



УДК 622.268.6:622:834

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ПРОВАЛОВ НАД ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Тюленева Т.А.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
Филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Прокопьевске
Филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Междуреченске

Аннотация.

Анализ проектов по ликвидации вскрывающихся горных выработок, выполненных в России, показал, что большинство аварий, связанных с повреждением поверхности земли, вызваны критическими значениями горного давления в пустующих пространствах, снижением несущей способности опор или их отсутствием, а также потерей устойчивости опорных сооружений.

Оперативное удаление образовавшихся провалов не всегда обеспечивает положительные результаты, так как часто материалом для их заполнения является горелая порода без исследования свойств земной поверхности, куда он закладывается. Данное обстоятельство приводит к тому, что провалы вновь активизируются, особенно при затоплении. В связи с этим обоснование параметров метода устранения провалов является актуальной научно-практической задачей.

Проблема стабильности ликвидированных горных выработок, а следовательно, геомеханической и экологической безопасности в местах их прокладывания, решается только с использованием системного подхода, предполагающего решение комплекса вопросов по минимизации влияния каждого фактора образования провалов как в пространстве, так и во времени.

В данной статье описаны подходы к определению технологических параметров комбинированного способа устранения провалов горных выработок, применяемого с учетом геологических характеристик горных пород и горно-технических условий их расположения, использование которого обеспечит обоснованный расчет комплекса инженерных показателей для гарантированного удаления провалов.

Информация о статье

Принята 10 января 2021 г.

Ключевые слова:

горные работы, наклонные выработки, ликвидация провалов, устойчивость выработок, аварийные участки

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF ELIMINATION OF SINKHOLES OVER MINING WORKINGS

Tatyana A. Tyuleneva

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in Prokopyevsk
Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in Mezhdurechensk

Article info

Received January 10, 2021

Keywords: mining operations, inclined workings, elimination of sinkholes, stability of workings, emergency areas

Abstract.

The analysis of the projects implemented in Russia for the elimination of opening mine workings showed that the vast majority of accidents associated with damage to the earth's surface in the form of sinkholes are predetermined by the critical values of the rock pressure in the watered cover sediments, a decrease in the bearing capacity of the support or its absence, and the loss of stability of the support bridges.



The prompt elimination of the formed sinkholes does not always have a positive result, because the sinkholes are filled with burnt rocks without identifying the causes. Therefore, the sinkholes are activated again, especially when the workings are flooded. In this regard, the justification of the parameters of the method of eliminating failures is an urgent scientific and applied task.

The problem of long-term stability of the opening mine workings, and consequently, the geotechnical and environmental safety of the earth's surface in the places where they are laid, can be solved only on the basis of a systematic approach to solving a complex of issues related to the specific influence of each element, both in space and in time.

This article describes a method for designing the technological parameters of a combined method for eliminating sinkholes over mine workings based on the geological properties of rocks and mining and technical conditions, which allows us to reasonably calculate all the engineering parameters for guaranteed elimination of sinkholes.

Введение

В рамках реструктуризации угольной промышленности Российской Федерации с 1994 года было ликвидировано 203 угледобывающих предприятия, в том числе 188 угольных и сланцевых шахт и 15 разрезов в 24 российских регионах, а также 67 градообразующих предприятий. В этот период обостряются экологические катастрофы на ликвидированных шахтах. Анализ проектов по ликвидации вскрывающихся горных выработок, выполненных в России, показал, что большинство аварий, связанных с повреждением поверхности земли, вызваны критическими значениями горного давления в пустующих пространствах, снижением несущей способности опор или их отсутствием, а также потерей устойчивости опорных сооружений.

Оперативное удаление образовавшихся провалов не всегда обеспечивает положительные результаты, так как часто материалом для их заполнения является горелая порода без исследования свойств земной поверхности, куда он закладывается. Данное обстоятельство приводит к тому, что провалы вновь активизируются, особенно при затоплении. В связи с этим обоснование параметров метода устранения провалов является актуальной научно-практической задачей.

В настоящее время достаточно хорошо исследованы проблемы геомеханического и гидродинамического характера, подлежащие решению в процессе устранения последствий провалов выработок, однако не столь внимательному изучению подверглись закономерности деформаций горных пород при их ликвидации. Не менее важным вопросом при решении проблем является также необходимость следования нормативным требованиям и осознанная разработка технологий ликвидации провалов. Для этого необходимо исследований условий разработки добычи полезного ископаемого и методов вывода отработанных горных выработок из эксплуатации, углубленное изучение процессов деформации горных пород, располагающихся над выработками, разработка математических и физических моделей их деформирования, а также обоснование возможности применения комбинированных способов устранения аварийного опускания земной поверхности.

Постановка проблемы

Горные выработки ликвидированных шахт после их вывода из эксплуатации остаются уникальными инженерными сооружениями объемами до сотен тысяч кубических метров, а потому их ликвидация отличается повышенной трудоемкостью, затратностью и опасностью с инженерной точки зрения. Даже после замораживания стволов на неопределенный срок они остаются объектами повышенной опасности, требующими периодического контроля состояния устья, изолирующих перекрытий, сдвигов грунта и провалов, а также выброса токсичных и взрывоопасных газов [4].



В Российской Федерации в целях реструктуризации угольной промышленности выполнялись работы по ликвидации опасных и нерентабельных угольных шахт, для этого осуществлялись комплексные технические мероприятия, а также большое количество исследований экологических аспектов закрытия шахт и разрезов, и по данному виду работ накоплен большой опыт. Данные работы характеризуются высоким уровнем сложности, опасности и стоимости ликвидации провалов, а также необходимостью их осуществления в соответствии со специально разработанными техническими проектами, учитывающими требования действующего законодательства. Оценка возможного образования провалов над рабочим пространством также в обязательном порядке проводится при ликвидации горных выработок.

Анализ реализуемых в России проектов по ликвидации провалов горных выработок показал, что факторы их образования могут возникать как отдельно, так и в комбинации, все эти проекты осуществляются во взаимосвязи и соподчиненности. При этом вся совокупность этих факторов представляет собой специфическую геомеханическую систему, основными характеристиками которой является стабильность состояния ликвидируемых горных выработок, а также эффективность применяемого способа ликвидации.

Проблема стабильности ликвидированных горных выработок, а следовательно, геомеханической и экологической безопасности в местах их прокладывания, решается только с использованием системного подхода, предполагающего решение комплекса вопросов по минимизации влияния каждого фактора образования провалов как в пространстве, так и во времени [5]. С этой целью представляется необходимым исследовать специфические характеристики каждого компонента с определением качественной и количественной оценки, изучить их взаимосвязь, определяющую выбор и планирование технологии действий по ликвидации провалов горных выработок [6, 7].

Долгосрочная стабильность горной выработки определяется соотношением степени прессинга со стороны массива горных пород, окружающих выработку, а также сопротивляемости материалов ее крепи. Вскрывающая выработка поддерживается в стабильном положении до тех пор, пока давление горных пород не станет преобладать над сопротивляемостью крепежных материалов [8, 9].

После вывода из эксплуатации горных выработок все технические мероприятия по поддержанию их в устойчивом состоянии прекращаются. Результатом этого становится их перманентное разрушение под влиянием снижающейся несущей способности материалов крепи по причине эрозийных процессов, коррозии и действия других природных, а также физико-механических изменений в крепежном материале [10-13]. Долгосрочная стабильность этой системы достигается за счет кумулятивного эффекта различных факторов:

- низкое давление горных пород в зоне опускания земной поверхности (углеродные и надуглеродные отложения);
- качественный материал несущих конструкций и его высокая несущая способность;
- относительно низкий уровень подъема грунтовых вод с регулярным дренажем шахтовых стоков.

Большинство провалов земной поверхности выявляются над обрушающимися наклонными подземными выработками. Данное обстоятельство указывает на недостаточный уровень развития технологии ликвидации провалов горных выработок, закрепленных в законодательстве, а также вероятность формирования полостей в материале закладки или выхода заложённых пород на поверхность. Высокий уровень опасности провалов наклонных горных выработок для природных и антропогенных ландшафтов неоднократно российскими и зарубежными учеными [6, 8, 14-21]. Провалы в земле могут образоваться над наклонными выработками без учета времени их прокладывания – будь это выработки в шахтах, проложенные до революции, в последние несколько лет или 10-20 лет назад.

Наиболее вероятными причинами возникновения провалов поверхности Земли на ликвидированных наклонных выработках являются:

- кумулятивное влияние гидрогеологических и геомеханических факторов;



- разрушение крепежных материалов горных выработок с формированием куполов провалов, нестабильность боковых пород и обрушение последних по направлению угла наклона выработки;
- ошибочность принимаемых технологических решений при ликвидации горных выработок из-за невнимания к горнотехническим и горно-геологическим характеристикам вмещающих их горных пород;
- неполнота и низкое качество закладочного материала в пустотах, образованных выработками, или даже его отсутствие, усадка, степень которой иногда достигает 50 %, и склонность засыпаемой в качестве закладочного материала породы к уплотнению в выработках с течением времени;
- вытеснение закладочного материала из горной выработки в прилегающие к ней пустоты, образованные соседними выработками.

Актуальность исследуемой проблемы также подчеркивает следующий факт. Начало разработки подавляющего (72 %) числа месторождений угля датируется в 1890–1920 годами, когда применялась технология вскрытия парами центральных наклонных стволов, протяженность которых составляла 600 метров и более. Это обстоятельство определяет необходимость разработки комплекса технологических мероприятий по приведению в безопасное и устойчивое состояние ликвидированных наклонных горных выработок с исключением возможности повторного вторжения в них (повторная ликвидация) [9, 22, 23].

Восстановительные мероприятия по ликвидации провалов в горных выработках в большинстве случаев основываются на применении горелой породы в качестве материала закладки образующихся пустот. Однако их использование в данных целях дает положительные результаты только при таких значениях физических показателей, подтвержденных экологической экспертизой, как-то: нетоксичность, пустотность, слеживаемость, влагопроницаемость, кусковатость, окисляемость, – при которых вероятность возникновения аварийных ситуаций минимальна.

