

УДК 622.272.6.112.3(100)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ УСТАНОВКИ
ИНЪЕКЦИОННОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПИ**

Р. А. Игнатъев, Е. Р. Игнатъев

*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
E-mail: luda_uK@mail.ru, ул. Протозанова А. К., 69, 070004, г. Усть-Каменогорск, Казахстан*

Представлены конструкции инъекционных анкеров, которые совмещают функции анкера и инжектора при упрочнении трещиноватых горных пород при проведении горных выработок. Приведены результаты поиска малотоксичных составов. Разработана технология установки инъекционных анкеров.

Инъекционный анкер, полимерный упрочняющий состав, упрочняющий органо-минеральный состав, инжектор, технология установки

Возрастающая ценность минерального сырья выдвигает задачи по улучшению показателей извлечения руды, снижению затрат на горно-подготовительные и очистные работы. При добыче руд подземным способом разработка месторождений сопровождается усложнением горно-геологических условий, снижением устойчивости обнажений, что связано с увеличением глубины залегания рудных тел. Вследствие этого растут затраты на поддержание как подготовительных, так и очистных выработок. Новые возможности обеспечения безопасности при проведении горно-подготовительных, подготовительно-нарезных выработок, их сохранности в период очистной выемки дает способ управления состоянием массива путем нагнетания в трещины вяжущих материалов подходящего химического состава. При этом повышается устойчивость массива, а в ряде случаев упрочняются горные породы.

Однако в горных породах с выраженной слоистостью, по которой развивается основная система трещин, особенно при наличии секущей трещиноватости, в процессе нагнетания вяжущих растворов происходит гидравлический разрыв и обрушение отдельных породных блоков. Основная идея в предотвращении подобных явлений заключается в объединении положительных свойств анкерной крепи и инъекционного упрочнения горных пород. По сути, анкер с достаточной несущей способностью должен служить “инжектором” [1].

На рис. 1 приведен вариант конструкции анкера: штанга длиной 1.8–4 м составлена из круглого стержня 3 диаметром 22 мм с отрезком цельнотянутой стальной трубы диаметром 33.5 и толщиной стенки 5.5 мм. Стержень и патрубок соединены сваркой. У места сварки патрубка со стержнем имеется боковое отверстие с обратным клапаном ниппельного типа. Стержень 3 соединен с анкерным замком клинощелевого типа. Герметизатор 7 состоит из набора резиновых и стальных колец. Расклинивание замка проводится перфоратором. Гайка 8 герметизатора и натяжная гайка 13 затягиваются при помощи торцевого ключа с электроприводом. Инъекционный нагнетательный шланг присоединяется к выступающей части анкера 11.

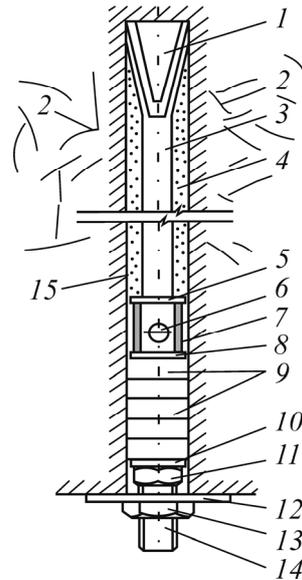


Рис. 1. Инъекционный анкер распорно-клинового типа: 1 — клин; 2 — трещины, заполненные при нагнетании; 3 — стержень анкера; 4 — затвердевший полимерный состав; 5 — соединительная шайба; 6 — выходное отверстие подачи полимерного состава в шпур; 7 — ниппельный обратный клапан; 8 — опорная шайба; 9 — герметизатор; 10 — нажимная шайба герметизатора; 11 — гайка герметизатора; 12 — опорная плита; 13 — натяжная гайка; 14 — труба с резьбой для подсоединения нагнетательного шланга; 15 — шпур

