции ПГУ)

Дополнительное влияние на устойчивость оказывает подземная газификация угля, изменяющая напряжённо-деформированное состояние и гидрогеологические условия массива.

Цель работы - анализ современных проблем обеспечения устойчивости бортов Ангренского угольного разреза с учётом Атчинского оползня, контрфорсной стабилизации и влияния подземной газификации угля. Исследование основано на данных геодезического мониторинга, маркшейдерских наблюдений и расчётах устойчивости методами предельного равновесия.

Обзор современного состояния проблемы. Устойчивость бортов глубоких угольных карьеров определяется сочетанием горно-геологических, гидрогеологических и техногенных факторов. С увеличением глубины разработки возрастает влияние напряженно-деформированного состояния массива, что способствует формированию крупномасштабных оползневых деформаций и развитию криволинейных поверхностей скольжения [4, 1, 2].

Для Ангренского бурогоугольного месторождения характерно чередование прочных пород с каолиновыми и монтмориллонитсодержащими глинами, обладающими низкой прочностью, высокой пластичностью и склонностью к набуханию. При водонасыщении эти породы формируют основные поверхности скольжения и определяют развитие вязкопластических оползневых деформаций [3]. Существенное влияние оказывает и гидрогеологический фактор: повышение порового давления снижает сопротивление пород сдвигу и ухудшает устойчивость бортов [7].

Дополнительными факторами дестабилизации являются сейсмические воздействия и подземная газификация угля (ПГУ). Низкочастотные колебания могут инициировать разжижение водонасыщенных дисперсных грунтов, тогда как ПГУ приводит к изменению физико-механических свойств пород, развитию трещиноватости и перестройке гидрогеологического режима, создавая условия для активизации деформационных процессов [5, 11, 9].

Основным способом стабилизации прибортовых массивов на Ангренском разрезе является устройство контрфорсов из вскрышных пород, эффективность которых подтверждена многолетней практикой и расчетами методами предельного равновесия [2, 10]. Вместе с тем дальнейшее наращивание контрфорсов без учета гидрогеологических изменений и влияния ПГУ может снижать эффективность инженерной защиты.

Таким образом, современные подходы к оценке устойчивости бортов требуют комплексного учета геологического строения, гидрогеологических условий, сейсмических воздействий и процессов подземной газификации угля, что особенно актуально для глубоких карьеров Ангренского месторождения.

Методика исследований. Исследование основано на материалах многолетнего маркшейдерско-геодезического мониторинга Ангренского угольного разреза, архивных данных ГСС ГИДРОИНГЕО, а также инженерно-геологических и гидрогеологических материалах по месторождению. Анализ включал оценку динамики деформаций прибортовых массивов, влияния горно-геологических, гидрогеологических и техногенных факторов, а также расчеты устойчивости методами предельного равновесия (Бишопа, Моргенштерна–Прайса и Янбу) с учетом контрфорсной пригрузки и процессов подземной газификации угля.

Результаты исследований. Результаты исследований основаны на анализе данных многолетнего геодезического мониторинга деформаций прибортовых массивов Ангренского разреза и оценке эффективности контрфорсной стабилизации Атчинского оползня.

На участке ПК0–30 развиты крупные техногенные оползни выдавливания и разжижения, крупнейшими из которых являются оползни «Старая Подстанция» и «Центральный» (рис. 2). Натурные наблюдения показали пульсационный характер деформаций: периоды активизации со скоростями горизонтальных смещений до 740–750 мм/сут сменялись их последующим затуханием. Установлена связь активизации деформаций с глубоководными Памиро-Гиндукушскими землетрясениями, подтверждающая влияние сейсмических воздействий на развитие оползневых процессов (рис. 3).

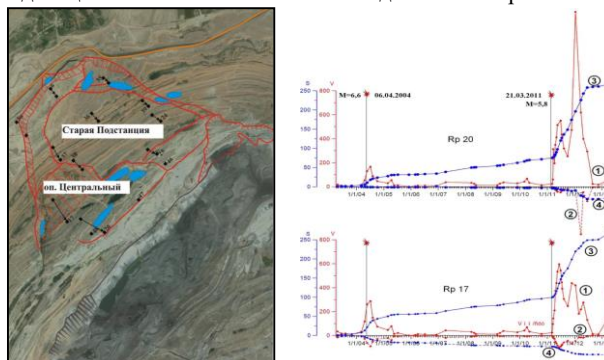


Рис. 2. План оползня Центральный и Подстанция (космоснимок)

Рис. 3. График изменения скорости (1) и величины горизонтального перемещения (2) оползня Центральный (Rp 17) с 1987-2012 гг. с датами землетрясений.

