УДК 622.27.012:622.284

В.А.СМИРНОВ, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, a_smirnoff@spmi.ru*
Э.Н.РАБОТА, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, aer@userf.mns.ru*
Е.В.ГОНЧАРОВ, *старший научный сотрудник, goncharov@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

V.A.SMIRNOV, *PhD in eng. sc., leading research assistant, a_smirnoff@spmi.ru*
E.N.RABOTA, *PhD in eng. sc., leading research assistant, aer@userf.mns.ru*
E.V.GONCHAROV, *senior research assistant, goncharov@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ТЕРМОУКРЕПЛЕНИЕ СЛАБОСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ И ПОРОД ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

Приведен анализ данных практического применения термоупрочнения грунтов и пород. Использование этого метода в горном деле сдерживается слабой изученностью процессов, сопровождающих нагревание и последующее охлаждение упрочняемых грунтов и пород. Обоснована возможность применения термоупрочнения слабосвязных пород при ведении открытых и подземных горных работ.

Ключевые слова: глинистые увлажненные грунты и породы, термоупрочнение, плоскость скольжения, опережающие анкеры.

THERMAL STRENGTHENING OF LOOSENED SOILS AND ROCKS DURING MINING OPERATIONS

The Article contains the analysis of data on application of thermal strengthening of soils and rocks. The use of this method in mining is restrained by insufficient study of the processes accompanying the heating and following cooling of strengthened soils and rocks. Substantiation is given to the potential application of thermal strengthening of loosened rocks during surface and underground mining.

Key words: clay wetted soils and rocks, thermal strengthening, sliding plane, advancing anchors.

Перспективность метода термического упрочнения грунтов обуславливается его высокой технической и экономической эффективностью. Важным преимуществом этого метода является весьма малая материалоемкость технологий но устройству опорных конструкций из упрочненного грунта или пород, так как они сами служат первичным сырьем, а на обжиг затрачивается незначительное количество топлива или электрической энергии. При этом резко сокращается потребность в привозных и местных материалах, уменьшаются объемы транспортных перевозок по сравнению с другими способами упрочнения. Данное обстоятельство особенно важно для вновь осваиваемых месторождений полезных ископаемых, которые часто значительно удалены от поставщиков стройматериалов и характеризуются отсутствием налаженной транспортной инфраструктуры. Для этого метода применяется простое в эксплуатации оборудование с возможностью достижения высокой степени механизации технологических процессов.

Несмотря на ряд очевидных и проверенных опытом преимуществ и достоинств, применение метода термического упрочне-

ния грунтов пока не вышло за рамки эксперимента и используется в основном в строительстве для снижения проседания слабых грунтов под основаниями и фундаментами зданий и сооружений. Однако за последние годы разработан ряд новых технологий термического упрочнения грунтов в различных целях на уровне изобретений [2-5, 8] и некоторые из них проверены при возведении и реконструкции зданий и сооружений.

Недостаточно широкое использование этого метода в горном деле связано прежде всего с малой изученностью сложных процессов, сопровождающих нагревание и последующее охлаждение упрочняемых грунтов и пород.

При анализе данных практического применения термоупрочнения пород несомненный теоретический и практический интерес представляют способы термической обработки грунтов через буровые скважины, позволяющие образовывать в результате обжига грунтов ограждающие и несущие конструкции из термоупрочненных цилиндров. При различном их размещении можно получить сплошной упрочненный массив или конструкции в виде рядов свай, опор, подпорных стен, обделок горных выработок.

При ведении открытых горных работ в процессе формирования уступов глинистые и глиносодержащие породы, как в рабочих, так и в нерабочих бортах карьера, обычно значительно увлажнены, что придает им под нагрузкой характер деформирования пластичного тела.

В ходе отработки одного из крупнейших в мире карьеров Лебединского железорудного месторождения, относящегося к сложным по инженерно-геологическим условиям разработки, отмечается целая серия неблагоприятных явлений, которые постоянно сопровождают и осложняют основные горно-эксплуатационные процессы.

К числу таких негативных явлений относятся:

• размывы откосов вскрышных уступов, бортов и отвалов ливневыми и подземными водами, оползни, обрушения, осыпи, механическая суффозия, оплывание, фильтрационный размыв, разжижение, растекание, просадки;

• циклическая деформация бортов карьеров;

• в подземных дренажных системах прорывы подземных вод и плывунных отложений, вывалы, обрушения и т.д.

Устойчивость уступов и бортов карьера зависит от баланса сдвигающих и удерживающих сил, действующих по наиболее вероятной поверхности скольжения, формирующейся в породах борта карьера при достижении их предельного состояния. От величины удерживающих сил зависит устойчивость уступов в бортах карьера, их высота, углы откосов и срок службы. При нарушении баланса сил движение оползня может быть остановлено только сооружением достаточно прочных конструкций на пути скольжения, создающих ему достаточное сопротивление.