На рис. 2 представлено конструктивное исполнение инъекционных анкеров аналогичного назначения [1]. Отличие от предыдущего варианта (см. рис. 1) заключается в том, что стержень выполнен не составным, а трубчатый из цельнотянутой стальной трубы. Диаметр трубы выбирается в соответствии с диаметром шпура. Вариант на рис. 2а — распорно-клинового типа, на рис. 2б — самозаклинивающегося. Конструктивное отличие этих анкеров заключается в том, что обратные клапаны могут быть как ниппельного, так и шарикового типа (на рис. 2 не показаны). Технология установки обоих вариантов анкеров аналогична анкеру, показанному на рис. 1. По результатам контрольных испытаний, инъекционные анкеры приведенных конструкций в зоне ведения взрывных работ теряют несущую способность на 10% (без инъекционного заполнения потеря несущей способности составляет 60–80%).

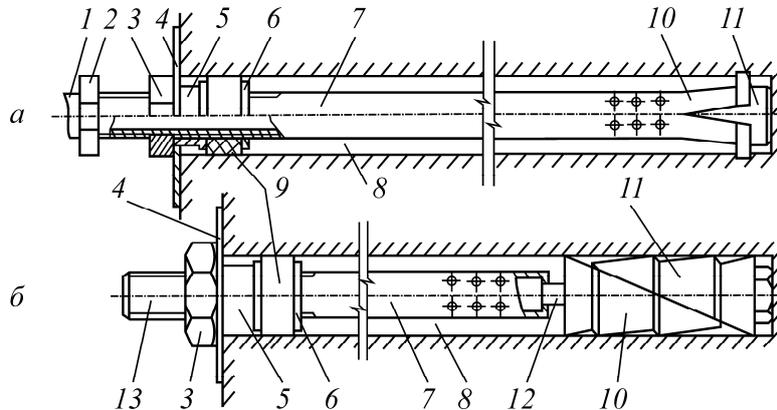


Рис. 2. Варианты конструкций анкер-инъекторов: а — распорно-клинового типа; б — самозаклинивающегося типа; 1 — шланг высокого давления; 2 — накидная гайка; 3 — натяжная гайка; 4 — опорная плита; 5 — прижимная труба с фланцем; 6 — опорный фланец; 7 — трубчатая штанга-инъектор; 8 — шпур; 9 — разжимное кольцо-герметизатор; 10 — замковая часть; 11 — клин; 12 — анкерный стержень; 13 — хвостовик штанги-инъектора для подсоединения нагнетательного шланга

Отметим, что сталеполимерные анкеры, устанавливаемые по ампульной технологии, несущую способность не теряют [2]. В этой связи разработана конструкция анкера, сочетающая положительные качества сталеполимерных и инъекционных анкеров (рис. 3). В отличие от предыдущих конструкций проведена замена механического замка полимерным. Новый анкер представляет собой комбинированную конструкцию с элементами инъекционного (рис. 1) и сталеполимерного замкового типа крепи [3].

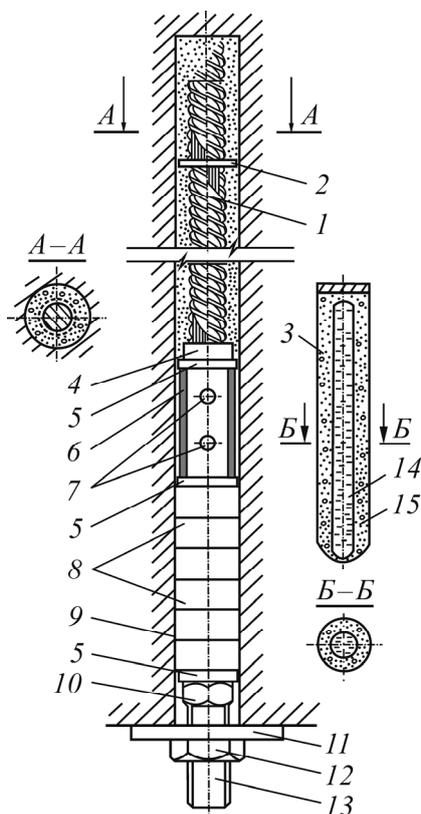


Рис. 3. Вариант конструкции беззамкового инъекционного анкера: 1 — стержень анкера; 2 — затвердевший полимерный состав; 3 — ампула с полимерным составом; 4 — соединительная муфта; 5 — опорная шайба; 6 — ниппельный обратный клапан; 7 — выходное отверстие для подачи полимерного состава в шпур; 8 — герметизатор; 9 — шпур; 10 — гайка герметизатора; 11 — опорная плита; 12 — натяжная гайка; 13 — резьбовая часть анкера для подсоединения нагнетательного шанга; 14 — полимерная мастика; 15 — ампула с отвердителем