Многолетний мониторинг Атчинского оползня показал высокую эффективность контрфорсной стабилизации. После сооружения контрфорса скорости смещений снизились с 2,0–2,6 м/год до 0,02–0,08 м/год, а большая часть массива перешла в устойчивое состояние. Вместе с тем в прибортовых участках, прилегающих к зоне подземной газификации угля, сохраняются локальные деформации, обусловленные изменением гидрогеологических условий и повышением порового давления.

Полученные результаты свидетельствуют, что контрфорсная пригрузка обеспечивает эффективную стабилизацию оползневого массива, однако при дальнейшем развитии горных работ необходимо учитывать совместное влияние гидрогеологических, сейсмических и техногенных факторов, связанных с подземной газификацией угля.

Обсуждение результатов. Полученные результаты показывают, что устойчивость бортов Ангрэнского разреза определяется совместным влиянием геологического строения, гидрогеологических условий, сейсмических воздействий и техногенных факторов. Несмотря на высокую эффективность контрфорсной стабилизации Атчинского оползня, локальные деформации в районах, прилегающих к зоне подземной газификации угля, свидетельствуют о необходимости учета изменений напряженно-деформированного состояния массива и режима подземных вод при дальнейшем развитии горных работ.

Полученные выводы согласуются с современными исследованиями, в которых подчеркивается необходимость комплексного учета геомеханических, гидрогеологических и термических процессов при эксплуатации месторождений с подземной газификацией угля [12, 8]. Применение современных методов мониторинга, включая акустическую эмиссию, а также комплексного термо-гидро-механического моделирования позволяет повысить достоверность прогноза устойчивости прибортовых массивов и своевременно выявлять потенциально опасные зоны [6].

Таким образом, дальнейшее обеспечение устойчивости бортов Ангрэнского разреза должно основываться на комплексном подходе, объединяющем контрфорсную стабилизацию, регулирование гидрогеологического режима, геодезический и сейсмический мониторинг, а также контроль процессов подземной газификации угля.

Заключение. Проведенные исследования подтвердили эффективность контрфорсной стабилизации Атчинского оползня и показали, что устойчивость бортов Ангрэнского угольного разреза определяется комплексным воздействием геологических, гидрогеологических, сейсмических и техногенных факторов. Для обеспечения безопасного ведения горных работ необходим комплексный подход, предусматривающий регулирование гидрогеологического режима, постоянный геодезический мониторинг и контроль влияния процессов подземной газификации угля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галустян Э.Л. Геомеханические процессы при открытых горных работах. М.: Недра, 1980. 272 с.
2. Зотеев О.В. Обеспечение устойчивости бортов угольных разрезов. М.: ЦНИЭИуголь, 1990. 48 с.
3. Ниязова Р.А. Формирование крупных оползней Средней Азии. Ташкент: Фан, 1982. 168 с.
4. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
5. Bhutto A.W., Bazmi A.A., Zahedi G. Underground coal gasification: From fundamentals to applications // Progress in Energy and Combustion Science. 2013. Vol. 39, No. 1. P. 189–214.
6. Hamanaka A., Ishii Y., Itakura Ki. et al. Monitoring the gasification area and its behavior in underground coal gasification by acoustic emission technique instead of temperature measurement // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Art. 9757.
7. Kovrov O.S., Kolesnyk V.Ye., Buchavyi Yu.V. Development of the landslide risk classification for natural and man-made slopes based on soil watering and deformation extent // Mining of Mineral Deposits. 2020. Vol. 14, No. 4. P. 105–112.
8. Liu Xiaopeng, Xu Liangji, Zhang Kun. Strata Movement Characteristics in Underground Coal Gasification (UCG) under Thermal Coupling and Surface Subsidence Prediction Methods // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 8. Art. 5192.
9. Najafi M., Jalali S.E., Yalcin E. A review of underground coal gasification (UCG) technology // International Journal of Mining Science and Technology. 2018.
10. Nguyen P.M.V., Wraha A., Rajwa S., et al. Slope Stability Numerical Analysis and Landslide Prevention of Coal Mine Waste Dump under the Impact of Rainfall—A Case Study of Janina Mine, Poland // Energies. 2022. Vol. 15, No. 21. Art. 8311.
11. Ottmar K., Thorsen R., Grammelis P., et al. Soviet experience of underground coal gasification focusing on surface subsidence // Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2016. Vol. 17, No. 10. P. 792–802.
12. Qin Yong, Yi Tongsheng, Wang Lingxia. Research on underground coal gasification from 2023 to 2024: A systematic review // Coal Geology & Exploration. 2025. Vol. 53, No. 4. P. 1–17.