

# **ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ШАХТ И РУДНИКОВ В УСЛОВИЯХ ПРОЯВЛЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Меликулов А.Д.<sup>1</sup>, Акбаров Т.Г.<sup>2</sup>, Имаилов А.С.<sup>3</sup>, Бакиров Г.Х.<sup>4</sup>,  
Мухитдинов Ш.Р.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>*Меликулов Абдусаттар Джаббарович – кандидат технических наук,  
доцент,*

*кафедра "Горное дело",  
Алмалыкский филиал;*

<sup>2</sup>*Аkbаров Тахирджон Гуламович – кандидат технических наук, доцент,  
кафедра "Разработка угольных и пластовых месторождений";*

<sup>3</sup>*Имаилов Анварбек Суннатуллаевич – кандидат технических наук,  
доцент,*

*кафедра "Разработка угольных и пластовых месторождений",  
горно-металлургический факультет,*

<sup>4</sup>*Бакиров Гайрат Холикбердиевич – старший преподаватель,  
кафедра "Горное дело",  
Алмалыкский филиал,*

*Ташкентский государственный технический университет  
имени Ислама Каримова;*

<sup>5</sup>*Мухитдинов Шухратхужа Рамзидинович – кандидат технических наук,  
главный специалист,*

*ООО "ANGLESEY FOOD",  
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

**Аннотация:** *в статье рассматриваются условия формирования и изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг подземных горных выработок, особенности длительного поддержания таких выработок в условиях проявления тектонических процессов, характерных для региона Центральной Азии.*

**Ключевые слова:** *горные выработки, напряженно-деформированное состояние, реакция крепи, анизотропия, модуль деформации, крепежные рамы.*

Сооружение подземных горных выработок вызывает нарушение естественного напряженно-деформированного состояния породных массивов, и возникающие в результате этого механические процессы приводят к формированию нового напряженно-деформированного состояния массива в окрестностях выработок. Образовавшееся поле напряжений и деформаций принято называть полным, подразумевая, что оно сформировалось в результате наложения на первоначальное

естественное поле дополнительного – техногенного – поля напряжений и деформаций, образовавшегося при сооружении выработки. Изучение закономерностей деформирования породного массива позволяет прогнозировать возможные его состояния во времени после реализации механических процессов. Сложность этой задачи обусловлена прежде всего большим числом влияющих факторов. В общем случае породный массив представляет собой дискретную неоднородную анизотропную среду, механические процессы деформирования в которой носят нелинейный временной характер. Кроме геологических факторов большое влияние оказывают инженерно-технические условия строительства и, в частности, форма и размеры выработок, их ориентация в массиве, способ проведения и поддержания, конструкция и технология возведения крепи и др. [2,3,4,15,20].

Очевидно, что при одновременном учете всех этих факторов описание закономерностей процесса формирования напряженно-деформированного состояния аналитическим способом практически невозможно. Вместе с тем многолетний опыт и знания, накопленные в этой области знаний, показывают, что при любом сочетании влияющих факторов всегда может быть выделен один-два главных, имеющих определяющее значение для характера реализации механических процессов. Так, например, при сооружении выработок в крепких скальных породах из всех факторов в качестве основного выделяют трещиноватость пород. Именно она обуславливает в этих условиях реализацию механических процессов в виде локальных вывалов или сплошного сводообразования. В качестве другого примера можно привести случай, когда определяющими факторами будут форма и размеры выработки. Так, в кровле горной выработки прямоугольной формы, имеющей значительный пролет, возникают опасные для ее эксплуатации растягивающие напряжения. Здесь наиболее существенным геометрическим фактором является форма контура или поперечного сечения выработки. Выполненным в этом направлении множеством аналитических и экспериментальных исследований установлено, что величина концентрации напряжений на контуре выработки зависит от кривизны контура и увеличивается по мере роста последней. Причем, если рассматривать концентрацию нормальных напряжений на контуре выработок, то на участках с максимальной кривизной (угловые участки контура) следует ожидать увеличение, а на участках с минимальной кривизной (близкие к прямолинейным, прямолинейные или даже вогнутые внутрь выработки участки контура) следует ожидать даже уменьшение по сравнению с начальным напряжением в массиве [9,11,16,17].

