

**Зеркаль В.В.**, магістр  
(ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ И  
ПОДДЕРЖАНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ ЗАПАДНОГО  
ДОНБАССА**

**Зеркаль В.В.**, магістр  
(ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»)

**ИННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ПРОВЕДЕННІ І ПІДТРИМАННІ  
ГІРНИЧИХ ВИРОБОК НА ШАХТАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ**

**Zerkal V.V.**, M.S (Tech.)  
(PJSC «DTEK Pavlogradugol»)

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR DRIVING AND SUPPORTING  
TUNNELS IN THE MINES OF THE WESTERN DONBASS**

**Аннотация.** Предметом исследований являлись параметры нагнетания смол в горный массив для его упрочнения и изоляции выработок от водопритоков. Проведен анализ методик расчета удельного содержания смолы в объеме породы, радиуса распространения состава вокруг шпура, давления нагнетания и объема нагнетаемого состава. Установлено, что данные параметры существенно зависят от применяемой технологии смолизации (последующая или предварительная) и расстояния упрочняемого сечения выработки до зоны сместителя нарушения, а также от отставания инъекционных работ в пространстве и во времени от проходческого забоя выработки при последующей смолизации. Обоснована необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований по отработке рациональных режимов нагнетания смол в горный массив с учетом специфики горно-геологических условий шахт Западного Донбасса с целью повышения устойчивости и изоляции выработок при минимальных финансовых затратах.

**Ключевые слова:** технологии упрочнения горных пород, расчет параметров нагнетания смол в массив, повышение устойчивости и изоляции выработок.

Шахты ООО «ДТЭК-Энерго» обрабатывают угольные пласты в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся слабыми вмещающими породами и притоками воды в горные выработки. Надлежащая устойчивость выработок является важным звеном в обеспечении эффективной работы горных предприятий. Неудовлетворительное состояние выработок снижает производительность добычных участков и уровень безопасности работ. Подготовка к отработке новых запасов угля и другие производственные процессы приводят к необходимости пересечения выработками мелких и крупных геологических нарушений. В таких условиях требуется применение прогрессивных технологий упрочнения горных пород и снижения водопритоков в выработки, предусматривающих нагнетание в массив различных современных полимерных химических составов.

Высокая эффективность применения технологий тампонажа массива может быть обеспечена научно обоснованным выбором их технических и технологических параметров для условий шахт Западного Донбасса.

Целью исследований является обоснование параметров рациональной технологии тампонажа породного массива для повышения устойчивости и изоляции горных выработок в условиях шахт Западного Донбасса.

Сущность технологий тампонажа состоит в искусственном заполнении пустот, пор и трещин породного массива составами, способными со временем затвердевать, образуя в нарушенных породах прочный каркас. Данные мероприятия способствуют консолидации массива, тем самым повышая его прочностные характеристики и препятствуя конвергенции пород и движению подземных вод. С этой целью в массиве горных пород бурят шпуров  $\varnothing$  42-45 мм, которые являются инъекционными каналами, с последующим нагнетанием через них полимерных химических составов или быстросхватывающегося тампонажного раствора. Химический состав подается в горный массив через инъекционные анкера типа IRMA, BVS-40 или K-110, выполненные из полых толстостенных труб  $\varnothing$  22 мм с наружной накатной метрической резьбой М-24, имеющих обратные клапаны и резиновые герметизаторы, обеспечивающие плотное закрепление анкера в шпуре и позволяющие направлять инъектируемый состав к забою шпура. Инъекционный раствор, распространяясь на определенное расстояние от шпуров, заполняет пустоты и трещины в породах. После завершения полимеризации(затвердевания) раствора прочность массива горных пород увеличивается, а водопроницаемость в значительной степени уменьшается. Данные мероприятия повышают устойчивость горных выработок и дают возможность проводить их в относительно благоприятных гидрогеологических условиях.

В зависимости от материала, который нагнетают в массив горных пород, различают следующие основные способы тампонажа: силикатизация, глинизация, цементация и смолизация [1].

