

УДК 622.831

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ОБРУШЕННЫХ ПОРОД

В.О. Торро, Е.В. Кузнецов, А.В. Ремезов, С.С. Кутонов

*Аннотация: В ходе отработки второго и последующих слоёв мощных пологих пластов при обязательном наличии весьма неустойчивой активной кровли, склонной к обрушению, обусловленном особенностями технологии, часто происходят аварийные ситуации, связанные с прорывами пород кровли в призабойное пространство. Необходимость снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций, с возможно тяжёлыми последствиями в этом случае, определяет актуальность вопроса уплотнения обрушенных пород активной кровли. В этой связи целью работы являлось исследование процесса уплотнения обрушенных пород кровли на ряде шахт Кузнецкого бассейна.*

*В результате исследований был установлен ряд зависимостей процесса уплотнения от свойств обрушившихся пород, горно – геологических, гидрогеологических и др. условий. Были определены сроки, необходимые для достижения в процессе уплотнения необходимых прочностных характеристик, обрушенных пород активной кровли в конкретных условиях.*

*Ключевые слова: отработка мощных пологих пластов, процесс уплотнения, кровля угольного пласта, дробимость, песчаник, алевролит, аргиллит, литологический состав породы, петрографический состав породы, горное давление, статическое давление воды, уплотняющее давление, размокание, адсорбционная способность, глубина отработки, время уплотнения.*

Кровли мощных пологих пластов Кузбасса, представленные аргиллитами, в основном относятся к неустойчивым и легкообрушающимся, так как их основу составляют глинистые материалы, которые обладают меньшей контактной прочностью. Устойчивость пород кровли также зависит во многом от слоистости пород. Расслоению подвергаются породы при наличии в них плоскостей ослабления, образованных слабым материалом или за счет чередования слабых и крепких пород. Только некоторые аргиллиты обладают высокой устойчивостью и обрушаются крупными блоками [1-4]. Повышенная устойчивость этих пород объясняется не прочностью, а своей неслоистой монолитной структурой и отсутствием трещиноватости. В большинстве же случаев, при наличии в кровлях угольных пластов аргиллитов, при обрушении кровель проявляется склонность этих пород к дроблению на достаточно мелкие куски, что способствует эффективному протеканию процесса уплотнения [5].

При наличии в кровле пластов алевролитов и песчаников устойчивость и характер обрушения кровель зависит как от естественной трещиноватости и структуры пород, так и от прочности межслоевых контактов. Как правило, песчаники и крепкие песчанистые алевролиты за счет прочных межслоевых контактов относятся к устойчивым кровлям и обрушаются за механизированной крепью крупными блоками, что, безусловно, затрудняет течение процесса уплотнения пород.

Исследования показали, что продолжительность и эффективность процесса уплотнения обрушенных пород зависит не только от физико-механических и петрографических свойств пород непосредственной кровли, но и от условий, в которых обрушенные породы находятся. Процесс уплотнения обрушенных пород протекает в следующей последовательности. Вначале породы кровли разрушаются при обрушении, затем разлагаются под влиянием окружающей среды, после чего уплотняются под действием горного давления и, наконец, с течением времени превращаются в массив, достигающий определенных параметров прочности на одноосное сжатие. Определено, что одним из основных факторов, определяющих ход процесса уплотнения пород кровли, является их склонность к разрушению, прежде всего при: обрушении, воздействии внешних нагрузок, статического давления воды. Причём, чем меньше размеры кусков дробленой породы, тем эффективнее протекает процесс уплотнения. В итоге разрушенная, разложившаяся под статическим воздействием воды порода, уплотняемая через посредство воздействия горного давления, постепенно приобретает конкретные прочностные характеристики, за счёт укрепления связи между ее частицами. Чем мягче и пластичнее породы, тем лучше они уплотняются. Наиболее трудно разрушаются породы с высоким значением предела прочности на сжатие и незначительной пластичностью. Низкой пластичностью обладают кварцесодержащие породы, из-за наличия жестких кварцевых зерен и зерен полевого шпата в породе. Пластичность повышается при увлажнении пород.