Натурные испытания продемонстрировали высокую надежность новой конструкции. Потеря несущей способности в зоне ведения взрывных работ не отмечено. Вместе с тем в процессе экспериментальных работ после нагнетания упрочняющего состава натяжение стержня и герметизацию устья шпура возможно проводить через 7–8 ч (время полного набора прочности полимерного состава, заключенного в ампуле) [2].

Дальнейшее совершенствование конструкции инъекционного анкера и технологии его установки выполнено на основе гидрораспорного анкера Swellex [4]. Достоинство его состоит в том, что установка анкера и предварительное натяжение стержня выполняются автоматически. Другим его преимуществом является отсутствие потери несущей способности при производстве взрывных работ, что проверено экспериментально. Общий вид конструкции анкера показан на рис. 4.

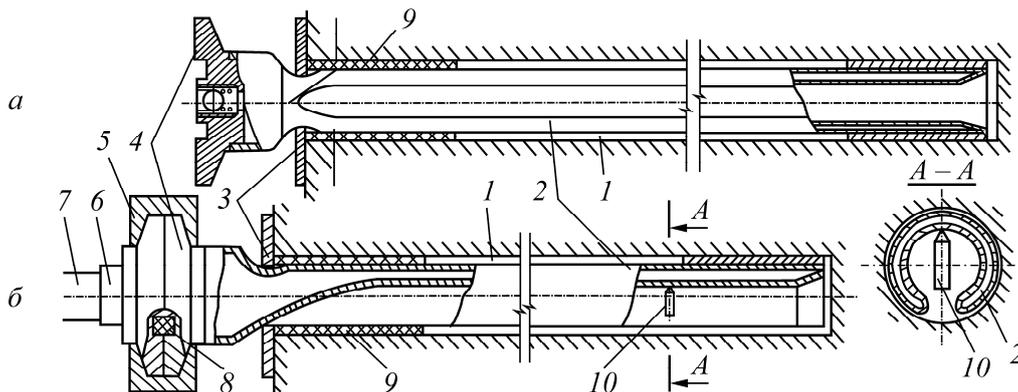


Рис. 4. Анкер-инъектор гидрораспорного типа: *а* — общий вид конструкции; *б* — анкер в процессе установки; 1 — шпур; 2 — трубчатый стержень; 3 — опорная плита; 4 — хвостовик с обратным клапаном; 5 — хомут быстроразъемного соединения; 6 — штуцер нагнетательного шланга высокого давления; 7 — шланг высокого давления; 8 — герметизирующее кольцо; 9 — герметизатор устья шпура; 10 — боек

Сущность улучшения конструкции заключается в следующем. Изменена форма хвостовика, в конструкции предусмотрены: обратный клапан шарикового типа, боек для прокалывания стенки стержня, герметизатор устья шпура. Изменение конструкции хвостовика обусловлено невозможностью применения полимерных материалов совместно со стандартным разъемом Swellex [4]. В конструкции анкера (см. рис. 4) использовано простое быстроразъемное соединение, к которому присоединен рукав высокого давления. Анкерный стержень изготавливается методом штамповки и сварки в атмосфере аргона из цельнотянутой стальной трубы с толщиной стенки 2–3 мм. Диаметр трубы подбирается в соответствии с диаметром шпура (например, для шпура диаметром 40–46 мм труба 50 мм).

Технология установки анкера (рис. 4*а, б*) практически не отличается от технологии установки анкера Swellex. Отличие состоит лишь в том, что гидрораспор конструкции проводится тем же упрочняющим составом, а не водой. Нагнетание упрочняющего состава осуществляется преимущественно по односторонней схеме, так как она обеспечивает лучшее качество перемешивания компонентов смеси. Параметры нагнетания рассчитываются по методике [5]. После гидрораспора и натяжения стенка трубы прокалывается бойком (см. рис. 4*б*).