Другая группа влияющих факторов включает начальное напряженное состояние массива в месте заложения выработки, близость земной поверхности и других породных обнажений – соседних выработок,

наличие нагрузки на контуре (реакция крепи). Наибольшее влияние среди этой группы на распределение напряжений оказывает величина первоначального напряжения в массиве. При уменьшении коэффициента бокового распора контурные напряжения на горизонтальной оси увеличиваются, а на вертикальной оси – уменьшаются и при значении коэффициента  $\lambda=1/3$  меняют знак, т. е. становятся растягивающими. Радиальная нагрузка на контуре выработки в виде реакции крепи увеличивает радиальные нормальные напряжения и уменьшает напряжения, т. е. приводит к снижению концентрации напряжений.

Исследователи при анализе влияния фактора времени отмечают, что в рамках линейной теории ползучести горных пород поле напряжений вокруг выработок стационарно в случае незакрепленных выработок или при наличии крепи постоянного сопротивления и нестационарно при наличии крепи нарастающего сопротивления. В последнем случае концентрация напряжений в приконтурном массиве уменьшается во времени [4,5,7,19].

Механические свойства и структурно-механические особенности породных массивов (соотношения между напряжениями и деформациями, анизотропия и неоднородность горных пород), влияющие на распределение напряжений, выделяются в отдельную группу физических факторов. Известно, что большинство горных пород, особенно при большом уровне действующих напряжений, обнаруживают нелинейную связь между напряжениями и деформациями.

Анизотропия механических свойств обнаруживается практически во всех породных массивах, особенно в слоистых массивах осадочного происхождения, но существенные количественные искажения в распределении напряжений появляются только при ярко выраженной анизотропии, например при отношении модуля деформации массива по напластованию к модулю деформации поперек напластования более 1,5. При меньших величинах этого отношения учет анизотропии вносит поправку в распределение напряжений менее 15 % [3].

Неоднородность породных массивов подразделяют на естественную и искусственную. Естественная неоднородность наблюдается практически во всех породных массивах, и независимо от вида неоднородностей (минеральное включение, линза, пропласток и т. д.), если их модуль деформации выше, чем в окружающем массиве, они являются участками концентрации повышенных напряжений, и, наоборот, более деформативные элементы породного массива оказываются менее напряженными. Искусственная неоднородность формируется в результате сооружения или в период последующей эксплуатации выработки под влиянием процессов разрушения, упрочнения и физического выветривания горных пород в окрестности выработки. Так, при буровзрывном способе проведения выработки появление в приконтурной зоне трещин взрывного происхождения, интенсивность которой убывает по мере углубления в

массив, формирует технологическую неоднородность массива. Многочисленные исследования, выполненные специалистами в натуральных условиях, показали, что размеры зоны трещиноватости взрывного происхождения находятся в прямой зависимости от мощности применяемого ВВ и в обратной зависимости от крепости разрушаемых пород. В пределах этой зоны, разбитой трещинами, преимущественно параллельными продольной оси выработки, механические характеристики пород существенно отличаются от соответствующих характеристик ненарушенного массива.

Буровзрывной способ как основной, зачастую и единственный способ проведения горных выработок в крепких скальных породах, оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние не только через формирующуюся технологическую неоднородность. Даже при тщательном оконтуривании выработки, так называемом «гладком» контурном взрывании, стенки выработки имеют технологические неровности, искажающие предполагаемую концентрацию напряжений на проектном контуре. Наблюдается увеличение напряжений на участках с максимальной кривизной и уменьшение на участках с минимальной кривизной контура. Особенно можно отметить появление растягивающих радиальных напряжений в области выступов. Так как горные породы обычно имеют низкую прочность на растяжение, в указанных областях следует ожидать скалывание породных выступов, часто наблюдаемое в натуре и в некоторых случаях сопровождающееся «стрелянием» горных пород. Поскольку технологические неровности контура могут быть очагами более высокой концентрации напряжений, чем проектные очертания контура, то практически исчезает различие между различными проектными сечениями выработок в отношении величины концентрации напряжений. Этот вывод подтверждается также и тем, что концентрация напряжений независимо от природы концентраторов охватывает лишь небольшую область приконтурного массива и быстро затухает вглубь массива. Таким образом, при буровзрывном способе разрушения пород напряженное состояние массива в окрестности выработок в течение непродолжительного времени их службы мало зависит от формы проектного сечения.

Так как окружающие выработку породы имеют ограниченную несущую способность, т.е. способность сопротивляться увеличению напряжений, и могут деформироваться без разрушения в определенных пределах, то следствием сформировавшегося при проведении выработки нового напряженно-деформированного состояния могут быть процессы разрушения горных пород, проявляющиеся в одних случаях в виде хрупкого разрушения, в других – в виде пластического течения. В результате этого вокруг выработки образуются области запредельного состояния и полного разрушения, которые могут охватывать весь контур

выработки или отдельные его части. Деформируемость разрушенных пород повышается, а это в свою очередь вызывает значительное увеличение смещений породного контура.