Смоченные водой породы разрушаются при значительно меньших нагрузках, чем сухие. Размокание пород зависит от их смачиваемости, т.е. от способности покрываться пленкой жидкости. Адсорбционная способность пород возрастает при наличии в них глинистых материалов. Ослабление прочностных характеристик пород при воздействии на них воды происходит в результате того, что глинистые породы при насыщении покрываются пленкой воды и теряют связь между частицами. Естественная влажность вмещающих пород мощных пологих пластов на глубине 170-200 м, соответствующей средней глубине их разработки на шахтах Кузнецкого бассейна, составляет 2-3% от объема пород. Такое количество воды мало способствует разложению обрушенных пород [5].

На адсорбционную способность также влияет пористость пород. Она зависит от формы и размеров зерен, слагающих породу, от прочности и плотности цемента. Песчаники очень крепкие и плотные породы, поскольку в их состав входит кварц. Поэтому, имея низкую пористость, они частично или вообще не смачиваются. Глинистые породы аргиллиты и алевролиты наиболее подвержены размоканию. Вода, заполняющая в них поры, трещины и пустоты воздействуют на минеральный скелет как физико-химическая активная среда. Вода, действуя на породу, приводит ее к набуханию, размягчению, к разложению на составные элементы, в отдельных случаях при очень рыхлых и слабосцементированных породах вплоть до растворения [5].

Уплотнение пород происходит за счет заполнения пустот между отдельными крупными кусками более мелкими, а также за счет раздавливания ослабленных трещинами кусков. Таким образом, уплотнение сопровождается усадкой обрушенных пород, представляющей собой отношение высоты пород в пресс-форме перед приложением нагрузки и после разгрузки:

$$\Delta V_1 \% = \frac{h - h_1}{h} \cdot 100 \quad (1)$$

где  $h$  – высота пород перед приложением нагрузки, см;

$h_1$  – высота пород после разгрузки, см.

Установлено, что процесс уплотнения в начальной стадии активизируется за счёт заполнения пустот между отдельными крупными кусками менее крупными, т.е. куски породы под нагрузкой занимают более плотное устойчивое положение, увеличивая вязкость слагающегося массива. Этот процесс сопровождается неизбежным взаимным перемещением кусков и частиц породы, которое находит своё выражение в виде сколов и микросдвигов частиц, слагающих породу. И при давлении на обрушенные породы  $420 \text{ тс/м}^2$  этот процесс в основном заканчивается. В дальнейшем при увеличении нагрузки до  $840 \text{ тс/м}^2$  уплотнение происходит очень медленно, поскольку затруднено преодоление прочных структурных связей в уплотняемом массиве, которые и сдерживают процесс уплотнения породы. Однако, поскольку величина прилагаемого уплотняющего давления меньше предела прочности на одноосное сжатие, можно сказать, что процесс уплотнения породы при заданной конечной нагрузке  $840 \text{ тс/м}^2$  (при глубине разработки 300 м) не заканчивается. Наиболее интенсивное уплотнение происходит при давлении на обрушенные породы до  $140 \text{ тс/м}^2$  (при глубине разработки до 60м. На этих глубинах оно достигает примерно (80-85) % от общего объема, см. рис. 1.