Силикатизация заключается в применении неорганических высокомолекулярных соединений силикатных растворов жидкого стекла и их производных, которые при соединении с коагулянтом через определенное время, зависящее от удельного объема коагулянта, образуют гель кремниевой кислоты, омоноличивающий частицы породы. Силикатизация существенно повышает водонепроницаемость массива, а его прочность увеличивается незначительно. Различают способы двухрастворной и однорастворной силикатизации.

При двухрастворной силикатизации в массив нагнетают поочередно растворы силиката натрия и коагулянта – хлористого кальция. Образующий в результате смешивания гель кремниевой кислоты придает породе прочность на одноосное сжатие порядка 1,5-5 МПа и повышает водонепроницаемость массива. Данный способ целесообразно применять для упрочнения песков с

коэффициентом фильтрации 2-80 м/сут, в которых скорость движения подземных вод не превышает 5 м/сут, а рН подземных вод – не более 9.

При однорастворной силикатизации в массив нагнетают готовый гелеобразный раствор, состоящий из смеси силиката с коагулянт (однофосфорная, кремнефтористоводородная кислоты или алюминат натрия). При этом для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий важно выдерживать рациональное процентное соотношение составляющих раствора, которое определяет время твердения смеси. Данный способ силикатизации применяют в песчаных и лессовых породах с коэффициентом фильтрации 0,5-50 м/сут при скорости движения вод не более 8 м/сут, рН – не более 7.

Глинизация заключается в нагнетании в массив водного раствора глины. Преимуществами глинизации являются дешевизна и высокие изолирующие свойства материала, а также его способность противостоять действию агрессивных вод. К недостаткам следует отнести неспособность глинизации повышать прочностные свойства массива, а также неприменимость данного способа в мелкотрещиноватых горных породах.

Цементация – это искусственное заполнение трещин, пор и пустот в горных породах цементными растворами, нагнетаемыми под давлением (до 5 МПа и выше). Уплотнившиеся и затвердевшие растворы повышают прочность, устойчивость, плотность и газодонепроницаемость горного массива. Применяется цементация в скальных крупно-, средне- и мелкотрещиноватых, крупнообломочных несвязных, при скорости движения подземных вод не более 600 м/сут; в гравийно-галечниковых горных породах с размером зерен более 2 мм при условии, что поры между зернами свободны от глинистых частиц; в крупнозернистых песках с диаметром зерен более 0,8 мм. Для цементации применяют цементы тонкого помола (частицы диаметром 0,233 мм и меньше; частицы размером не более 0,093 мм – не менее 85%). Раствор может проникать в трещины с раскрытием в 2-3 раза большим диаметра частиц цемента – т.е. 0,2-0,3 мм. В последнее время применяют быстро схватывающиеся цементы сверхтонкого помола типа MasterRoc MP, способные проникать в трещины размером 0,01-0,02 мм.

В настоящее время все большее распространение получают способы упрочнения и изоляции горного массива путем нагнетания под давлением химических составов (полиуретановых, органоминеральных, карбамидных, фенолформальдегидных, полиэфирных и др. смол), изменяющих со временем свое фазовое состояние из жидкого в твердое – смолизация [2]. Низкая первоначальная вязкость химических составов, их молекулярная дисперсность и высокое давление нагнетания позволяют им проникать в трещины с шириной раскрытия 0,01 мм и более. Давление нагнетания и расход составов принимают из условия обеспечения наибольшего заполнения трещин, но без разрушения массива. Укрепление трещиноватых массивов горных пород происходит за счет создания в них прочного каркаса из отвердевшей смолы. При этом, в зависимости от степени насыщенности пор и трещин смолой, обеспечивается

полная или частичная изоляция выработки от поступлений газа и воды. Наибольшая эффективность смолизации достигается в трещиноватых крепких породах, отдельно-зернистых и даже пористых с коэффициентом фильтрации 0,5-50 м/сут, при этом минимальный размер частиц несвязанного массива составляет 0,01-0,05 мм. Широкое применение смолизации сдерживается относительно высокой стоимостью смол.