Создание таких конструкций на оползнеопасном участке борта карьера с помощью термоупрочнения пород осуществляется следующим образом.

По данным геологической разведки устанавливают расположение и мощность залегания глинистых пород в борту карьера, анализируют физико-механические свойства пород, при этом дополнительно испытывают породы на обводненность, теплопроводность, определяют температуру спекаемости.

При проектировании карьера на участке залегания глинистых пород в борту карьера с помощью известной методики расчета [7] устанавливают расположение поверхности скольжения в их толще и после формирования уступов по линиям сопряжения откосов с площадками уступов бурят скважины под прямым углом к поверхности скольжения с определенным перебуром за поверхность скольжения (рис.1).

При этом расстояние между скважинами в рядах *a* принимают по условию смыкания зон упрочнения (спекания), образующихся у скважин при их термообработке. Этот параметр определяют, исходя из результатов испытаний пород при действии на них высоких температур и характеристик применяемого термитного топлива. Для большинства глинистых и глиносодержащих грунтов и пород по имеющимся данным параметр упрочнения составляет от 1 до 2 м [6].

По окончании бурения скважин в них размещают термоэлементы, например в виде термогазогенераторов (рис.2), и инициируют процесс термообработки пород на участках скважин, расположенных по обе стороны поверхности скольжения.

В зависимости от требуемой прочности сооружаемых подпорных конструкций термообработку можно производить в несколько этапов. На первом этапе термообработку производят при нагревании пород до 200 °С. Она направлена на высушивание увлажненных глинистых пород вокруг скважин и развитие в них процесса трещинообразования.

При необходимости для создания более жестких конструкций на втором этапе термообработку производят до спекания пород при температуре от 800 до 1300 °С. В результате на пути возможного оползня образуются достаточно прочные подпорные конструкции из бетонных (железобетонных) свай и термоупрочненных пород. Прочность этих конструкций в дальнейшем может быть еще более повышена путем заполнения скважин цементно-песчаным раствором, а также установкой в них арматуры.

Для контроля за уровнем температуры в массиве между скважинами, смыканием зон упрочнения пород между ними и прочностью пород в зонах используют контрольно-резервные скважины, которые служат также для откачки воды, вытесняемой из пород при термообработке. В дальнейшем их используют в качестве дополнительного усиления сооружаемой конструкции, произведя с ними аналогичные операции. Контроль за уровнем температуры производят с помощью термопар. Качество упрочнения пород определяют экспресс-методом по вдавливанию пуансонов в стенки скважин.

Бурение скважин в неустойчивых породах, склонных к обрушению, вслед за подвиганием забоя скважины производят с обсадкой трубами из материала, который при термообработке скважин сгорает и может быть использован в качестве дополнительного топлива.

Предложенный способ укрепления оползнеопасных участков бортов карьеров

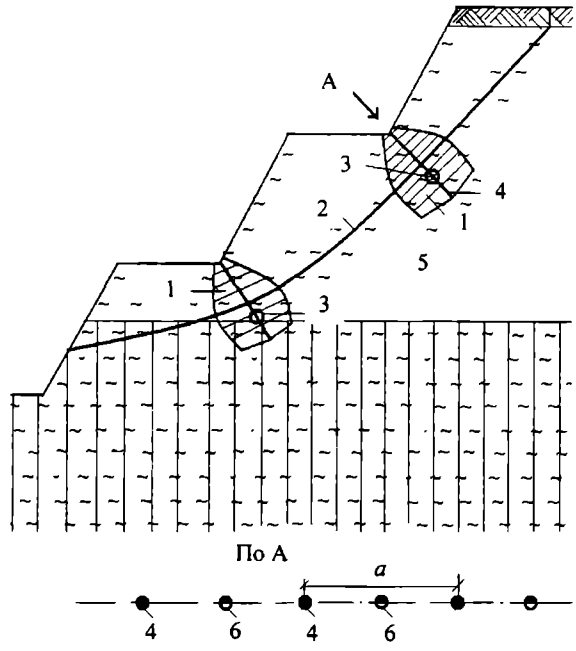


Рис.1.Укрепление борта карьера

1 – зоны упрочнения; 2 – поверхность скольжения; 3 – термоизлучатели; 4 – скважины для термоупрочнения; 5 – толща глинистых пород; 6 – контрольно-резервные скважины

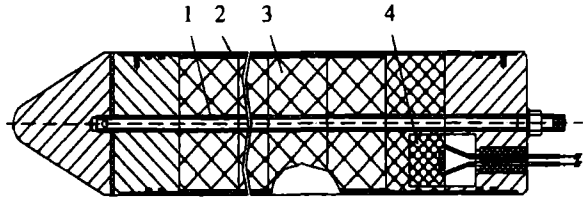


Рис.2. Конструкция термогазогенератора

1 – сборочный болт с гайкой; 2 – корпус с крышками и наконечником; 3 – термитные шашки; 4 – запальное устройство

представляется эффективным при разработке месторождений алмазов, например Трубки им. В.Гриба, где покровная толща пород, включающая ярус из песчано-глинистых четвертичных отложений мощностью до 100 м, будет опасна по образованию на уступах карьера оползней и оплываний. При недостаточном осушении бортов возможно образование оползней в глиносодержащих породах и более глубоких горизонтов.