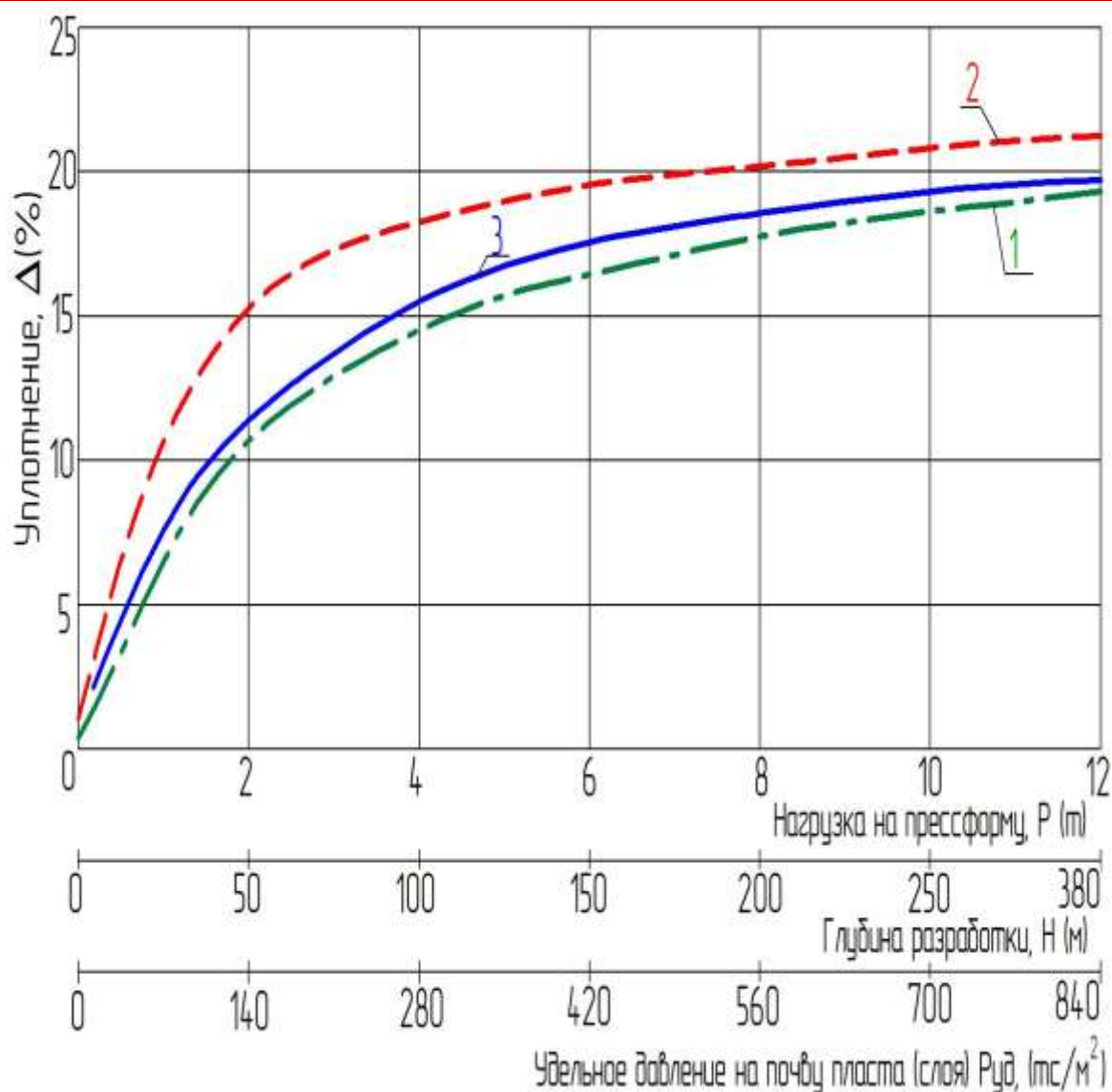


Рис.1. Зависимость уплотнения пород от величины прилагаемой нагрузки:

1 – при естественной влажности, 2 – при оптимальной влажности, 3 – при обработке обрушенных пород с оптимальной концентрацией глины в пульпе

С дальнейшим увеличением нагрузки (увеличением глубины разработки) уплотнение обрушенных пород происходит менее интенсивно.

Зависимость величины уплотнения и прочности образца породы на одноосное сжатие от различного количества добавляемых в массив воды и глины (рис. 2) показывает, что кривые имеют точку максимума, после которой дальнейшее добавление воды в породу, к уже имеющейся естественной влажности, не приводит ни к повышению уплотнения, ни к увеличению прочности уплотненной породы.