Устройства для разгерметизации анкерного стержня могут иметь различное конструктивное исполнение, например клапан, рассчитанный на давление, превышающее давление гидрораспора, и т. п. Испытания на стенде показали работоспособность всех предлагаемых устройств. Предпочтение отдано способу прокалывания бойком, как более экономичному.

В зависимости от горно-геологических условий для всех указанных конструкций анкеров нагнетание происходит по индивидуальной и многоинъекторной (групповой) схемам. Групповая схема целесообразна при наличии высокопроизводительного нагнетательного оборудования. При групповой схеме нагнетания установка инъекционных анкеров гидрораспорной конструкции выполняется в два этапа. Предварительно проводится гидрораспор каждого анкера путем нагнетания воды. Затем в хвостовик каждого анкера ввинчивается обратный клапан. Общим трубопроводом анкеры объединяются в группу и осуществляется нагнетание упрочняющего состава. На каждый анкер-инъектор устанавливается манометр и запорный вентиль.

Особое внимание как при установке анкерной крепи, так и при последующем нагнетании упрочняющих составов в массив горных пород следует уделять подбору компонентов смеси. Основное требование к нагнетаемым в массив составам заключается в их физико-химической совместимости с горными породами. Это положение подтверждается проведенными исследованиями [6], а также работами, выполненными в ИГД им. Скопинского [7].

Существенное влияние на изменение адгезионной прочности оказывает химико-минералогический состав пород, который вступает во взаимодействие с кислотными отвердителями упрочняющего состава (хлорным железом, щавелевой кислотой, бензосульфокислотой и другими кислотами). При упрочнении карбонатных пород или пород, содержащих гидроксиды железа, а также иных пород со щелочной реакцией, кислотный отвердитель в первую очередь расходуется на нейтрализацию вещества контактной поверхности, в результате чего его концентрация снижается и адгезия уменьшается в 9 раз. Примером могут служить результаты испытаний, проведенных на рудниках Жезказганского месторождения. При упрочнении красноцветных песчаников и аргиллитов составом на карбамидной смоле с отверждением щавелевой кислотой произошло обрушение кровли, а при упрочнении междукамерных целикков (серые рудные аркозовые песчаники) получен положительный результат [8].

На Тишинском руднике Риддерского горно-обогатительного комплекса применяются любые полимерные составы вне зависимости от отвердителя. Поэтому при разработке технологического регламента на производство работ по упрочнению горных пород были проведены испытания упрочняющих составов на основе карбамидных смол КФ-Ж и КФ-МТ, модифицированных мономерами ФА и ФАМ. Их составы приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Рецептuru инъекционных составов на основе модифицированных карбамидных смол

Составляющие	Состав 1		Состав 2		Состав 3	
	Расход составляющих		Расход составляющих		Расход составляющих	
	% по массе	кг	% по массе	кг	% по массе	кг
Карбамидная смола КФ-Ж	70.62	100	70.92 (73.5)	100	73.65	—
Мономер ФА	14	20	10.69 (11.8)	15	7.36	10
Полиакриламид (5 % раствор)	1.38	0.6	—	—	0.31	0.4
Карбамидная смола КФ-МТ	—	—	—	—	—	100
Щавелевая кислота	14	20	—	—	—	—
Смесь бензосульфокислоты и ортофосфорной кислоты (2.5 : 1)	—	—	(14.7)	(20)	—	—
Бензосульфокислота (70 % раствор)	—	—	17.75	25	—	—
Раствор (20 %) FeCl ₃ + алюмохромфосфат (соотношение 100 : 50)	—	—	—	—	18.46	25
Пластификатор С-3	0.5–1 % от массы смолы	—	0.5–1 % от массы смолы	—	—	—

Примечание. В скобках указан состав с применением в качестве отвердителя смеси бензосульфокислоты и ортофосфорной кислоты.