Достоинством применения горелых пород для закладочного материала провалов является их доступность, характеризующаяся относительной дешевизной, а также относительно короткими сроками работ по заполнению отработанного пространства, что сокращает временные и денежные затраты на ликвидацию провалов. Однако при неблагоприятных гидрогеологических условиях расположения выработок, сопровождающихся непрерывным или периодическим обводнением, происходит изменение прочности и деформационных свойств горных пород, что предполагает использование иных подходов к применению закладочного материала. При обводнении склонных в влагопроницаемости горелых пород, используемых в качестве закладочного материала, возникает так называемая незатухающая ползучесть, переходящая в ползучесть прогрессирующую, или вытеснение, результатом которой становится разрушение закладочного материала, используемого для конструкции, с обнажением крепи. Далее происходит перераспределение давления с формированием купола провала, что проявляется образованием на поверхности земли трещин и воронок [19]. Разрушение изолирующих перемычек при поглощении грунтовых вод закладочным материалом и вытеснение его образующегося дополнительного объема в соседние горные выработки может привести к неконтролируемому формированию террасированного, растрескиваемого или воронкообразного купола провала.

Материалы и методы исследования

Максимальная высота образования провала определяется такими факторами, как протяженность горной выработки, длина зоны провала по направлению старой выработки, степень разрыхления обрушающихся пород, угол естественного наклона. Геометрические размеры купола обрушения и величина деформирования поверхности земли зависят от характеристик залежей горных пород, гидрогеологического режима грунтовых вод, прочностью и деформируемостью закладочного материала закладки, пород в зоне провала, а также склонностью горных выработок к формированию в них пустот.



Нормативные акты о составе и характеристиках горных пород, используемых для закладки в выработки, и технологических процессах ее осуществления, не разграничивают мероприятия по ликвидации горных выработок и мероприятия по устранению провалов почвы над ними. По данной причине устранение проседания земной поверхности над выработками осуществляется с использованием материалов и методов ликвидации, что обуславливает возникновение значительного количества повторяющихся провалов и нарушений законодательных норм в сфере экологии [14, 24]. Чтобы выбрать оптимальный способ устранения провалов, должны быть разработаны критерии эффективности решений, принимаемых по предлагаемым проектам, трех категорий: технологические, экономические и экологические. Первые оценивают затраты трудовых ресурсов на подготовку тампонажа с определенными характеристиками по составу, вторые дают оценку эффективности предлагаемых технологических проектов, а третьи характеризуют свойства материалов и характеристики тампонажного массива.

В зависимости от агрегатного состояния закладочный материал бывает двух видов – твердеющий и сыпучий, в зависимости от гидрологических условий его размещения в выработке – сухой и обводненный, каждому из этих видов присущи специфические характеристики, учет которых необходим для оценки величины их воздействия на степень устойчивости геомеханической системы [6, 19, 25].

Использование сухого закладочного материала предполагает формирование массива путем закладывания в провал породы, который распределяется внутри ее под воздействием гравитации. Если провал имеет значительный объем и массив закладочного материала не может быть сформирован путем засыпки его с одной позиции, то он может распределиться в его полости с применением механических или пневматических средств. Данная технология привлекательна своей экономичностью, для ее реализации нет необходимости в особых квалификационных требованиях к персоналу и специальной технике, и поэтому она широко используется при заполнении пространств вертикальных и наклонных горных выработок, открывающихся на поверхность земли, а также провалов, образующихся при ликвидации шахт [26-28]. Технология заполнения провалов сухим материалом заключается в формировании отвала породы, транспортировку горелой породы к провалу и ее подачу самотеком или механически в место проседания выработки [9, 29]. Однако, как показывает опыт, эта технология не всегда эффективна, так как ее применение может привести к существенным деформациям на поверхности, активизации процессов образования провалов, разрушению устьев и бесконтрольному выделению газов [30-34].

Основные причины неэффективности использования сухих закладочных материалов для устранения провалов – крупные фракции используемых для закладки отвальных пород; высокая степень их газо- и водопроницаемости; неполнота и неравномерность заполнения пустот уплотняемости сухого материала под влиянием сил притяжения; значительная величина коэффициента сжатия усадки применяемых для закладки пород за счет их физического уплотнения и обводнения за счет химического и суффозионного гидрологического воздействия. В результате этого ограничиваются возможности хозяйственного использования территорий; возникает потребность в сооружениях, ограничивающих доступ к ликвидированным провалам, долгосрочном мониторинге провалов после завершения работ по ликвидации, угроза повторной активизации смещения закладочных пород в месте провала; трудности, обусловленные финансированием режимных мероприятий.

Обводненный материал предполагает применение воды при изготовлении закладочной смеси либо транспортировку закладочного материала к месту заполнения провала. Преимуществом его использования является возможность получения максимальной плотности компонентов формируемого закладочного массива, его непроницаемости для подземных вод и газов, пластичность, хорошая согласованность с поверхностью устья провала. Наиболее популярными среди обводненных методов формирования материала закладки являются гидравлический и литой [19, 20, 23, 25].

Технология применения литого способа основывается на подаче готовой смеси в полость выработки, технология полураздельного способа – в смешивании закладочного материала с вяжущим компонентом в полости, технология раздельного бетонирования – в послойном



укладывании готовой сухой смеси горелой породы с известняком и цементом, заполняющим ее, при этом мощность параллельно орошаемого водой слоя сухой смеси, смеси известняка и цемента и слоя горелой породы составляет 20-25%; технология инъекционного способа состоит в прокачке заполняющего материала с вяжущим в пространство выработки.

В технологическом комплексе мероприятий по устранению провалов над наклонными горными выработками полураздельным способом выделяют две стадии: подготовительную и стадию мероприятий по закладке, изготовлению раствора для тампонажа и его заливке. В течение подготовительной стадии осуществляются следующие мероприятия: разработка отвала породы и транспортировка к его месту закладочного материала; подвоз компонентов закладочного материала к зоне провала (глина, цемент, вода); формирование над провалом эстакад разгрузки или распределительных сооружений; подготовка технологического комплекса для тампонаж-раствора. Мероприятия по закладке и тампонажу провала предусматривают его засыпку горелой породой, формирование и заливку необходимого объема тампонаж-раствора и конструкцию глинистого замка. Технологические трудности применения данного способа устранения провалов вызваны большими объемами специального оборудования и количеством квалифицированного персонала, низкой плотностью закладываемой породы и степенью проницаемости тампонаж-раствором материала закладки под действием сил тяжести; сложностями применения напорного режима заливки тампонаж-раствора; высокой затратоемкостью производимых работ. Таким образом, опыт использования данной технологии формирования закладки провала продемонстрировал его неэффективность устранения провалов почвы над горными выработками.

Альтернативной технологией является гидравлическая закладка провала, базирующаяся на применении энергии водного потока для подачи и заполнения сыпучих материалов в пустоте провала. Наиболее популярен так называемый «одесский» способ ликвидации провалов: при выявлении пустот выбуривается скважина большого диаметра для выполнения съемки, необходимой для проектирования объемов предстоящих работ и формирования плана их производства. После этой над ней конструируют бункер и укладывают под землей пульпопровод при помощи пластиковых труб, через которые подают песок и воду для смешивания в бункере, после чего данные компоненты транспортируются в полость. Однако ограничением применения данной технологии является ее использование только в условиях хорошей влагонепроницаемости закладываемых пород, например, известняков, так как дренируемая в них вода оставляет после себя в месте укладки плотную массу песка.

Таким образом, изучение применяемых технологий заполнения пространства горных выработок и устранения провалов над ними показало, что ни одна из них не обеспечивает полной влагонепроницаемость, так как все применяемые для закладки материалы обладают значительной усадкой, степень которой обратно пропорциональна степени уменьшения коэффициента фильтрации. Применение многих способов предполагает многоступенчатую, разветвленную и затратную технологию закладки и достаточно редко применяется при ликвидации горных выработок [25-28, 30-35].

Представляется полезным применение накопленного за рубежом опыта ликвидации горных выработок (Германия, Великобритания, Чехия), наряду с изучением каждого конкретного случая с учетом определенных технических условий важной решать задачу максимально уплотненного массива закладки во избежание вторичной активизации смещения горных пород [36, 37]. За основу создания новой технологии устранения провалов над старыми выработками при этом необходимо брать закладочные материалы мелких фракций, что позволит сформировать массив низкой пустотности, который максимально заполнит все пространство, частично закрепит кровлю и соседние породы и улучшит его геомеханическое состояние, не позволяя деформироваться горным породам, расположенным над ними. Во избежание разбухания, выщелачивания и вытеснения закладочного материала он разделяется защитными газо- и влагонепроницаемыми тампонажными подушками [38, 39].

Результаты исследования



Основой создания новой технологии устранения провалов поверхности земли с обоснованием его конструктивных и технологических характеристик в целях ликвидации последствий влияния ликвидаций угольных шахт на окружающую среду на основе использования обводненного материала явилось натурное изучение провалов над горными выработками, вскрывающимися под воздействием активизации смещения влагонаполненных горных пород. Данное исследование осуществлялось в целях уточнения размеров провалов (тенденции изменения его параметров) и действия горно-геологических факторов [5, 15, 40]. Комплекс натурных исследований состоял из визуального наблюдения состояния поверхности образующегося провала, инструментальных исследований изменения размеров его воронки с дельнейшей камеральной обработкой полученных результатов и оценки горно-геологических условий образования этих аварийных участков.

Чтобы исследовать активность процесса смещения влагонаполненных горных пород, были отобраны участки поверхности земли, относящиеся к зоне ведения добычных работ ликвидированных угольных шахт, подвергшихся образованию провалов. В целях исследования выборка осуществлялась с учетом следующих условий: расположение наблюдаемых объектов на земельных отводах, заполняемых обводненным закладочным материалом; постоянное либо сезонное повышение уровня подземных вод на исследуемых объектах более чем на 2 метра; отбор земельных участков, максимально деформированных проводимыми на них добычными работами. С учетом выявленных тенденций деформации поверхности земли под действием смещения горных пород для дальнейшего исследования выделялись участки, обладающие различной степенью разрушений.