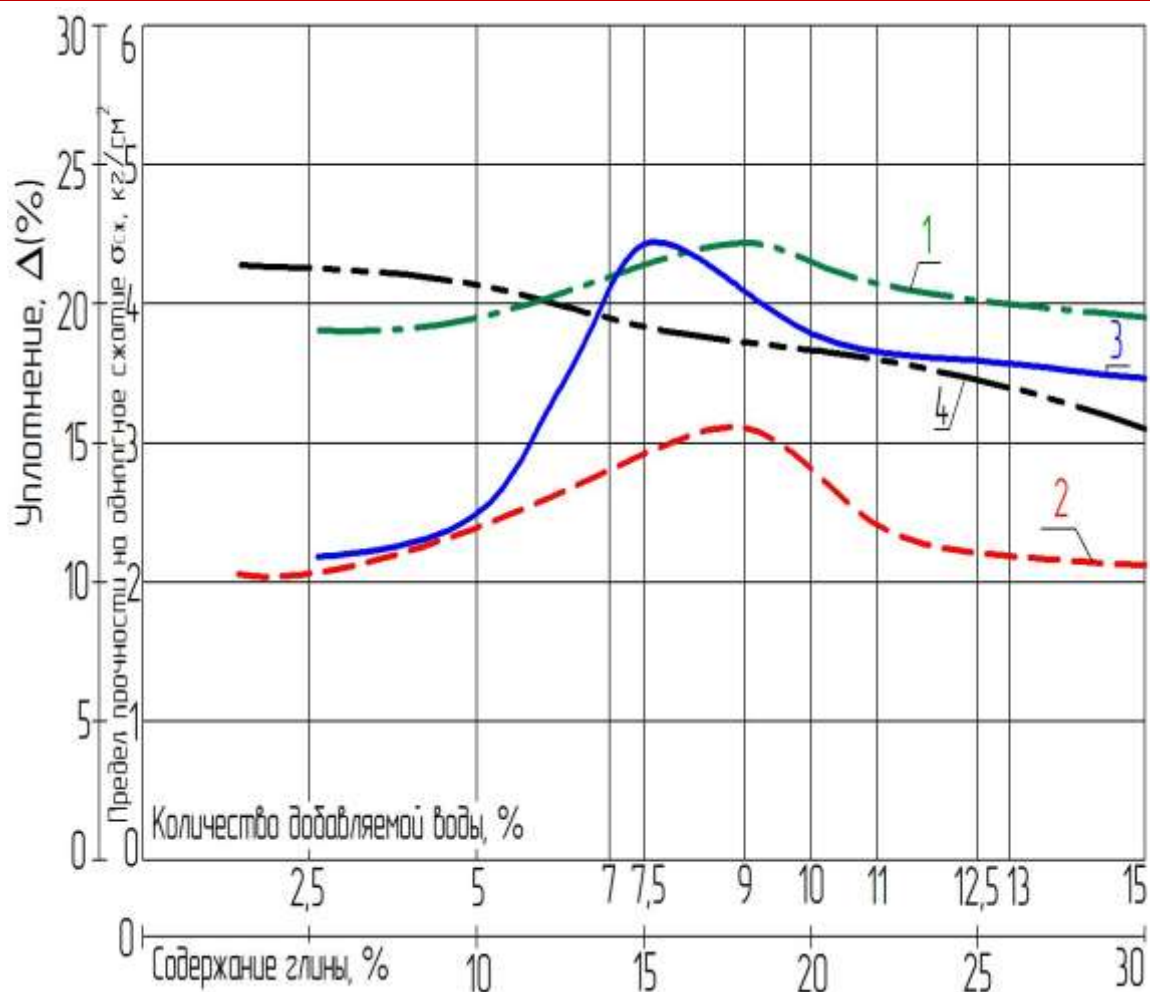


Рис.2 Зависимость величины уплотнения и прочности породы на одноосное сжатие от различного количества добавляемых в массив воды и глины: 1 – уплотнение породы при добавлении воды, 2 – изменение прочности пород при добавлении воды, 3 - прочность пород при различном содержании глины, 4 – уплотнение пород при различном содержании глины

Эта точка соответствует тому количеству добавляемой в массив воды, которое позволяет достичь максимального уплотнения при заданной нагрузке. По данным лабораторных исследований  $W=9\%$ .

$$W_{opt} = W + (2 - 3)\% \quad (2.)$$

где  $W_{opt}$  – оптимальная влажность породы, до которой необходимо увлажнять породу, чтобы получить максимальное уплотнение породы при заданной нагрузке;

$W$  – величина, на которую необходимо увеличить естественную влажность породы, чтобы достичь максимального уплотнения.