Таким образом, анализ способов упрочнения и изоляции горного массива показал, что все применяемые составы наиболее эффективно работают в трещиноватых породах, имеющих довольно высокую собственную прочность хотя бы на молекулярном уровне. Шахты Западного Донбасса преимущественно ведут горные работы в условиях слоистых глинистых пород (аргиллиты и алевролиты). Наиболее приемлемым способом консолидации пород в таких условиях является смолизация массива, так как химические составы имеют наибольшую адгезию с породами (в том числе в обводненном массиве) и наиболее качественно «склеивают» слоистый массив. Кроме того, высокие прочностные свойства смол позволяют создавать каркас, препятствующий деформациям массива.

Различают смолизацию последующую, выполняемую после проведения и крепления выработок и предварительную, т.е. опережающую проходческий забой. Они обладают своими преимуществами и недостатками. Последующая смолизация способствует повышению насыщенности обрабатываемого слоя массива химическими составами, тем самым, повышая его прочностные и изолирующие свойства. Однако, отставание смолизации в пространстве и во времени от проходческого забоя выработки обуславливает развитие зоны неупругих деформаций над выработкой, повышая этим нагрузку на крепь. Поэтому величина отставания в конкретных горно-геологических условиях (свойства пород, близость к геологическому нарушению и т.д.) является важным параметром технологии смолизации пород.

В нормативном документе [3] рекомендовано смолизацию пород производить либо с отставанием от проходческого забоя после естественного образования зоны неупругих деформаций, либо после искусственного создания зоны разрушенных пород камуфлетным взрыванием. Основными параметрами инъекционного закрепления горного массива являются: удельное содержание скрепляющего состава ( $q$ ) в объеме породы; длина нагнетательных шпуров ( $L_{um}$ ); расстояние между шпурами ( $\ell$ ); углы заложения шпуров ( $\alpha$  и  $\beta$ ); радиус распространения состава вокруг шпура ( $R$ ); давление нагнетания ( $P_n$ ) и объем нагнетаемого состава ( $Q$ ). Параметр  $q$  определяется исходя из объема пор и трещин в горной породе, доступных для проникновения скрепляющего состава. В песчано-глинистых и глинистых сланцах объем пор и трещин составляет 2,0-3,0 %, а 85 % этого объема составляют недоступные для молекул смолы поры размером менее 20 Å. На основании этого для породы  $q = 8 - 12 \text{ л/м}^3$ . При этом, в зонах влияния тектонического нарушения значение параметра  $q$  возрастает до максимального в указанном диапазоне. Длина нагнетательных шпуров определяется исходя из развития предельных зон разрушения вокруг

выработок. По технологическим условиям инъекционного упрочнения вмещающего массива длина шпуров не должна превышать: для горных пород – 3-5 м, для углей – 8 м.

По методике КузНИИшахтоостроя объем пустот в горных породах, подлежащих заполнению тампонажным материалом, определяют по формуле

$$Q_n = 0,25\pi D^2 M m_\tau \alpha, \quad (1)$$

где  $D$  – внешний диаметр упрочненного слоя, м;  $M$  – протяженность тампонируемого участка выработки (длина заходки), м;  $m_m$  – скважность (трещинная пустотность горных пород);  $\alpha = 1,25 \div 1,35$  – коэффициент неравномерности распространения трещин и пустот в горных породах.

Основным показателем качества смолизации массива является степень заполнения трещин химическим составом. Поэтому после оценки трещинной пустотности массива рассчитывают необходимый объем закачиваемого в породы состава.