Исследования проводились по итогам изучения планов горных выработок и их сопоставления с фактическими данными об участках с деформациями и провалами земной поверхности. По окончании прогнозного срока затопления выработок более чем на 97 % сформировались предпосылки повышения гидростатического давления в заполняющем массиве горных пород и его напряженно-деформированном состоянии [41, 42]. Последствиями этого могут стать неблагоприятные гидродинамические проявления в виде нарушений отдельных участков поверхности земли и целостности конструкций расположенных на них зданий и инженерных сооружений и коммуникаций. Оценка результатов проведенного исследования указывает на сложность и многофакторность процесса смещения поверхности земельных отводов ликвидированных шахт. При затоплении выработанных участков наблюдается достаточно быстрое заполнение образующихся пустот грунтовыми водами, в результате чего происходит упругое расширение вмещающих горных пород с возможностью дальнейшей активизации смещения отдельных их блоков массива с тектоническими нарушениями в виде проседания. Инструментальные исследования указывают на разнонаправленные колебания земной поверхности. Анализируя механизм ее деформации, а также прогнозируемые и фактические данные о смещениях горных пород, можно заключить, что наиболее интенсивны данные процессы вблизи вскрывающихся горных выработок ликвидированных угольных шахт. Данное обстоятельство можно объяснить изменениями в характеристиках горных пород четвертичных отложений слабой трещиноватости, подвергшихся интенсивному обводнению в весенние и осенние месяцы года, кроме того, процессами размывания и выщелачивания вмещающих горных пород и разрушением креплений горных выработок. Данное наблюдение позволило сделать вывод о принадлежности к провалоопасным земной поверхности участков над старыми вскрывающимися, подготовительными и очистными горными выработками с образованием над ними воронок или обрушений более сложных конфигураций, по которым существует потребность в дополнительных геофизических исследованиях формирования остаточной пустотности. На участках, активных по процессу смещения горных пород, необходимо прокладывание разведочных или разведочно-эксплуатационных скважин для получения более полной и достоверной геологической информации.

Для формирования данных о предпосылках образования и развития провалов над наклонными горными выработками выполнены исследования геометрических характеристик обрушений. Все обследованные горные выработки с образовавшимися над ними провалами на

момент старта комплексных технологических мероприятий по закрытию шахт имели неудовлетворительное и даже аварийное техническое состояние.

Инструментальные исследования смещений земной поверхности и деформаций объектов капитального строительства, попадающих в зону потенциальных провалов, состоят в оценке по состоянию на определенную дату положений реперов наблюдательных станций с параллельной фиксацией видимых нарушений, а также факторов смещения горных пород и возникновения деформаций. Периодизация замеров устанавливалась с учетом степени приближенности наблюдаемых вертикальных деформаций к критическим значениям для различных видов грунтов, оснований, материалов зданий и сооружений [5]. С учетом обстоятельств, при которых изменения геометрических характеристик происходит под влиянием подземных и поверхностных вод из-за сезонности их уровня, фиксации параметров провалов принята с двукратной минимальной ежегодной частотой – весной и осенью. Отметки на земной поверхности и дне провалов для фиксации динамики деформаций выполнялись с использованием геодезических методов и приборов: углы – тахеометрами, для измерения расстояний применялись маркшейдерские рулетки и лазерные дальномеры. В результате выполненных замеров определялся объем обрушения путем разбивки провала на простые геометрические фигуры.

Традиционно применяемая технология ликвидации вскрывающихся горных выработок угольных шахт на основе закладки горелой породой не обеспечивает долгосрочную геомеханическую стабильность засыпанных провалов. Наиболее вероятной причиной их вторичного возникновения является влияние гидрогеологических условий (изменения в физико-механических характеристиках засыпаемых пород, а также уменьшение их долгосрочной прочности из-за фильтрации поверхностного стока подземных вод), сопровождающееся отсутствием какого-либо микросейсмического действия (вибрационные влияния машин и механизмов, транспорта, буровзрывные работы и т.д.) [20, 43].

Так как провалы земной поверхности склонны к образованию сложных форм с течением времени, для оценки их геометрических характеристик использовались наблюдательные станции, включающие профильные линии, в основе которых принимались линии, закладываемые параллельно оси горных выработок и трех их поперечных профилей (рис. 1).

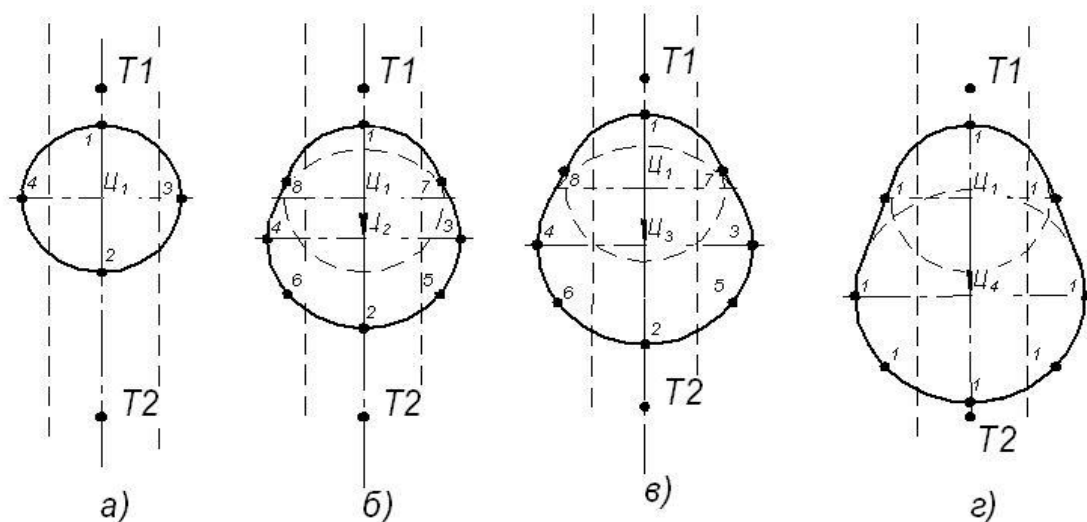


Рисунок 1. Изменение формы воронки провала от обнаружения до устранения: а – воронка провала на момент обнаружения; б, в – воронка на промежуточных стадиях развития провала; г – воронки на момент устранения; Ц₁, Ц₂, Ц₃, Ц₄ – приведенные центры воронки провала; Т₁, Т₂ – место расположения теодолита; 1-4 – точки замеров на основных профильных линиях; 5-8 – точки замеров на вспомогательных профильных линиях



Для конкретной поперечной профильной линии устанавливались точки замеров, по которым фиксировались объем и положения начального и конечного оснований провала. Камеральная обработка итогов натурных исследований предполагала неподвижность размещения теодолитов Т1 и Т2 вдоль профильной линии. Сдвигение контуров провала оценивалось по колебаниям положений точек профильных линий на закрепленной осевой линии Т1-Т2.

Оценка итоговых показателей провалов над наклонными горными выработками показала следующие результаты:

- во-первых, воронка провала по своей геометрической форме близка к усеченному конусу, имеющему угол наклона от 70 до 86 градусов;

- во-вторых, размер провала определяется горно-геологическими характеристиками вмещающих горных пород, горнотехническими условиями проведения горных выработок, наличием или отсутствием поддерживающих и охранных мероприятий, и его прогрессирование прямо пропорционально ухудшению гидрогеологического режима грунтовых вод в осенние и весенние месяцы года;

- в-третьих, размер провала земной поверхности составляет от 50-80 см до 8-10 м и обусловлен развитием зоны четвертичных отложений и физико-механическими характеристиками вмещающих горных пород.

Степень опасности земельных участков на подработанных территориях ликвидированных угольных шахт относит состояние массивов вмещающих их горных пород к 5 категориям: благоприятное, относительно благоприятное, неблагоприятное, угрожаемое и непригодное. По результатам анализа 60 земельных отводов на ликвидированных шахтах выделены следующие характеристики горных пород, сложившиеся после проведения на них горных работ, в зависимости от вероятности провалообразования (таблица 1).

Таблица 1. Оценки вероятности провалообразования с учетом состояния подработанных вмещающих горных пород [44, 45]

Оценка состояния вмещающих горных пород	Геологические характеристики	Вероятность провалообразования
Устойчивая	Отсутствие зон ослабления, обводненности, обрушений и низкая степень трещиноватости (коэффициент крепости 6)	Низкая (до 20 %)
Относительно устойчивая	Расположение глинистых пород на глубине 25-30 м с коэффициентом крепости 4, породы обводнены с вероятностью развития подтопления	Средняя (до 50 %)
Неустойчивая	Наличие зон ослабления, обводненности (с затоплением выработки) и частичных обрушений в глинистых породах с коэффициентом крепости до 4	Высокая (до 80 %)
Аварийная	Наличие трещиноватости, обводненности, провалов (с затоплением выработки) в породах с коэффициентом крепости 2	Абсолютная (до 100 %)

Таким образом, по результатам натурных исследований выявлены основные причины активизации процессов провалообразования – это геологические характеристики вмещающих горных пород и горнотехнические характеристики расположенной в них выработки. На основе полученных данных далее был выполнен анализ горнотехнических условий наклонных горных выработок (таблица 2).



Таблица 2. Результаты анализа горнотехнических условий наклонных горных выработок [44, 45]

Класс	Оценка состояния	Характеристика	Число выработок	Вероятность провалообразования
1	Хорошее	Закрепленная горная выработка с отсутствием деформированности кровли и 100-процентным заполнением закладочным материалом	2	Низкая (до 20 %)
2	Удовлетворительное	Нарушенное крепление горной выработки нарушена с отсутствием деформированности кровли и 100-процентным заполнением закладочным материалом	6	Средняя (до 50 %)
3	Неудовлетворительное	Горная выработка с отсутствием крепления кровли и куполами провалов, и частичным заполнением обводненным закладочным материалом и вероятностью подтопления	18	Высокая (до 80 %)
4	Аварийное	Горная выработка с отсутствием крепления кровли и множественными куполами провалов, отсутствие закладочного материала и затопление выработки	34	Абсолютная (до 100 %)

В ходе детального исследования состояния ликвидированных горных выработок через разведочные скважины, а также по проектным или архивным данным, изучено 54 объекта, в составе которых имелось 60 ликвидированных наклонных выработок [16, 19, 40], установлены критерии оценки их состояния и состояния вмещающего породного массива по опасности провалообразования. По полученным данным предложено уравнение зависимости срока провалообразования от геологических и горно-геологических характеристик горной выработки:

$$T_{\Pi} = (1 - p_{\Pi} \times p_{\text{в}}) \times t_{\Pi\text{в}} \quad (1)$$

где p_{Π} , $p_{\text{в}}$ – показатели вероятности провалообразования в зависимости от состояния вмещающего породного массива и в зависимости от состояния горной выработки соответственно; $t_{\Pi\text{в}}$ – период деформации глинистых пород под влиянием влажности.