Это подтверждается опытным путём, а именно: при замачивании в воде образец породы весом в 1000 г впитывают в себя от 60 до 150 г воды, что составляет 6-16% к весу пород. Средний же процент воды, который дополнительно, помимо естественной влажности, удерживает в себе порода составля-

ет 9%. Из этого следует, что оптимальное количество воды, которое необходимо добавлять в породу для максимальной ее уплотняемости под нагрузкой равно 9%, тогда с учётом естественной влажности пород её общая концентрация в массиве составит 11-12%.

Вода, смачивая куски породы, играет роль смазки, уменьшающей трение между частицами. Обработка обрушенных пород глинистой пульпой с оптимальным содержанием воды 9% и глины от 5 до 30% с интервалом 5% показывает, что увеличение концентрации глины в пульпе уменьшает уплотняемость пород (рис.2, кривая 4). Максимальное значение предела прочности пород на одноосное сжатие обеспечивается при содержании глины в пульпе около 15% (рис.2, кривая 3). Дальнейшее увеличение количества глины в пульпе приводят к некоторому уменьшению прочности образца, поэтому оптимальным содержанием глины в пульпе, обеспечивающей наилучшие условия для слеживания обрушенных пород кровли, является концентрация в 15%.

Прочность обрушенных пород зависит от времени их нахождения под нагрузкой. Установлено, что прочность уплотнённой породы с естественной влажностью стабилизируется через 12-18 месяцев после начала приложения нагрузки. Уплотнённая порода при этом имеет следующий прочностной показатель – ( $\sigma_{сж} = 10$  кгс/см<sup>2</sup>), это является результатом её недоуплотнения (рис.3, кривая 1). Прочность уплотнённой породы при увеличении естественной влажности на 9% возрастает и составляет уже 14 кгс/см<sup>2</sup>. После обработки обрушенных пород глинистой пульпой с концентрацией в ней глины 15 %  $\sigma_{сж} = 16$  кгс/см<sup>2</sup> (рис.3, кривые 2 и 3). Дальнейшее нахождение обрушенных пород под нагрузкой дает приращение прочности пород на одноосное сжатие  $\approx 5$  кгс/см<sup>2</sup>. Из рис.3 также видно, что если при естественной влажности для достижения предела прочности на одноосное сжатие до 9 кгс./см<sup>2</sup> требуется 9 месяцев, то при увеличении влажности на 9% – около 3 месяцев, а после обработки глинистой пульпой с оптимальным содержанием глины 2-2,5 месяца [5].