Термоупрочнение пород при подземной отработке месторождений может найти применение при проходке и креплении выработок в увлажненных глинистых и глиносо-

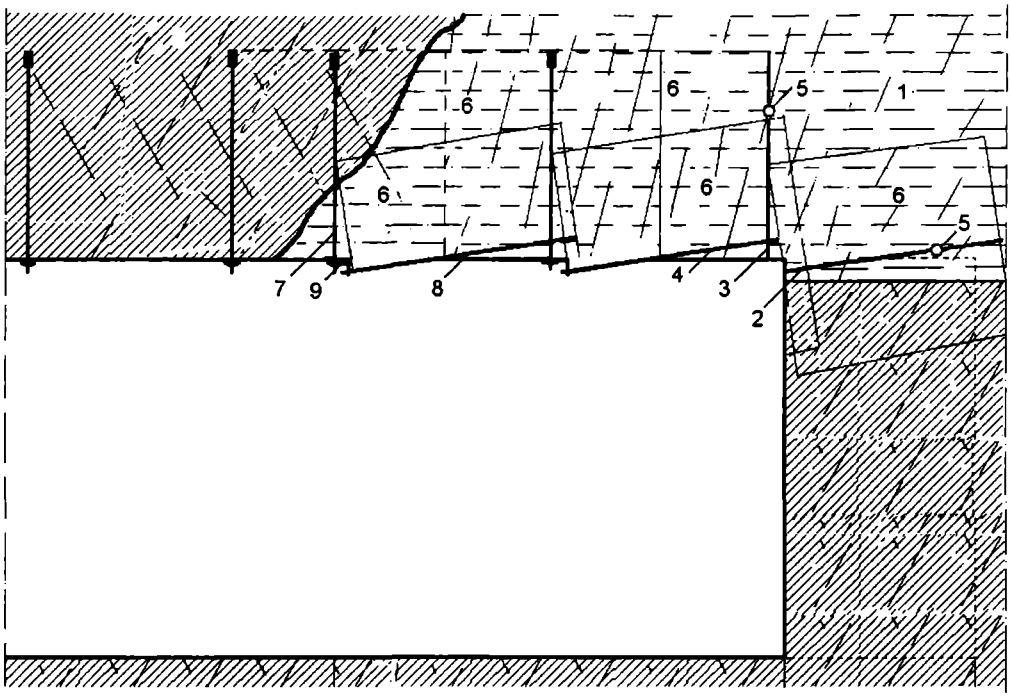


Рис.3. Проведение выработки с предварительным термоупрочнением пород и опережающим анкерным креплением

1 – массив неустойчивых пород; 2- скважины, пробуренные для термообработки пород; 3 – скважины для установки анкеров временной крепи; 4 – скважины для установки анкеров предохранительной крепи; 5 – термоизлучатели, установленные в скважинах; 6 – области упрочненных пород вокруг скважин после термообработки пород кровли; 7 – железобетонный анкер временной крепи; 8 – железобетонный анкер предохранительной крепи; 9 – узел связи анкеров временной и предохранительной крепи

держащих породах, склонных к обрушению и пучению. В частности, при проходке выработок с применением анкерной крепи.

Основными недостатками, ограничивающими применение анкеров в обводненных глиносодержащих породах, являются низкая прочность закрепления замковых частей анкеров в скважинах и слабое взаимодействие анкеров между собой.

Обеспечение эффективности и расширение области применения анкерного крепления выработок возможно за счет его сочетания с термическим упрочнением неустойчивых пород приконтурного массива выработок.

Например, при использовании известного способа проходки выработок с опережающим анкерным креплением [1], его эффективность достигается тем, что одну часть пробуренных шпуров используют для предварительного упрочнения пород в объеме упрочняемого участка между этими скважинами, а другую часть – для последующего крепления выработки анкерами, устанавливаемыми в уже упрочненных породах. При этом для обеспечения совместной работы наклонных и вертикальных анкеров крепи производят их сцепление и натяжение с помощью опорных уголков и гаек (рис.3).