Образование в породном массиве частично или полностью разрушенных областей пород является одной из форм реализации механических процессов деформирования пород или, как принято говорить, одной из форм проявления горного давления. Частичное или сплошное сводообразование, значительные смещения породного контура, т. е. основные источники формирования нагрузок на конструкции подземных сооружений, являются следствием процессов разрушения.

Разрушение кровли горных выработок происходит практически всегда, если не сразу после обнажения кровли, то со временем по мере снижения прочности обнаженных пород. Однако масштабы этого разрушения могут быть различными: в одних случаях разрушение происходит в виде незначительного шелушения кровли, не нарушающего нормальной эксплуатации выработки в незакрепленном состоянии; в других случаях разрушение приобретает такие масштабы, что для безопасности горных работ требуется проведение специальных мероприятий по укреплению кровли. Эти мероприятия оправдывают себя при поддержании капитальных и подготовительных горных выработок в увязке со сроком службы.

Особый интерес представляет изучение условий поддержания выработок на месторождениях Узбекистана и региона Центральной Азии [12]. Отличительной особенностью в этом регионе является то, что, кроме факторов, носящих общий характер для системы «породный массив–горная выработка», рассмотренных выше, Центрально-Азиатский регион относится к зонам, подверженным землетрясениям разрушительной силы [1]. По многолетним данным сейсмологов в этих районах ежегодно в среднем происходит более двухсот землетрясений силой свыше двух баллов. На ликвидацию их последствий часто тратятся большие средства, что несомненно отражается на себестоимости продукции. Весьма ощутимый ущерб наносят нередкие в этом регионе сильные землетрясения, и значительная часть ущерба приходится на восстановление подземных выработок [8].

Особенностью региона является не только проявление динамических сейсмических процессов. Как известно, период между землетрясениями характеризуется накоплением упругой энергии деформаций породного массива, то есть ростом действующих напряжений. Очевидно, поле тектонических напряжений, величина которых меняется относительно медленно (можно считать как квазистатический процесс), оказывает достаточно ощутимое воздействие на горные выработки [9,10].

Известны результаты многолетних наблюдений за состоянием горных выработок, находившихся под влиянием тектонических напряжений.

Обследование подготовительных выработок показало, что их состояние иногда продолжает оставаться неудовлетворительным, несмотря на частые ремонты. Обращает на себя внимание объем работ по поддержанию выработок, когда отдельные участки в среднем ремонтировались через 1-1,5 года, хотя есть участки, на которых ремонт крепи производили 2-3 раза в течение одного года. Было изучено состояние выработок, закрепленных металлической арочной крепью, которая имеет большой удельный объем по сравнению с другими конструкциями. Эта крепь по конструктивным особенностям должна работать достаточно надежно в податливом режиме, т.е. обеспечивать заданные расчетные деформации без разрушения. На самом же деле рама оказывается «смята» боковыми нагрузками, а выработка сужается в результате этого воздействия, или же рама деформируется, словно нет в конструкции крепи узлов податливости. Типичной формой разрушения арочной металлической крепи является деформация рамы в виде кручения – превращения в «восьмерку» [14,17,18]. Нередко разрушению или потере несущей способности крепи предшествует отклонение рамы от заданного проектного положения, т.е. потеря устойчивости. Причем, причина потери устойчивости крепежной рамы может быть различной: неравномерность нагрузки по контуру из-за анизотропии свойств породного массива, неравномерность распределения нагрузки от горного давления на соседние крепежные рамы, разброс показателя жесткости крепежных рам, нагрузки, действующие на раму вне плоскости расположения, динамические нагрузки и т.д. Вполне естественно, что потеря устойчивости крепежной рамы приводит к резкому снижению ее несущей способности, вследствие чего со временем такие участки выработок деформируются и требуют восстановительного ремонта. С экономической точки зрения стоимость ремонта каждого погонного метра аварийного участка подземной горной выработки бывает сопоставим или даже может превысить стоимость сооружения одного метра новой выработки [6,13].