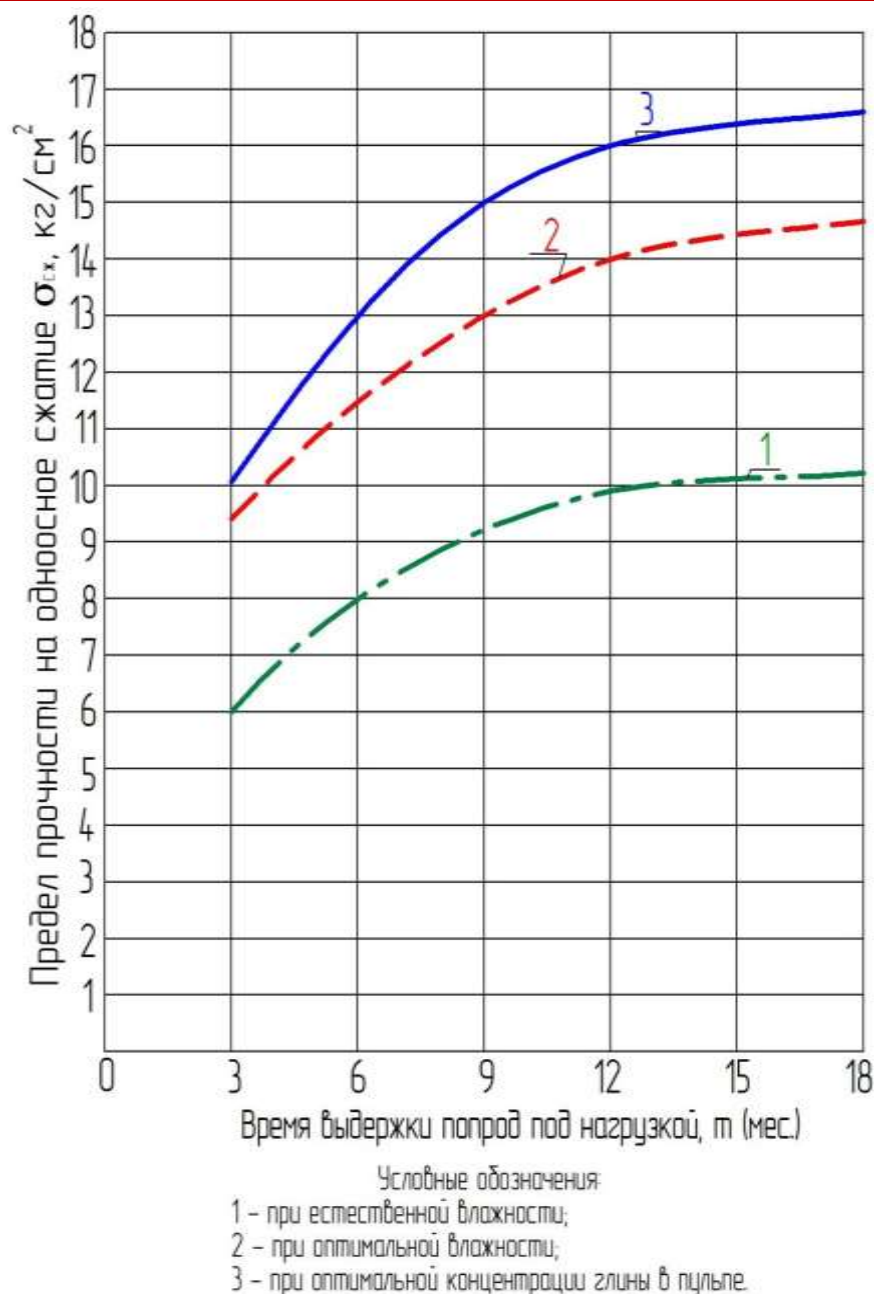


Рис.3. Зависимость прочности уплотнённой породы при одноосном сжатии от времени нахождения ее под нагрузкой

#### Выводы

1. Песчаники в виду высоких прочностных характеристик плохо уплотняются.

2. Аргиллиты же в пределах Кузнецкого бассейна обладают низкими прочностными свойствами. Основная масса их обычно глинистая, чаще с примесью углистого материала. Глины, содержащиеся в породе, обладают высокой пластичностью, они способны адсорбировать воду в больших количествах. Вода, проникая по трещинам и капиллярам между глинистыми части-

цами и слоями в решетке, вызывает набухание породы, то есть увеличивает ее объём и тем самым приводит к разрушению породы.

3. Пластические и прочностные свойства аргиллитов находятся в зависимости от минерального состава скелета породы, от степени перекристаллизации глинистого материала и от содержания в них углистой примеси. Наличие жестких кварцевых зерен и гидрослюды в породе при отсутствии углистого материала повышает ее прочность, а присутствие углистого материала в породе уменьшает пластические свойства, что затрудняет размокаемость и разложение породы и, в конечном счете, снижает степень способности породы к уплотнению.

4. Прочность испытанных обрушенных уплотнённых пород из аргиллитов показывает, что аргиллиты с преимущественным составом глинистого материала способны к уплотнению с приобретением достаточно высоких прочностных показателей при дополнительном к естественной влажности смачивании водой (до 9%).

5. Характерным для глины является ее высокая пластичность и вязкость. Связывающая способность глины проявляется в удержании большого количества непластических веществ, поэтому алевролиты и песчанистые алевролиты в отличие от аргиллитов и песчаников в большей степени обладают способностью к уплотнению.

6. Способность к уплотнению алевролитов и песчанистых алевролитов проявляется в их структурном строении, во взаимоотношении между зернами и цементом. Обычно тип цементации алевролитов базальный, т.е. с преобладанием цементирующего материала над обломочным. Такой тип породы содержат больше глинистого материала, чем песчаники с поровым или контактово-поровым типом цементации.