При этом последний показатель также находится в сложной зависимости от геологического строения массива горных пород и степени нарушений в нем, которая определяется через эмпирические коэффициенты. Так, в условиях обводненности горных пород, приближенной к значениям текучести, данный показатель является основным фактором, определяющим период и скорость деформации провала.

Обсуждение

По результатам натурных исследований, проведенных на ликвидированных угольных шахтах, выявлено, что при активизации деформационных процессов в закладочном материале и



соседних породах наблюдается снижение стабильности прилегающего песчано-глинистого массива и формирование провалов. Данное заключение стало основой для оценки их геометрических параметров и срока провалообразования, однако вызвало затруднения в определении закономерностей данного процесса, поскольку в большинстве проводимых наблюдений фиксация провалообразования отражала их как результат действия инженерно-геологических условий.

Поэтому представляется необходимым применение методов физического моделирования для исследования закономерностей провалообразования посредством оценки определяющих его факторов и характеристик [46-51]. Целью проведения исследований является определение закономерностей деформационных процессов в песчано-глинистых породах в месте провала.

Для этого используют математические и физические модели с предпосылками применения критериев подобия – энергетического, динамического и геометрического. Однако поскольку полностью соответствовать требованиям теории подобия затруднительно, изучаются только основные характеристики явления с нивелированием факторов последующих порядков [47].

Изучение всех этих вопросов аналитическими и эмпирическими способами сопряжено со значительными затруднениями, в связи с этим применение моделирования представляется важным с теоретической и практической точек зрения.

Наилучшим вариантом для применения в данном случае представляется моделирование с применением реальных горных пород, при котором исследуемые физические процессы рассматриваются на физических моделях с определенными допущениями и при выполнении условий подобия, а их результаты используются в целях контроля механизма моделируемого процесса и составления практических рекомендаций по формированию новых в техническом отношении решений.

Для постановки эксперимента сначала определяются критерии подобия, а затем выбираются параметры моделируемого процесса.

Для максимального приближения натурным условиям необходимо выполнение следующих требований:

- геометрическое подобие модели провала исследуемому оригиналу (образцу);
- принадлежность всех исследуемых в модели и в оригинале процессов к одному классу, а также их описание одними и теми же дифференциальными уравнениями;
- тождественность реализации начальных и конечных условий в модели аналогичным условиям оригинала;
- равенство одноименных безразмерных параметров дифференциальных уравнений, начальных и конечных условий модели и оригинала;
- необходимость принимать во внимание размеры возможной опасной зоны и степень давления на закладочный материал в устье провала при разработке модели.

Для избежания бесконтрольного сдвижения закладочного материала в подземные пространства выработок и образующиеся пустоты требуется надежное основание, и максимальный диаметр зоны, определяющей конструкцию закладочного массива (рисунок 2), выражается формулой следующего вида [46-51]:

$$D_{\text{оп}} = \frac{2 \times H_{\text{пр}}}{\text{tg } \varphi} + d \quad (2)$$

где $H_{\text{пр}}$ – размер провала, м; d – диаметр провала по нижнему основанию, м; φ – средняя взвешенная величина угла внутреннего трения породы, град.

Таким образом, возникает потребность формирования сооружения из ресурсосберегающих материалов, характеризующегося безудачностью и стабильностью, в месте провала земной поверхности над горной выработкой.

Исходя из этого? применение предлагаемого комбинированного способа устранения провалов [46-51] заключается в поэтапном выполнении закладочных работ так называемыми заходками «снизу вверх», каждая из которых включает следующие стадии:

- заполнение материалом из горелых пород;



– обводнение закладочного материала и его последующая усадка с образованием тампонажно-закладочной суспензии;

– заливка суспензии на основе горелых пород в пространство провала.

Таким образом, комбинированный способ устранения провалов предполагает формирование закладочного массива из слоев уплотненной горелой породы и тампонажно-закладочной смеси (рисунок 3), размещаемых не более чем тремя заходками «снизу вверх» для придания системе геомеханической стабильности и влагонепроницаемости.

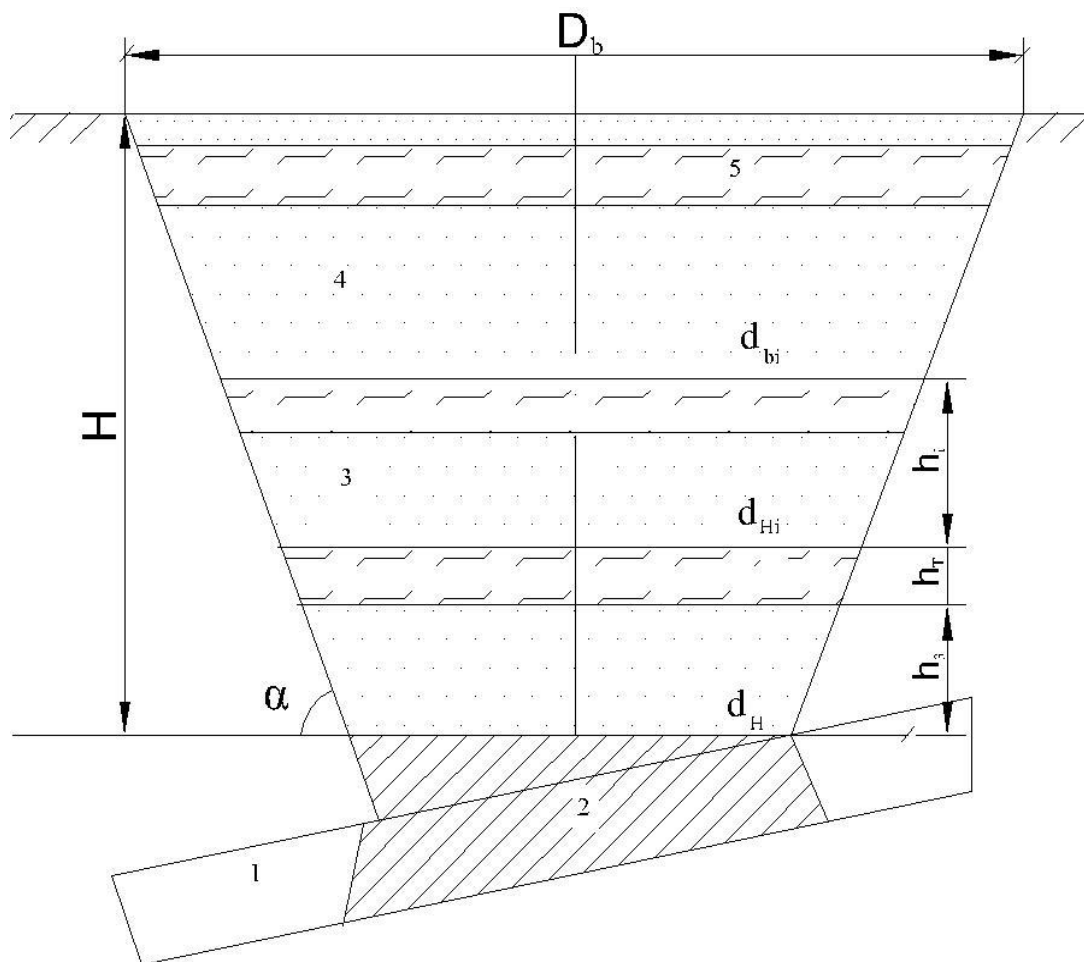


Рисунок 2. Схема оценки опасных зон в месте провала земной поверхности над горной выработкой: d – приведенный диаметр по нижнему основанию провала, м; D – диаметр провала, м; $D_{оп}$ – диаметр опасной зоны, окружающей провал, м; α – средневзвешенная величина угла внутреннего трения породы, град; $\varphi_{сд}$ – величина угла смещения, град [46-51]

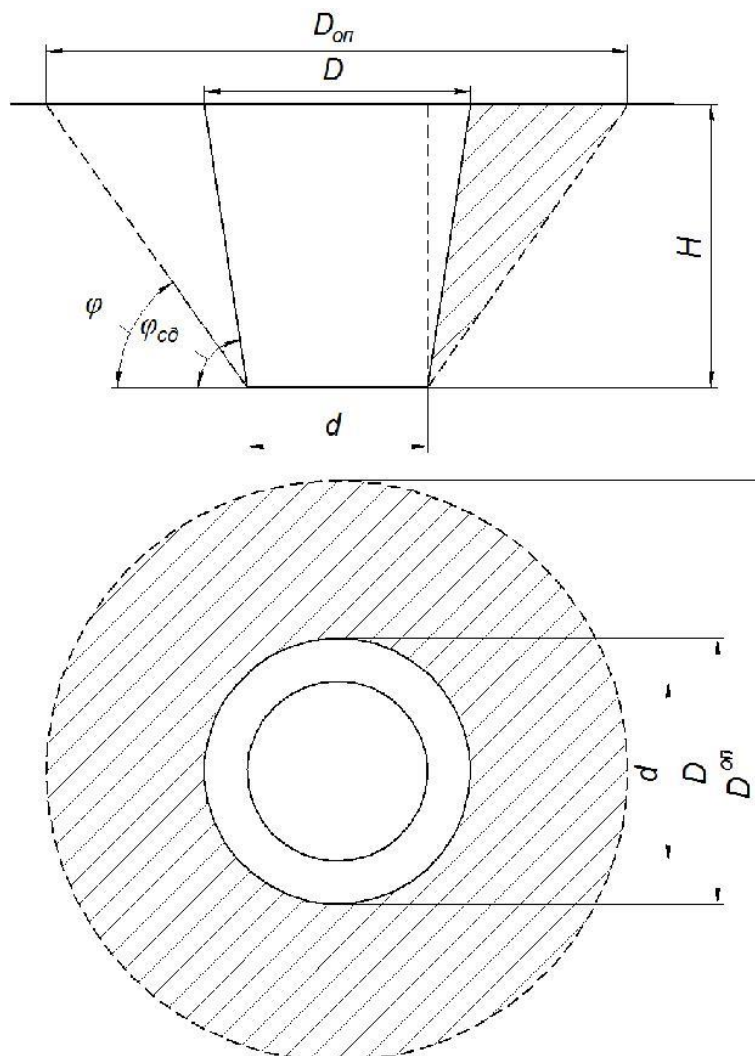


Рисунок 3. Схема комбинированного способа устранения провала: 1 – горная выработка под провалом; 2 – замок; 3 – заходка; 4 – закладочный слой горелых пород; 5 – слой тампонажно-закладочной суспензии [46-51]

Проектирование технологических параметров ликвидации провалов над горными выработками

Основные положения принципиального подхода к планированию технологических характеристик комбинированного способа устранения провалов над горной выработкой заключаются в последовательном прохождении этапов ликвидации, их схема представлена на рис. 4.