Обращает на себя внимание факт типичного разрушения металлической арочной крепи в узлах соединения соседних элементов - стойки с верхняком. Наиболее часто это выражалось «выстреливанием» гайки, используемой для крепления хомутов. Отмечается, что при значительных нагрузках на рамную крепь, причем, боковая нагрузка превышает вертикальную, происходит заклинивание узлов податливости. Затем рама работает в жестком режиме до разрушения в узлах соединения элементов, либо от потери несущей способности. Крепь испытывает сложное сочетание нагрузок (давление от вышележащих слоев, тектонические напряжения, динамические нагрузки от землетрясений), в связи с чем и наблюдается отмеченное состояние выработок.

### *Список литературы*

1. *Быковцев А.С., Прохоренко Г.А., Сытенков В.Н.* Моделирование геодинамических и сейсмических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых. Ташкент: Фан, 2000. 271 с.
2. *Волченко Г.Н.* Энергоресурсосберегающие технологии взрывной отбойки напряженных пород на рудниках. Новокузнецк: Сибирский гос. индустриальный ин-т, 2010. 238 с.
3. *Гасанова Н.Ю., Салямова К.Д., Меликулов А.Д.* Анализ изменчивости деформационных свойств массива горных пород и возможность управления ими при различных геотехнологических процессах // Вопросы науки и образования, 2018. – № 10. – С. 35–39.
4. *Зубков А.В.* Геомеханика и геотехнология. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2000. – 335с.
5. *Костромитинов К.Н., Лысков В.М.* Оценка эффективности отработки месторождений драгоценных металлов. Иркутск: Байкальский гос. техн. ун-т, 2015. 530 с.
6. *Кошелев К.В., Томасов А.Г.* Поддержание, ремонт и восстановление горных выработок. Москва: Недра, 1985. 215 с.
7. *Кучерский Н.И.* Современные технологии при освоении коренных месторождений золота. М.: Руда и металлы, 2007. 696 с.
8. *Плетнев И.Д., Рахимов В.Р., Таджибаев А.А., Меликулов А.Д.* Исследование влияния сейсмотектонических явлений на устойчивость горных выработок // Уголь. 1983. №12. С. 12–15.
9. *Салямова К.Д., Меликулов А.Д.* Решение задач оценки устойчивости подземных выработок и бортов карьеров численными методами механики. Материалы международной научно-технической конференции «Прочность материалов и элементов конструкций». Киев: Ин-т проблем прочности НАН Украины, 2011. С.374-379.
10. *Султанов К.С., Салямова К.Д., Хусанов Б.Э., Меликулов А.Д.* Анализ напряженно-деформированного состояния инженерных сооружений при динамических нагрузках // Вестник Ташк. гос. технического ун-та. 2003. № 2. С. 107–111.
11. *Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В.* Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2012. № 4. С.116-124.
12. *Фарманов А.К., Санакулов К.С.* Состояние и перспективы добычи драгоценных и цветных металлов в Узбекистане // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 4. С. 44–47.
13. *Хоменко О.Е., Ляшенко В.И.* Ресурсосберегающие технологии добычи руд на больших глубинах// Известия вузов. Горный журнал, 2018. № 8. С. 23.

14. *Agterberg F.* Geomathematics: Theoretical foundations, applications and future developments. – Heidelberg –New York – London: Springer Intern. Publishing, 2014. 553 pp. DOI: 10.1007/978-3-319-06874-9.
15. *Aydan O.* Time-Dependency in Rock Mechanics and Rock Engineering. London, UK: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. 240 pp.
16. *Burd A.* Mathematical Methods in the Earth and Environmental Science. Cambridge University Press, 2019. – 584 pp. DOI: 10.1017/9781316338636.
17. *Melikulov A.D., Aripov A.T., Salyamova K.D., Rumi D.F., Ismailov A.S.* Investigation and maintenance of underground mining developments in seismic-tectonic active areas of the Central Asia. // 25-th World Mining Congress. Proceedings. – Astana, Kazakhstan, 2018. P. 1506-1515.
18. *Melikulov A.D., Salyamova K.D., Gasanova N.Y., Rumi D.F.* Analysis of the conditions of effective and safe explosive destruction of rocks during the construction of underground facilities // Polish journal of science. 2019. №15. Vol. 1. P. 47-51.
19. *Wang S., Hagan P.C., Cao C.* Advances in rock-support and geotechnical Engineering. – Tsinghua University Press Ltd., China Published by Elsevier Inc., Amsterdam – Boston, 2016. – 410 pp.
20. *Wittke W.* Rock mechanics based on an anisotropic jointed rock model. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co., 2014. 875 pp. DOI: 10.1002/978-3-433-60428-1.