7. Алевролиты с преимущественным составом в цементе серицита почти или вовсе не размокают в воде и не распадаются на компоненты, так как слюда не впитывает воду. Кроме того, содержание серицита в породе в сочетании с кремнистым цементом повышает их прочность, но снижает их пластичность, являющуюся важным фактором, влияющим на эффективность протекания процесса уплотнения. Поэтому в алевролитах и песчанистых алевролитах с серицитовым и серицитово-кремнистым цементом процесс уплотнения не эффективен.

8. Анализируя результаты исследования литологического и петрографического состава, разрушаемости пород и изменения их свойств под действием внешней среды, можно сказать, что примерно в 65% обрушенных пород непосредственной кровли мощных пологих и наклонных пластов Кузнецкого бассейна процесс уплотнения будет протекать эффективно.



Список литературы

1. Торро В.О. Опыт отработки мощных пластов пологого залегания / В.О. Торро, В.П. Белов, А.В. Ремезов // Уголь, 2008. - №1. С. 11-14.
2. Торро В.О. Разработать предложения по управлению тяжёлой кровлей пласта IV-V на шахтах Томусинского угольного района / В.О. Торро, Н.Г. Сердобинцев, С.Г. Дьяконов и др. // Отчет КузНИУИ. Прокопьевск, 1989. - 72с.
3. Торро В.О. Разработать экспериментальные технологические схемы отработки пологих угольных пластов мощностью 4-6м слоями в восходящем порядке / В.О. Торро, Ю.И. Морозов и др. // Отчет КузНИУИ. Прокопьевск, 1990. - 38с.
4. Торро В.О. Разработать и провести испытания экспериментальных технологических схем, принять участие в подготовке проектов на отработку выемочных столбов по новой технологии / В.О.Торро, Ю.И.Морозов и др. // Прокопьевск, 1991.- 63с.
5. Торро В.О. Слеживаемость обрушенных пород мощных пологих пластов Кузнецкого бассейна / В.О. Торро, В.П. Белов, А.В. Ремезов, С.И. Калинин // VI Межрегио-нальная научно-техническая конференция «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения, Воркута. - 2008. - С.29-33.

*Торро Виктор Оскарович, старший преподаватель, [torrovo@mail.ru](mailto:torrovo@mail.ru), Россия, Кемеровская область, Междуреченск, Филиал КузГТУ в г. Междуреченске.*

*Кузнецов Евгений Владимирович, к.т.н. зам. директора по науке, [kevlad@mail.ru](mailto:kevlad@mail.ru), Россия, Кемеровская область, Междуреченск, Филиал КузГТУ в г. Междуреченске.*

*Ремезов Анатолий Владимирович д.т.н. проф. кафедры ГМуК, [lion742@mail.ru](mailto:lion742@mail.ru), Россия, Кемерово, КузГТУ.*

*Кутонов Станислав Сергеевич, студент специализации «Подземная разработка пластовых месторождений», ГПСз-134, Россия, Междуреченск, филиал ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» в г. Междуреченске.*

**RESEARCH SEALING PROCESS BROKEN BREEDS**

*V.O. Torro, E.V. Kuznetsov, A.V. Remezov, S.S. Kutonov*

*Abstract: In the course of working out the second and subsequent layers of thick flat beds, with the presence of a highly unstable active roof, which is prone to tumbling, due to the technology features, emergency situations are often associated with the breakthroughs of the roof rocks into the bottom hole area. The need to reduce the likelihood of emergencies, with possibly severe consequences in this case, determines the relevance of the issue of compaction of the collapsed rocks of the active roof. In this regard, the purpose of the work was to study the process of compaction of the collapsed roof rocks at a number of mines in the Kuznetsk basin.*

*As a result of the research, a number of dependencies of the compaction process on the properties of collapsed rocks, mining and geological, hydrogeological and other conditions were established. The time needed to achieve in the compaction process the necessary strength characteristics of the collapsed rocks of the active roof under specific conditions were determined.*

*Key words: mining of gentle flat seams, compaction process, coal seam roofing, crushability, sandstone, siltstone, argillite, lithological composition of rock, petrographic composition of rock, rock pressure, static pressure of water, condensing pressure, disintegration, adsorption capacity, working depth, time seals.*