Рисунок 4. Обобщенная методика определения параметров способа ликвидации провалов земной поверхности [46-51]

1. Натурные исследования обрушений и пород, расположенных в зоне аварийно-опасного участка с высокой вероятностью провалообразования или их наличием:
 - формирование и обработка геологических данных о вмещающих горных породах аварийного участка;
 - оценка прочности и деформируемости вмещающих горных пород;
 - оценка степени нарушений в массиве вмещающих горных пород;
 - оценка степени метаморфизма вмещающих горных пород;
 - оценка степени влияния факторов на формирование провалов и его минимизация;
 - определение параметров провала и математическое моделирование процесса его ликвидации;
 - формирование и обработка данных о погашенной горной выработке или образовавшейся под землей полости;
 - оценка геометрических характеристик выработки;
 - оценка качества ликвидационных мероприятий в отношении горной выработки под провалом;
 - выявление остаточных пустот в сечении горной выработки.
2. Собранные в процессе первой стадии данные являются исходной информацией для оценки оптимальных физико-химических характеристик будущего закладочного материала и состава тампонажной суспензии для предстоящих лабораторных исследований.



Наиболее частые аварийные ситуации при формировании провалов над строящимися, эксплуатируемыми и ликвидированными горными выработками обусловлены обвалами горной породы в подземные пространства при обводнении с поверхности [21, 22, 30].

В большинстве случаев обрушения горной породы в выработки происходят в процессе ликвидационных работ в грунтах слабой устойчивости, расположенных на участках земной поверхности с различными техногенными вмешательствами, вызвавшими изменения прочности и деформацию вмещающих пород с течением времени.

С учетом горно-геологических и прочностных характеристик горных пород аварийного участка и нормативных требований к аналогичным характеристикам массива закладки применяется метод ликвидации провалов на основе послойной закладки с обводнением, на основе которого определяют технологические параметры для каждой отдельно разрабатываемой технологии [35].

В связи с тем, что закладочный горный массив сложен по своей структуре, его усадка выполняется неравномерно и может привести к возникновению пустотности, трещиноватости и нарушению целостности. Учитывая данное обстоятельство, весь комплекс мероприятий по устранению провалов с использованием технологии послойной засыпки горелыми породами с последующим обводнением и тампонажем проводится с целью создания условий для равномерной и максимальной усадки закладываемого материала за весь период ликвидационных работ. Для этого планирование технологических характеристик процесса ликвидации провала делится на два взаимосвязанных направления, определяемых свойствами заполняющих горных пород.

3. Оценка технологических характеристик:

- определение параметров закладочного массива, основу выполняемых расчетов составляет формирование безусадочного массива с максимальной плотности, что достигается использованием горелых пород мелких фракций;

- предотвращение вытеснения горелых пород мелких фракций в процессе водо- и газообмена за счет применения тампонажных слоев.

Весь комплекс технологических работ по устранению провала делится на две стадии: подготовительную и производственную [46-51]. Во время подготовительной стадии на аварийном участке осуществляются:

- ограничение передвижений в зоне образования провала;
- формирование площадки, размещение оборудования, проектирование автотранспортных потоков;

- разработка породного массива с приготовлением необходимого объема материалов.

Производственная стадия ликвидации провала включает следующие мероприятия:

- приготовление закладочного массива в зоне провала;
- предотвращение деформирования закладочного массива;
- предотвращение вытеснения материала закладочного массива;
- тампонаж трещиноватых пород, окружающих зону провала;
- мониторинг качества ликвидационных работ.

В каждом случае применение конкретной технологической схемы устранения провала должно сопровождаться технико-экономическим обоснованием влияния производственных, горно-геологических, экологических и социальных факторов. По итогам оценки обобщенной технологической схемы устранения обрушений в различных условиях выделены основные технологические способы выполнения работ (рисунки 5 и 6). Область применения указанных технологических схем определяется деформационными характеристиками закладочного массива, удаленностью используемых закладочных материалов, степенью сохранности инженерных коммуникаций действующей или ликвидированной шахты, географическим расположением аварийного участка.

На схеме 1 (рис. 5) показан наиболее простой технологический способ ликвидации провалов земной поверхности путем заполнения рядовой породой (блоки А-Б) [19]. Наверху для заполнения провала бульдозерами и экскаваторами готовится отвал горелых пород. Для получения закладочного массива заданных характеристик данные породы делятся на фракции



посредством вибросита или делается дополнительное измельчение, после чего они транспортируются и складироваются на аварийном участке, а затем производится заполнение провала без дополнительного уплотнения. Гидроизоляция выполняется путем устройства глинистого замка и дополнительных водоотводящих сооружений.

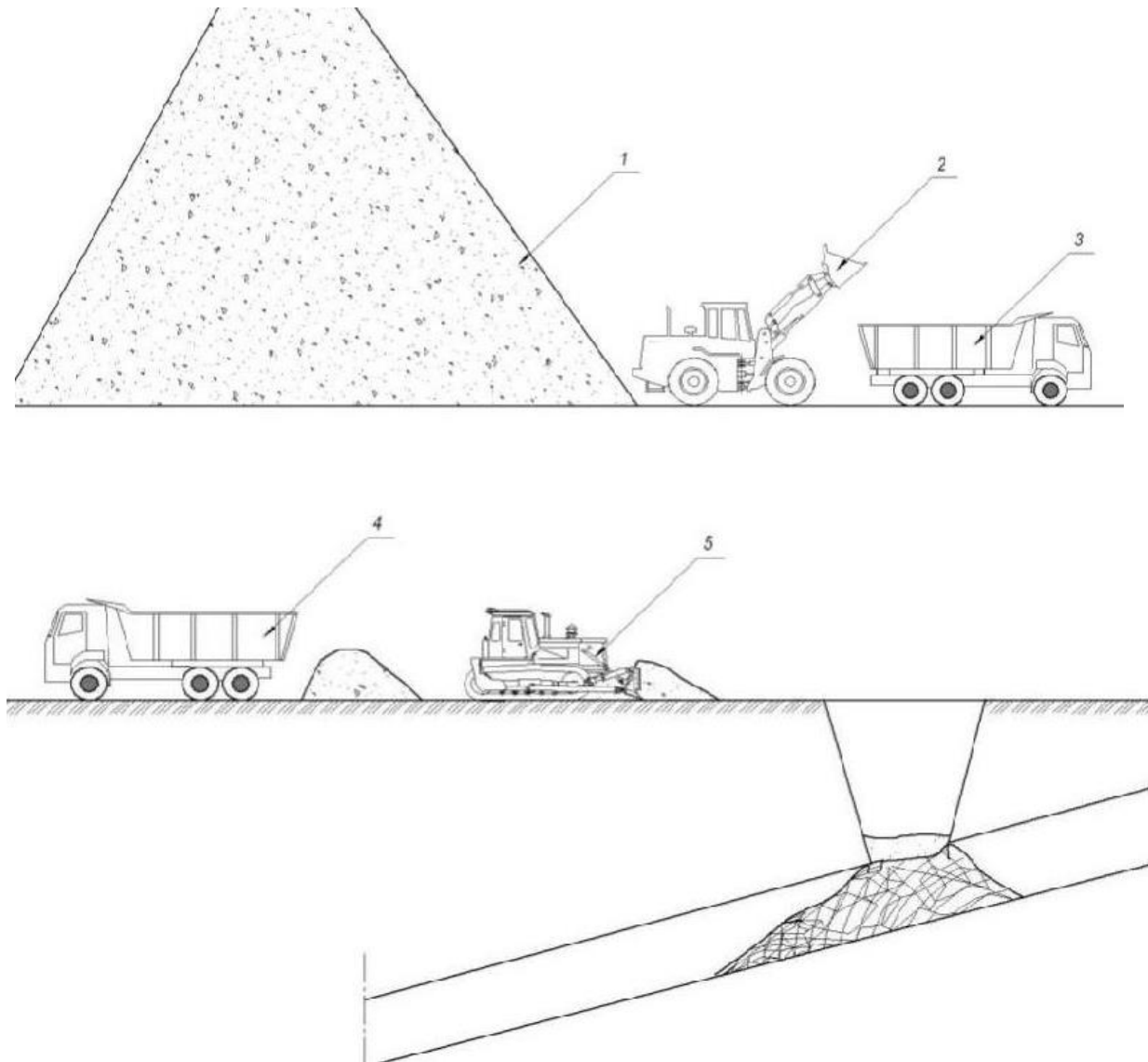


Рисунок 5. Схема устранения провала засыпкой рядовой породой: а – формирование отвала горелых пород; б – выполнение работ; 1 – отвал; 2 – погрузчик; 3, 4 – самосвал; 5 – бульдозер

Данная технологическая схема может применяться для малообводненных массивов горных пород из безусадочного закладочного материала. Однако при периодическом обводнении массива в условиях ликвидированной шахты с подтоплением выработок ее применение имеет ограничения, обусловленные деформационными характеристиками закладочного материала. Поэтому в развитие данной схемы предложена схема 2 (рис. 6, комплекс «А+Б+Б'»), которая является комбинированным способом ликвидации провалов [46-51].