В работах [3, 4] объем скрепляющего состава, нагнетаемого в один шпур, предложено рассчитывать по формуле:

$$Q = mD(L_{скв} - L_{герм})\rho q k_n, \quad (2)$$

где  $m$  – мощность обрабатываемого слоя, м;  $D$  – ширина обрабатываемого слоя (длина заходки), м;  $L_{скв}$  – длина нагнетательной скважины, м;  $L_{герм}$  – длина герметизации, м;  $\rho$  – объемная плотность скрепляющего состава, т/м<sup>3</sup>;  $q$  – удельное содержание скрепляющего состава в объеме горной породы, угля л/м<sup>3</sup>;  $k_n$  – коэффициент неравномерности обработки ( $k_n = 1,2 - 1,8$ ).

Рассчитанный объем закачиваемого скрепляющего состава служит для контроля его случайных утечек и уточняется в процессе нагнетания [5].

В работе [6] предложена формула для определения радиуса распространения состава вокруг нагнетательной скважины

$$R = \sqrt{Q_{ск} t / (\pi M m_\tau k_n)}, \quad (3)$$

где  $Q_{ск}$  – интенсивность расхода состава, нагнетаемого в скважину, м<sup>3</sup>/с;  $t$  – продолжительность нагнетания, с;  $M$  – мощность тампонируемого породного слоя, м;  $k_n = 1,25 \div 1,35$  – коэффициент неравномерности распространения пустот и трещин в горных породах;  $m_m$  – скважность (трещинная пустотность массива).

В зависимости от применяемой технологии смолизации (последующая или предварительная), давление нагнетания скрепляющего состава в предварительно разгруженных породах рекомендовано определять по формуле [3, 4]

$$P = 0,5\mu H (\sin^2 \delta + \lambda \cos^2 \delta), \quad (4)$$

а при опережающей смолизации массива давление нагнетания следует определять по формуле

$$P = \gamma H (\sin^2 \delta + \lambda \cos^2 \delta) + \sqrt{\frac{8\mu}{\pi e} (1 - \lambda)^2 \sin^2 2\delta}. \quad (5)$$

где  $\gamma$  – средневзвешенная плотность горных пород, т/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина ведения работ по упрочнению, м;  $\delta$  – угол залегания горных пород, град;  $\mu$  – эффективная поверхностная энергия горных пород, Дж/м<sup>2</sup>. ( $\mu = 10-17$  Дж/м<sup>2</sup>);  $e$  – размер трещин, принимается равным 10<sup>-3</sup> м;  $\lambda$  – коэффициент бокового подпора, который принимает значения в пределах  $0 \leq \lambda \leq 1$ .

В последнее время на шахтах ООО «ДТЭК-Энерго» при пересечении выработками геологических нарушений активно применяются технологии смолизации породного массива. Данные мероприятия способствуют упрочнению горных пород и снижению водопритоков в выработки. Например, на шахте «Самарская» в 2015 г. [7] при пересечении откаточным квершлагом Богдановского сброса осуществляли нагнетание в массив смолы MasterRoc MP 364 Flex, технические параметры которой приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристики реакции смолы MasterRoc MP 364 Flex при температуре 23<sup>0</sup> С

Время текучести	90 с ± 30 с
Время твердения	2 мин. 30 с ± 30 с
Кратность вспенивания	1
Прочность на одноосное сжатие	34 МПа
Адгезия к бетону	3,6 МПа
Показательное время	< 5 мин.

Показательное время – время, необходимое для достижения адгезии 1 МПа.

В процессе смолизации массива осуществляли контроль давления нагнетания и расход смолы. Установлено, что данные параметры существенно зависят от применяемой технологии смолизации (последующая или предварительная) и расстояния упрочняемого сечения выработки до зоны сместителя нарушения. Рациональное давления нагнетания колебалось от 10 ат при предварительной до 5 ат при последующей смолизации. Кроме того, при последующей смолизации массива давление нагнетания в значительной степени зависит от отставания инъекционных работ в пространстве и во времени от проходческого забоя выработки.