Сущность способа заключается в том, что он позволяет за счет термического воздействия перевести неустойчивые породы приконтурного массива в состояние, обеспечивающее возможность эффективного применения анкерного крепления (достаточную прочность закрепления замков и высокую адгезию закрепляющих составов).

При подходе к участку неустойчивых пород, залегающих, например, в кровле выработки (рис.3), переходят на новый паспорт крепления, согласно которому на сопряжении кровли с забоем выработки бурят вертикальные и в створе с ними слабонаклонные скважины (под углом 5-10° к горизонтали) в направлении подвигания выработки.

По окончании бурения обоих рядов скважин в части из них размещают термоизлучатели и инициируют процесс термообработки пород кровли. При этом расстояние между скважинами в рядах и между рядами принимают по условию смыкания зон упрочнения (спекания или остекловывания), образующихся у скважин после их термообработки. Этот параметр определяют, исходя из результатов испытаний пород при действии на них высоких температур и характеристик применяемого термитного топлива.

Другую часть скважин после термообработки пород кровли используют для установки анкерной крепи. При этом опережающие наклонные анкеры служат предохранительной крепью в процессе проходки, а анкеры, устанавливаемые в вертикальных скважинах, выполняют функцию временной крепи, вплоть до момента установки постоянной крепи (бетонной, железобетонной, тюбинговой и т.п.).

Такой способ проходки может найти применение, в частности, при подземной разработке месторождений алмазов в Архангельской области, где проходку выработок на верхних горизонтах необходимо вести в условиях залегания обводненных глиносодержащих и песчанистых пород средней прочностью от 2 до 5 МПа. Эти породы относятся к категории неустойчивых вследствие склонности их к обрушению сразу вслед за подвиганием проходческого забоя, что требует применения специальных способов проходки (с предварительным замораживанием, смолоинъекцией, цементацией, под кессоном и т.п.). По сравнению с ними, требующими сложного и дорогостоящего оборудования, способ проходки с термоупрочнением и анкерным креплением пород приконтурного массива выработки представляется наиболее целесообразным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию РФ в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010)», грант РНП 2.1.2 / № 5718 «Разработка теоретических основ термомеханики неоднородных сред и горных пород».

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1544985 СССР. Способ крепления горных выработок / А.П.Белоусов, В.А.Смирнов, Б.Я.Генкин // Изобретения. 1990. № 7.

2. А.с. № 1566035 СССР. Способ крепления горных выработок / Д.Г.Гудушаури, М.Ш.Гудушаури, Б.Я.Гогуа, А.И.Чаладзе // Изобретения. 1990. № 19.

3. Патент № 2088727 РФ. Способ термического укрепления грунта / Л.А.Бабин, Ю.И.Спектор, О.Л.Денисов и др. // Изобретения. 1997. № 24.

4. Патент № 2062831 РФ. Способ изготовления термогрунтовой сваи / В.В.Сиротюк // Изобретения. 1996. № 18.

5. Патент № 2040640 РФ. Способ термического упрочнения грунта и устройство для его осуществления / В.В.Пинаев // Изобретения. 1995. № 21.

6. *Тишкинов А.С.* Упрочнение неустойчивых массивов горных пород на основе термического и газотермохимического воздействия / А.С.Тишкинов, А.А.Таюрский, Е.В.Гончаров, А.Т.Карманский // Вестник Кузбасского государственного технического ун-та. 2006. № 1. С.74-76.

7. *Фисенко Г.Л.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.

8. *Юрданов А.П.* Термическое упрочнение грунтов в строительстве. М.: Стройиздат, 1990. 128 с.

REFERENCES

1. A.s. № 1544985 SU. Method of support of mine workings / Belousov A.P. et al. // BI. 1990. № 7.

2. A.s. № 1566035 SU. Method of support of mine workings / Gudushauri G.D. et al. // BI. 1990. № 19.

3. Patent № 2088727 RF. Method of thermal strengthening of soil / Babin L.A. et al. // BI. 1997. № 24.

4. Patent № 2062831 RF. Method of making of thermal-soil column / Sirotyk V.V. // BI. 1996. № 18.

5. Patent № 2040640 RF. Method of thermal strengthening of soil and device for its realization / Pinaev V.V. // BI. 1995. № 21.

6. *Tishkinov A.S., Tayursky A.A., Goncharov E.V., Karmansky A.T.* Strengthening of unstable rock mass on the basis of thermal and gasthermochemical influence // Vestnik of Kuzbas State Techn. Univers. 2006. № 1. P.74-76.

7. *Fisenko G.L.* Stability of open-pit slopes and waste dumps. Moscow: Nedra, 1965. 378 p.

8. *Yurdanov A.P.* Thermal sof soils in construction. Moscow: Stroyizdat, 1990. 128 p.