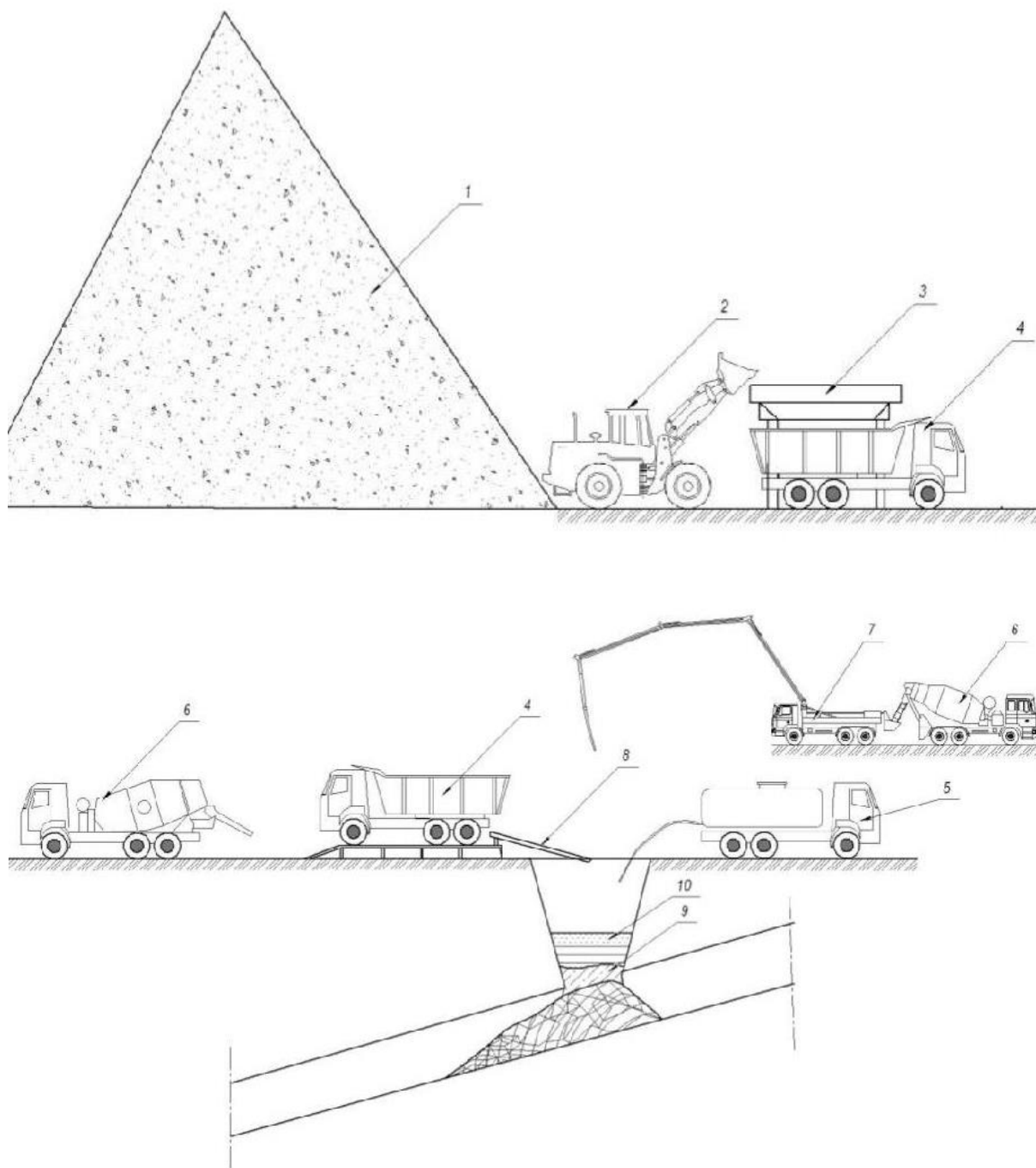


Рисунок 6. Схема устранения провалов способом послойного тампонирования: а – формирование отвала горелых пород; б – выполнение работ: 1 – отвал; 2 – погрузчик; 3 – вибросито; 4 – самосвал; 5 – автоцистерна с водой; 6 – бетоновоз-миксер; 7 – автопомпа; 8 – эстакада, оснащенная распределительным желобом

С этой целью используются отвальные горные породы фракции до 60 мм, благодаря которой обеспечивается высокая плотность породного скелета. Для выполнения требования равномерного и контролируемого деформационного процесса в материале закладочного массива производится послойное заполнение пространства провала. Во избежание вытеснения горных пород мелких фракций в соседние пространства и выработки массив делится на заходки тампонажными слоями.



Выводы

В результате анализа выполненных исследований установлено, что применение комбинированного способа устранения провалов горных выработок, применяемого с учетом геологических характеристик горных пород и горно-технических условий их расположения [46-51] обеспечит обоснованный расчет комплекса инженерных показателей для гарантированного удаления провалов.

Список источников

1. Прокопова М.В., Хамидуллина Н.В., Рубцова Я.С. Последствия ликвидации шахт Восточного Донбасса// Новые технологии, инновации изобретения: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. (1марта 2018 г, г. Уфа). Уфа: Аэтерна, 2018. С. 82-84.
2. Прокопов А.Ю., Гридневский А.В., Хамидуллина Н.В. Обеспечение безопасной эксплуатации здания в условиях влияния негативных геологических и техногенных факторов// Строительство. Архитектура. Экономика: материалы Междунар. форума «Победный май 1945 года». Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. С. 64-67.
3. Влияние ликвидированных шахт на экологию Кузбасса / Тюленева Т.А. // Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения. Сборник трудов III Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Костюк. 2018. С. 220.1-220.3.
4. Проблемы развития горнодобывающего комплекса Восточного Донбасса и пути их решения монография / Под ред. С.Г. Страданченко. Новочеркасск: Лик. 2009. 198 с.
5. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. Утв. 30.12.87. Разраб. ВНИМИ/ Сост.: И.А. Петухов, Н.И. Митичкина, В.Н. Земисев и др. Москва: Недра. 1989. 96 с.
6. Технология закрытия (ликвидации) угольных шахт / Под общ. ред. И.Ф. Ярембаша. Донецк: Норд-Пресс. 2004. 238 с.
7. Экологические и социальные последствия образования подработанных территорий ликвидированных шахт Кузбасса / Тюленева Т.А.// Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения. Сборник трудов III Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Костюк. 2018. С. 221.1-221.4.
8. Гавриленко Ю. Н., Улицкий О. А., Шиптенко А. В. Об условиях образования провалов на земной поверхности над горизонтальными и наклонными выработками // Проявление горного давления: Сб. науч. тр. № 3. Донецк. 1999. С. 110-115.
9. Косов О.И. Провалоопасность территорий закрытых шахт Восточного Донбасса// Эколого-экономические проблемы природопользования в горной промышленности. Шахты: ЮРО АГН РФ, 2006. № 9. С. 145.
10. Гавриленко Ю.Н., Феофанов А.Н. Оценка современного состояния старых горных выработок на малых глубинах// Известия Донецкого горного института. 2001. №2. С. 87-91.
11. Исун А.П., Яковлев Д.В., Земисев В.Н., Ягунов А.С. Геомеханические проблемы ликвидации шахт в России // Уголь. 1999. №9 С. 61-62.
12. Качурин Н.М. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2017. № 1. С. 170-181.
13. Environmental consequences of coal mine elimination / Tyuleneva T. // Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection". 2018. С. 352-356.
14. Геомеханические и технологические проблемы закрытия шахт Донбасса: Учебное пособие / Под общ.ред. С.С. Гребенкина, В.Н. Ермакова. Донецк: ДонНТУ. 2002. 266 с.
15. Методическое руководство о порядке выделения провалоопасных зон и выбора комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот при ликвидации шахт. /А.С. Ягунов [и др.]. Москва: ИПКОН РАН, 1999. 54 с.
16. Белодедов А.А., Должиков П.Н., Легостаев С.О. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт// Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2017. №1. С. 160-169.



17. Феофанов А.Н. Обоснование параметров учёта старых горных выработок на малой глубине для охраны поверхностных объектов: Автореф. дисс... канд. техн. наук. Донецк, 2003. 16 с.
18. Петров И.В., Савон Д.Ю., Стоянова И.А. Эколого-экономические последствия реструктуризации угольной промышленности Восточного Донбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №5. С. 276-282.
19. Кипко Э.Я., Должиков П.Н., Рябичев В.Д. Комплексная технология ликвидации наклонных горных выработок. Монография. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 220 с.
20. Research into Dangerous surface deformations over inclined Shafts of Abandoned Coal-mines / Belodedov A.A., Dolzhikov P.N., Legostaev S.O. // Scientific Reports on Resource Issues. Freiberg, Germany: TU Bergakademie, 2016. Vol.1. Pp.159-165.
21. Способы решения экологических проблем ликвидации угольных шахт / Тюленева Т.А. // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2018. Материалы XVII Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор А.А. Хорешок. 2018. С. 120.1-120.5.
22. Мохов А.В. Трансформация гидродинамических характеристик горного массива на участках освоения каменноугольных залежей подземным способом: Автореф. дис... д.т.н., Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2015. 32 с.
23. Должиков П.Н., Прокопов А.Ю. Методика проектирования и технологическая схема повторной ликвидации наклонных стволов закрытых угольных шахт / Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Форум горняков – 2017». Днепр: НГУ. С. 89-94.
24. Борзых А.Ф., Зюков Ю.Е., Княжев С.Н. Содержание, ремонт и ликвидация выработок угольных шахт: Монография. Алчевск: ДонГТУ, 2004. 614 с.
25. Закладочные работы в шахтах. Справочник / Под редакцией Д.М. Бронникова. Москва: Недра, 1989. 400 с.
26. Курнаков В.А., Страданченко С.Г. Обоснование способов закладки наклонных стволов закрываемых угольных шахт Восточного Донбасса / под общ. ред. В.А. Курнакова. Ростов-на-Дону: Изд-во журн. «Изн. вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки», 2007. 120 с.
27. Заключение о возможности ликвидации вертикальных и наклонных стволов шахт ОАО «Ростовуголь». Том 1. Государственный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела. Межотраслевой научный центр ВНИМИ. Северо-Кавказское представительство. – Шахты, 2003. 136 с.
28. Заключение о возможности ликвидации вертикальных и наклонных стволов шахт ОАО «Ростовуголь». Том 2. Государственный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела. Межотраслевой научный центр ВНИМИ. Северо-Кавказское представительство. – Шахты, 2003. 122 с.
29. Косов О.И. Малышева А.А. Соколова О.В. Ликвидация шахт и экологические проблемы Восточного Донбасса // Эколого-экономические проблемы природопользования в горной промышленности. Шахты: ЮРО АГН РФ. 2007. № 10. С. 64-69.
30. Власенко Б.В., Потапов В.П., Лангольф Э.Л. Геомеханический мониторинг – средство контроля и прогноза состояния массива горных пород для обеспечения производственной и экологической безопасности закрывающихся угольных шахт // Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию: Труды междунар. науч.-практ. конф. Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. Том 2. С. 52-59.
31. Ефимов А.М. Маркшейдерский мониторинг ликвидации стволов угольных шахт // Маркшейдерия и недропользование. 2011. № 2. С. 35-37.
32. Навитный А.М., Насенко В.Д., Еремеев В.М., Малышев А.А. О совершенствовании экологического мониторинга на территории ликвидируемых угольных шахт и разрезов. // Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России. Ростов-на-Дону. 2001. С. 13-15.
33. Сидорова Т.В., Першикова Е.Т., Перепечаева Н.И., Личевская Е.П., Чумаченко Ф.А. Комплексы геолого-геофизических методов при решении задач экологического мониторинга на полях закрываемых шахт Восточного Донбасса // Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России: Сб. тр. Всеросс. науч.-техн. семинара. Ростов-на-Дону, 2001. С. 121-124.
34. Журбицкий Б.И., Дымна А.И., Карасев Г.К., Фоменко Н.Е., Чумаченко Ф.А. Опыт проектирования и реализации рабочих проектов экологического мониторинга // Экологические проблемы при ликвидации шахт и разрезов. Пермь: Золотой город, 2001. С. 193-206.
35. Шубин А.А. Ликвидация подземных пустот в условиях активизации техногенных процессов. Монография. Ростов-на-Дону: Изд. журн. «Изн. вузов Сев.-Кав. регион. Технические науки». 2005. 116 с.