С уменьшением расстояния упрочняемого сечения выработки от зоны сместителя нарушения трещинная пустотность пород увеличивается, что характеризуется возрастанием расхода смолы (рис. 1). Однако, анализ графика показывает, что как в зоне, так и за зоной сместителя, наблюдаются значительные перепады расхода смолы. Одной из причин этого могут являться утечки смолы через магистральные трещины далеко за зону проектного упрочнения пород. При этом более мелкие трещины в массиве вокруг контура охраняемой выработки не заполняются упрочняющим составом.

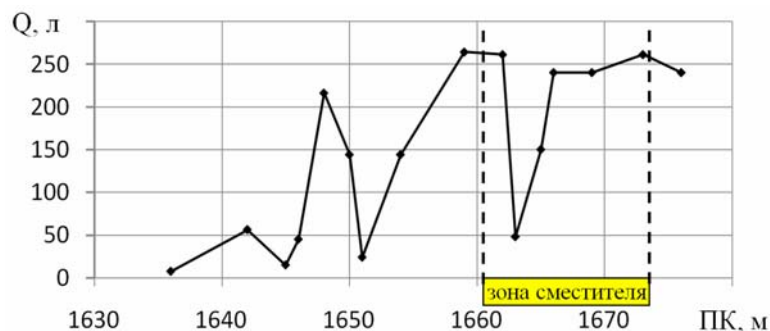


Рисунок 1 – Зависимость расхода смолы от расстояния до зоны сместителя

Таким образом, в процессе исследований получены следующие результаты:

– установлено, что параметры смолизации зависят от применяемой технологии (последующая или предварительная) и расстояния упрочняемого сечения выработки до зоны сместителя нарушения, а также от отставания инъекционных работ в пространстве и во времени от проходческого забоя выработки при последующей смолизации;

– обоснована необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований по отработке рациональных режимов нагнетания смол в горный массив с учетом специфики горно-геологических условий шахт Западного Донбасса с целью повышения устойчивости и изоляции выработок при минимальных финансовых затратах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горная энциклопедия в 5 т. / Гл. ред. Е. А. Козловский. – М.: Сов. энцикл., 1984-1991.
2. Климчук, И. Специфика выбора безопасных технологий стабилизации массивов горных пород с учетом особенностей различных полимерных систем / И. Климчук, В. Белозеров // Глюкауф Майнинг Репорт. – 2014. - № 1. – С. 56-63.
3. Правила перетинання гірничими виробками зон геологічних порушень на пластах, схильних до раптових викидів вугілля та газу: СОУ-П 10.1.00174088.017:2009. – Офіц. вид. – К.: Мінвуглепром України, 2009. – 40 с.- (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
4. Технология упрочнения горных пород, углей и грунтов на основе использования синтетических материалов. Методические указания: КД 12.01.001-2000. - К.: Минтопэнерго Украины, 2001. – 37 с.
5. Канин, В.А. О возможности локального закрепления легкообрушающихся пород в штреках / В.А. Канин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. - – Днепропетровск, 2006. – № 64. – С. 198-206.
6. Болотских, Н.С. Строительство стволов шахт и рудников: Справочное издание для инженерно-технических работников горнодобывающих предприятий / Н.С. Болотских. - М.: Недра, 1991. – 516 с.
7. Панченко, В.В. Технология пересечения высокоамплитудного геологического нарушения в условиях ПСП шахты «Самарская» / В.В. Панченко, Э.В. Френцель, В.В. Зеркаль [и др.] // Уголь Украины. - 2017. – № 4. - С. 16-20.

#### REFERENCES

1. Mining encyclopedia in 5 volumes (1984-1991), Ch. Ed. E.A. Kozlovsky. - Moscow: Sov. encycl. SU.
2. Klimchuk, I. and Belozеров, V. (2014), “Specificity of the choice of safe technologies for the stabilization of rock massifs taking into account the features of different polymer systems”, No. 1, pp. 56-63.
3. Ukraine Ministry of Coal Industry (2009), *SOU-T - 10.1.00174088.017:2009. Pravyly peretynannya girnychymy vyrobkamy zon geologichnykh porushen na plastakh, skhylnykh do raptovykh vykydiv vugillya ta*

*gazu* [The rules are reshuffled by gyrnichnymi vibrokami zones geologicheshnyh railings on the seams, skhilnih to raptoviks wikidiv wogilli ta gas], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.