36. Судиловский М.Н., Колыщенко М.В., Эйнер Ф.Ф. Предупреждение и ликвидация аварий в шахтах ФРГ. Москва: Недра, 1988. 144 с.
37. Опыт ликвидации сложных аварий на угольных шахтах Украины / Ю.А. Гладков и др. Киев: Техника, 1992. 193 с.
38. Кипко Э.Я., Должиков П.Н., Рябичев В.Д. Опыт применения новых технических решений при ликвидации выработок закрываемых шахт// Науковий вісник НГУ України. 2002. №2. С. 18-20.
39. Проблемы горного дела и экологии горного производства: Монография / П.Н. Должиков, В.Д. Рябичев, П.С. Левчинский и др. Донецк: Вебер, 2007. 218 с.
40. Методическое руководство «О порядке выделения провалоопасных зон и выбора комплекса технических мероприятий по выявлению и ликвидации пустот на ликвидируемых шахтах Восточного Донбасса». Москва ИПКОН РАН, 2007. 34 с.
41. Зайденоварг В.Е., Навитный А.М., Твердохлебов В.Ф. Гидрогеологические аспекты ликвидации шахт в России // Уголь. 1999. № 12. С. 28-30.
42. Должиков П.Н., Кипко А.Э., Должиков Ю.П. Гидроактивизация деформаций породного массива при закрытии шахт: Монография. Донецк: Журфонд. 2015. 216 с.
43. Должиков П.Н., Прокопов А.Ю. Геодинамические процессы в гидроактивизированных подработанных горных массивах: Монография. Ростов н/Д: РГСУ, 2015. 149 с.
44. Геомеханические основы предотвращения провалов земной поверхности при ликвидации шахт/Звягильский Е.Л., Минаев А.А., Назимко В.В. и др. Донецк: ООО «НОРД Компьютер». 2001. 334 с.
45. Хамидуллина Н.В. Ликвидация провалов земной поверхности после консервации наклонных горных выработок// Транспорт-2018: сб. науч. тр. конф. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2018. С. 350-354.
46. Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса/ под редакцией В.М. Еремеева. Шахты: ЮРО АГН. 2001. 182 с.
47. Насонов И.Д., Ресин В.И. Моделирование физических процессов в горном деле. Монография. Москва: Изд-во Академии горных наук, 1999. 343 с.
48. Хамидуллина Н.В. Экспериментальные исследования процесса ликвидации провала над горной выработкой// Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 14-й Междунар. конф. Тула: ТулГУ, 2018. Том 1. С. 35-42.
49. Хамидуллина Н.В. Методика проектирования технологических параметров ликвидации провалов земной поверхности// Инженерный вестник Дона. 2018. №4. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5295>
50. Должиков П.Н., Прокопова М.В., Хамидуллина Н.В. Натурные исследования провалов над горными выработками закрытых шахт// Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. №4. С. 3-11.
51. Должиков П.Н., Легостаев С.О., Хамидуллина Н.В. Методы стабилизации деформационных процессов земной поверхности на подработанных территориях. /Материалы междунар. науч.-пр. конф. «Перспективы развития строительных технологий». Днепро: НГУ, 2018. С. 41-43.

References

1. Prokopova M.V., Khamidullina N.V., Rubtsova Y.A.S. Posledstviya likvidatsii shakht Vostochnogo Donbassa// Novye tekhnologii, innovatsii izobreteniya: sb. statei Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (1marta 2018 g, Ufa). Ufa: Aeterna, 2018. S. 82-84.
2. Prokopov A.YU., Gridnevskii A.V., Khamidullina N.V. Obespechenie bezopasnoi ehkspluatatsii zdaniya v usloviyakh vliyaniya negativnykh geologicheskikh i tekhnogennykh faktorov// Stroitel'stvo. Arkhitektura. Ehkonomika: materialy Mezhdunar. foruma «Pobednyi mai 1945 godA». Rostov-na-Donu: DGTU, 2018. S. 64-67.
3. Vliyanie likvidirovannykh shakht na ehkologiyu Kuzbassa / Tyuleneva T.A. // Ehkologicheskie problemy promyshlenno razvitykh i resursodobyvayushchikh regionov: puti resheniya. Sbornik trudov III Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Pod redaktsiei S.V. Kostyuk. 2018. S. 220.1-220.3.
4. Problemy razvitiya gornodobyvayushchego kompleksa Vostochnogo Donbassa i puti ikh resheniya monografiya / Pod red. S.G. Stradanchenko. Novocherkassk: Lik. 2009. 198 s.
5. Instruksiya po nablyudeniym za sdvizheniem gornykh porod, zemnoi poverkhnosti i podrabatyvaemymi sooruzheniyami na ugol'nykh i slantsevykh mestorozhdeniyakh. Utv. 30.12.87. Razrab. VNIMI/ Sost.: I.A. Petukhov, N.I. Mitichkina, V.N. Zemisev i dr. Moskva: Nedra. 1989. 96 s.
6. Tekhnologiya zakrytiya (likvidatsii) ugol'nykh shakht / Pod obshch. red. I.F. Yarembasha. Donetsk: Nord-Press. 2004. 238 s.



7. Ehkologicheskie i sotsial'nye posledstviya obrazovaniya podrobotannykh territorii likvidirovannykh shakht Kuzbassa / Tyuleneva T.A.// Ehkologicheskie problemy promyshlenno razvitykh i resursodobyvayushchikh regionov: puti resheniya. Sbornik trudov III Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Pod redaktsiei S.V. Kostyuk. 2018. S. 221.1-221.4.
8. Gavrilenko YU. N., Ulitskii O. A., Shiptenko A. V. Ob usloviyakh obrazovaniya provalov na zemnoi poverkhnosti nad gorizontalnymi i naklonnymi vyrabotkami // Proyavlenie gornogo davleniya: Sb. nauch. tr. № 3. Donetsk. 1999. S. 110-115.
9. Kosov O.I. Provaloopasnost' territorii zakrytykh shakht Vostochnogo Donbassa// Ehkologo-ekonomicheskie problemy prirodopol'zovaniya v gornoi promyshlennosti. Shakhty: YURO AGN RF, 2006. № 9. C. 145.
10. Gavrilenko YU.N., Feofanov A.N. Otsenka sovremennogo sostoyaniya starykh gornyykh vyrabotok na malykh glubinah// Izvestiya Donetskogo gornogo instituta. 2001. №2. S. 87-91.
11. isun A.P., Yakovlev D.V., Zemisev V.N., Yagunov A.S. Geomekhanicheskie problemy likvidatsii shakht v Rossii // Ugol'. 1999. №9 S. 61-62.
12. Kachurin N.M. Geomekhanicheskie i aehrogazodinamicheskie posledstviya podrobotki territorii gornyykh otvodov shakht Vostochnogo Donbassa // Izvestiya TuLGU. Nauki o Zemle. 2017. № 1. S. 170-181.
13. Environmental consequences of coal mine elimination / Tyuleneva T. // Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection". 2018. S. 352-356.
14. Geomekhanicheskie i tekhnologicheskie problemy zakrytiya shakht Donbassa: Uchebnoe posobie / Pod obshch.red. S.S. Grebenkina, V.N. Ermakova. Donetsk: DoNNTU. 2002. 266 s.
15. Metodicheskoe rukovodstvo o poryadke vydeleniya provaloopasnykh zon i vybora kompleksa tekhnicheskikh meropriyatiy po vyyavleniyu i likvidatsii pustot pri likvidatsii shakht. /A.S. Yagunov [i dr.]. Moskva: IPKON RAN, 1999. 54 s.
16. Belodedov A.A., Dolzhikov P.N., Legostaev S.O. Analiz mekhanizma obrazovaniya deformatsii zemnoi poverkhnosti nad gornymi vyrabotkami zakrytykh shakht// Izvestiya TuLGU. Nauki o Zemle, 2017. №1. S. 160-169.
17. Feofanov A.N. Obosnovanie parametrov ucheta starykh gornyykh vyrabotok na maloi glubine dlya okhrany poverkhnostnykh ob"ektov: Avtoref. disc... kand. tekhn. nauk. Donetsk, 2003. 16 s.
18. Petrov I.V., Savon D.YU., Stoyanova I.A. Ehkologo-ekonomicheskie posledstviya restrukturalizatsii ugol'noi promyshlennosti Vostochnogo Donbassa // Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2014. №5. S. 276-282.
19. Kipko E.H.YA., Dolzhikov P.N., Ryabichev V.D. Kompleksnaya tekhnologiya likvidatsii naklonnykh gornyykh vyrabotok. Monografiya. Donetsk: Nord-Press, 2005. 220 s.
20. Research into Dangerous surface deformations over inclined Shafts of Abandoned Coal-mines / Belodedov A.A., Dolzhikov P.N., Legostaev S.O. // Scientific Reports on Resource Issues. Freiberg, Germany: TU Bergakademie, 2016. Vol.1. Rp.159-165.
21. Sposoby resheniya ehkologicheskikh problem likvidatsii ugol'nykh shakht / Tyuleneva T.A.// Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2018. Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Otvetstvennyi redaktor A.A. Khoreshok. 2018. S. 120.1-120.5.
22. Mokhov A.V. Transformatsiya gidrodinamicheskikh kharakteristik gornogo massiva na uchastkakh osvoeniya kamennougol'nykh zalezhei podzemnym sposobom: Avtoref. diS... d.t.n., Novochoerkassk: YURGPU(NPI), 2015. 32 s.
23. Dolzhikov P.N., Prokopov A.YU. Metodika proektirovaniya i tekhnologicheskaya skhema povtorno likvidatsii naklonnykh stvolov zakrytykh ugol'nykh shakht / Mater. mezhdunar. nauch.-prak. konf. «Forum gornyakov – 2017». Dnepr: NGU. S. 89-94.
24. Borzykh A.F., Zyukov YU.E., Knyazhev S.N. Soderzhanie, remont i likvidatsiya vyrabotok ugol'nykh shakht: Monografiya. Alchevsk: DoNGTU, 2004. 614 s.
25. Zakladochnye raboty v shakhtakh. Spravochnik / Pod redaktsiei D.M. Bronnikova. Moskva: Nedra, 1989. 400 s.
26. Kurnakov V.A., Stradanchenko S.G. Obosnovanie sposobov zakladki naklonnykh stvolov zakryvaemykh ugol'nykh shakht Vostochnogo Donbassa / pod obshch. red. V.A. Kurnakova. Rostov-na-Donu: Izd-vo zhurn. «Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tekhnicheskie nauki», 2007. 120 s.
27. Zaklyuchenie o vozmozhnosti likvidatsii vertikal'nykh i naklonnykh stvolov shakht OAO «Rostovugol». Tom 1. Gosudarstvennyi nauchno-issledovatel'skii institut gornoi geomekhaniki i marksheiderskogo dela. Mezhotraslevoi nauchnyi tsentr VNIMI. Severo-Kavkazskoe predstavitel'stvo. – Shakhty, 2003. 136 s.



28. Zaklyuchenie o vozmozhnosti likvidatsii vertikal'nykh i naklonnykh stvolov shakht OAO «Rostovugol». Tom 2. Gosudarstvennyi nauchno-issledovatel'skii institut gornoi geomekhaniki i marksheiderskogo dela. Mezhotraslevoi nauchnyi tsentr VNIMI. Severo-Kavkazskoe predstavitel'stvo. – Shakhty, 2003. 122 s.
29. Kosov O.I. Malysheva A.A. Sokolova O.V. Likvidatsiya shakht i ehkologicheskie problemy Vostochnogo Donbassa // Ehkologo-ehkonomicheskie problemy prirodopol'zovaniya v gornoi promyshlennosti. Shakhty: YURO AGN RF. 2007. № 10. С. 64-69.
30. Vlasenko B.V., Potapov V.P., Langol'f E.H.L. Geomekhanicheskii monitoring – sredstvo kontrolya i prognoza sostoyaniya massiva gornyx porod dlya obespecheniya proizvodstvennoi i ehkologicheskoi bezopasnosti zakryvayushchikhsya ugol'nykh shakht // Ehkologicheskie problemy ugledobyvayushchei otrasli v regione pri perekhode k ustoychivomu razvitiyu: Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 1999. Tom 2. S. 52-59.
31. Efimov A.M. Marksheiderskii monitoring likvidatsii stvolov ugol'nykh shakht // Marksheideriya i nedropol'zovanie. 2011. № 2. S. 35-37.
32. Navitnyi A.M., Nasenko V.D., Ereemeev V.M., Malyshev A.A. O sovershenstvovanii ehkologicheskogo monitoringa na territorii likvidiruemykh ugol'nykh shakht i razrezov. // Nauchno-metodicheskoe obespechenie monitoringa ugol'nykh basseinov i mestorozhdenii Rossii. Rostov-na-Donu. 2001. S. 13-15.
33. Sidorova T.V., Pershikova E.T., Perepechaeva N.I., Lichevskaya E.P., Chumachenko F.A. Kompleksy geologo-geofizicheskikh metodov pri reshenii zadach ehkologicheskogo monitoringa na polyakh zakryvaemykh shakht Vostochnogo Donbassa// Nauchno-metodicheskoe obespechenie monitoringa ugol'nykh basseinov i mestorozhdenii Rossii: Sb. tr. Vseross. nauch.-tekhn. seminar. Rostov-na-Donu, 2001. S. 121-124.
34. Zhurbitskii B.I., Dymna A.I., Karasev G.K., Fomenko H.E., Chumachenko F.A. Opyt proektirovaniya i realizatsii rabochikh proektov ehkologicheskogo monitoringa// Ehkologicheskie problemy pri likvidatsii shakht i razrezov. Perm': Zolotoi gorod, 2001. S. 193-206.
35. Shubin A.A. Likvidatsiya podzemnykh pustot v usloviyakh aktivizatsii tekhnogennykh protsessov. Monografiya. Rostov-na-Donu: Izd. zhurn. «Izv. vuzov Sev.-Kav. region. Tekhnicheskie nauki». 2005. 116 s.
36. Sudilovskii M.N., Kolyshenko M.V., Ehiner F.F. Preduprezhdenie i likvidatsiya avarii v shakhtakh FRG. Moskva: Nedra, 1988. 144 s.
37. Opyt likvidatsii slozhnykh avarii na ugol'nykh shakhtakh Ukrainy / YU.A. Gladkov i dr. Kiev: Tekhnika, 1992. 193 s.
38. Kipko E.H.YA., Dolzhikov P.N., Ryabichev V.D. Opyt primeneniya novykh tekhnicheskikh reshenii pri likvidatsii vyrabotok zakryvaemykh shakht// Naukovii visnik NGU Ukraïni. 2002. №2. S. 18-20.
39. Problemy gornogo dela i ehkologii gornogo proizvodstva: Monografiya / P.N. Dolzhikov, V.D. Ryabichev, P.S. Levchinskii i dr. Donetsk: Veber, 2007. 218 s.
40. Metodicheskoe rukovodstvo «O poryadke vydeleniya provalopasnykh zon i vybora kompleksa tekhnicheskikh meropriyatii po vyyavleniyu i likvidatsii pustot na likvidiruemykh shakhtakh Vostochnogo Donbassa». Moskva IPKON RAN, 2007. 34 s.
41. Zaidenvarg V.E., Navitnyi A.M., Tverdokhlebov V.F. Gidrogeologicheskie aspekty likvidatsii shakht v Rossii // Ugol'. 1999. № 12. S. 28-30.
42. Dolzhikov P.N., Kipko A.EH., Dolzhikov YU.P. Gidroaktivizatsiya deformatsii porodnogo massiva pri zakrytii shakht: Monografiya. Donetsk: Zhurfond. 2015. 216 s.
43. Dolzhikov P.N., Prokopov A.YU. Geodinamicheskie protsessy v gidroaktivizirovannykh podrobotannykh gornyx massivakh: Monografiya. Rostov n/D: RGSU, 2015. 149 s.
44. Geomekhanicheskie osnovy predotvrashcheniya provalov zemnoi poverkhnosti pri likvidatsii shakht/Zvyagil'skii E.L., Minaev A.A., Nazimko V.V. i dr. Donetsk: OOO «NORD Komp'yuteR». 2001. 334 s.
45. Khamidullina N.V. Likvidatsiya provalov zemnoi poverkhnosti posle konservatsii naklonnykh gornyx vyrabotok// Transport-2018: sb. nauch. tr. konf. Rostov-na-Donu: RGUPS, 2018. S. 350-354.
46. Ehkologicheskii monitoring likvidatsii neperspektivnykh shakht Vostochnogo Donbassa/ pod redaktsiei V.M. Ereemeva. Shakhty: YURO AGN. 2001. 182 s.
47. Nasonov I.D., Resin V.I. Modelirovanie fizicheskikh protsessov v gornom dele. Monografiya. Moskva: Izd-vo Akademii gornyx nauk, 1999. 343 s.
48. Khamidullina N.V. Ehksperimental'nye issledovaniya protsessa likvidatsii provala nad gornoi vyrabotkoi// Sotsial'no-ehkonomicheskie i ehkologicheskie problemy gornoi promyshlennosti, stroitel'stva i ehnergetiki: materialy 14-i Mezhdunar. konf. Tula: TuLGU, 2018. Tom 1. S. 35-42.
49. Khamidullina N.V. Metodika proektirovaniya tekhnologicheskikh parametrov likvidatsii provalov zemnoi poverkhnosti// Inzhenernyi vestnik Dona. 2018. №4. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5295>
50. Dolzhikov P.N., Prokopova M.V., Khamidullina N.V. Naturnye issledovaniya provalov nad gornymi vyrabotkami zakrytykh shakht// Izvestiya TuLGU. Nauki o Zemle. 2018. №4. S. 3-11.



51. Dolzhikov P.N., Legostaev S.O., Khamidullina N.V. Metody stabilizatsii deformatsionnykh protsessov zemnoi poverkhnosti na podrabotannykh territoriyakh. /Materialy mezhdunar. nauch.-pr. konf. «Perspektivy razvitiya stroitel'nykh tekhnologii». Dnipro: NGU, 2018. S. 41-43.

Авторы

Тюленева Татьяна Александровна,

канд. экон. наук, доцент

e-mail: krukta@mail.ru

Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф.Горбачева
Российская Федерация, г. Кемерово, 650000,
ул. Весенняя, 28
Филиал Кузбасского государственного
технического университета в г.Прокопьевске
Российская Федерация, Кемеровская область –
Кузбасс, г.Прокопьевск, 653049, ул. Ногрaдская,
19a

Филиал Кузбасского государственного
технического университета в г.Междуреченске
Российская Федерация, Кемеровская область –
Кузбасс, г. Междуреченск, 652881,
пр.Строителей, 36

Библиографическое описание статьи

Тюленева Т.А. Совершенствование технологии
ликвидации провалов над горными выработками
// Техника и технология горного дела. – 2021. –
№ 1 (12). – С. 4-26.

Authors

Tatyana A. Tyuleneva

Ph.D. (Economics), Assistant Professor

e-mail: krukta@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
Kemerovo, 28 Vesennyya str., 650000,
Russian Federation

Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical
University in Prokopyevsk
Prokopyevsk, 19a Nogradskaya str., 653049,
Kemerovo region – Kuzbass, Russian Federation

Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical
University in Mezhdurechensk
Mezhdurechensk, 36 Stroitelei av., 652881,
Kemerovo region – Kuzbass, Russian Federation

Cite this article

Tyuleneva T.A. (2021) Improving the technology of
elimination of sinkholes over mining workings,
Journal of mining and geotechnical engineering,
1(12):4.