4. Ministry of Fuel and Energy of Ukraine (2001), *Tekhnologiya uprochneniya gornyykh porod, ugley i gruntov na osnove ispolzovaniya sinteticheskikh materialov: Metodicheskiye ukazaniya* [Technology hardening of rocks, coals and soils based on the use of synthetic materials. Methodical instructions]: KD 12.01.001-2000, Kiev, UA.

5. Kanin, V.A. (2006) "On the possibility of local fastening of easily collapsing rocks in drifts", *Geo-Technical Mechanics*, no. 64, pp. 198-206.

6. Bolotsky, N.S. (1991), *Stroitelstvo stvolov shakht i rudnikov. Spravochnoye izdaniye dlya inzhenerno-tekhnicheskikh rabotnikov gornodobyvayushchikh predpriyatiy* [Construction of shafts of mines and mines: Reference book for engineering and technical workers of mining enterprises], Nedra, Moscow, SU.

7. Panchenko, V.V., Frenzel, E.V., Zerkal, V.V. [and othersetc.] (2017), "Technology of crossing high-amplitude geological disturbances in the conditions of the PSP of the mine "Samarskaya", *Coal of Ukraine*, no. 4, pp. 16-20.

---

### Об авторе

**Зеркаль Владимир Викторович**, магистр, заместитель главного инженера по производству ПСП «Шахтоуправление Першотравенское», ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», Украина.

---

### About the author

**Zerkal Vladimir Viktorovich**, Master of Science, Deputy Chief Engineer for production of PSP "Shakhtoupravlenie Pershotravenskoe", PJSC "DTEK Pavlogradugol", Ukraine

---

**Анотація.** Предметом досліджень були параметри нагнітання смол в гірський масив для його зміцнення та ізоляції виробок від водопритоків. Проведено аналіз методик розрахунку питомої вмісту смоли в обсязі породи; радіуса поширення складу навколо шпуру; тиску нагнітання і обсягу складу, що нагнітається. Встановлено, що дані параметри істотно залежать від застосовуваної технології смолізації (наступна або попередня) і відстані зміцнюваного перерізу виробки до зони змішувача порушення, а також від відставання ін'єкційних робіт в просторі і у часі від прохідницького вибою виробки при наступній смолізації. Обґрунтовано необхідність проведення додаткових експериментальних досліджень щодо відпрацювання раціональних режимів нагнітання смол в гірський масив з урахуванням специфіки гірничо-геологічних умов шахт Західного Донбасу з метою підвищення стійкості та ізоляції виробок при мінімальних фінансових витратах.

**Ключові слова:** технології зміцнення гірських порід, розрахунок параметрів нагнітання смол в масив, підвищення стійкості та ізоляції виробок.

**Annotation.** Subject of the research was parameters of the tar injection into the rock massif for its consolidation and for tunnel isolation from water inflows. Different methods for calculating specific content of tar in the rock volume, radius of the mixture distribution around the hole, and injection pressure and volume of the injected mixture were analyzed. It is established that these parameters essentially depend on the applied technology of tarring (subsequent or preliminary) and distance between the consolidated section of the tunnel and zone with geological disturbance, as well as on time- and space-lagging of the injection operations behind heading development at the next tarring. It is grounded that further experimental studies are needed for working out rational modes of the tar injections into the rocks with taking into account specificity of mining and geological conditions in the mines of the Western Donbass with the purpose of improving the tunnel stability and isolation at minimal financial expenditures.

**Key words:** technologies for rock consolidation, calculation of parameters for tar injection into the rock massif, improvement of tunnel stability and insulation.

*Стаття поступила в редакцію 4.09.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.А. Курносовым.*