Заслуживают внимания также фенолформальдегидные составы. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с карбамидными смолами. Фенолформальдегидные смолы резольного типа под воздействием кислотных отвердителей способны отверждаться в холодном виде, образуя жесткий, прочный, неплавкий и нерастворимый продукт. Для отверждения фенолформальдегидных составов пригодны растворы слабых кислот, таких как ортофосфорная, бензосульфокислота, контакт Петрова. Установлено, что наилучшие результаты в применении фенолформальдегидных смол СФЖ-3016 и СФЖ-3032Д достигаются путем их модификации

диэтиленгликолем (ДЭГ), поливиниловым спиртом [7]. При этом они имеют более высокие (в 2–2.2 раза) и более стабильные прочностные показатели, а усадка в процессе отверждения в 8–10 раз ниже по сравнению с карбамидными. Предел прочности на сжатие и адгезию к породам на 25–35 % выше.

Оптимальным санитарно-гигиеническим показателем составов на основе СФЖ-3016 и СФЖ-3032Д является пониженная токсичность по сравнению с карбамидными.

Рецептура инъекционных составов на основе фенолформальдегидных модифицированных смол СФЖ-3016 и СФЖ-3032Д приведена в табл. 2. Промышленные испытания их показали, что наиболее перспективными для закрепления инъекционных анкеров и нагнетания в массив горных пород являются органо-минеральные составы (ОМ-составы) [6]. Эти вяжущие могут применяться для широкого диапазона горных пород. Скорость их отверждения и другие технологические свойства можно регулировать изменением соотношения компонентов. В отвержденном виде ОМ-составы представляют собой в некоторой степени эластичный продукт. ОМ-композиции отличаются высокой проникающей способностью, обусловленной низким значением межфазного натяжения [9]. Они содержат неорганический компонент на основе жидкого стекла (силикат натрия или калия) и отвердитель.

ТАБЛИЦА 2. Рецептuru инъекционных составов на основе фенолформальдегидных смол

Составляющие	СФЖ-3016 (СФЖ-3015)		СФЖ-3032Д	
	Расход составляющих		Расход составляющих	
	% по массе	кг	% по массе	кг
Фенолформальдегидная смола	76.45–74.0	100	51.3–47.8	100
Новолачная смола	—	—	23.0–24.9	45–52
Бензосульфокислота (70 % водный раствор)	24.4–23.7	28–32	—	—
Поверхностно-активное вещество ОП-7	2.15–2.3	2.8–3.1	—	—
Карбонат натрия	—	0.8–1.2	—	—
Бензосульфокислота (80 % водный раствор)	—	—	25.7–27.3	51.9–26.5

При разработке ОМ-составов для испытаний инъекционной анкерной крепи в условиях Тишинского рудника учтен опыт применения аналогичных смесей [7], в которых присутствует полиизоцианат. Ввиду его токсичности, в качестве отвердителей использовались этилацетат, формамид, глиоксаль. Перечисленные вещества малотоксичны, что позволяет проводить нагнетание их по одноразовой схеме и осуществлять приготовление в миксере. Качество состава при этом возрастает. Время отверждения регулируется соотношением компонентов в возможных пределах от 6 мин до 6 ч. Соотношение компонентов в ОМ-составах показано в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Соотношение компонентов в ОМ-составах

Составляющие	Отвердитель	
	Этилацетат	Формамид
	Расход составляющих, мас. част.	
Силикат натрия ($M_c = 2.89$) (жидкое стекло)	100	50–100
Кремнефтористый натрий или кремнефтористый алюминий	5–6	5–10
Этилацетат	2–8	—
Водорастворимые сульфонафтоновые кислоты	3–6	—
Формамид (50 % раствор, $\gamma = 1.073 \text{ г/см}^3$)	—	25–50

Введение в смесь кремнефтористого натрия или кремнефтористого алюминия повышает силикатный модуль (М) жидкого стекла до 3.33–3.51, что способствует сокращению времени гелеобразования от 30 мин до 2 ч. При этом повышается прочность конечного отвержденного продукта. Получены следующие результаты: предел прочности через 24 ч составляет 12 МПа, разрушающее напряжение при сдвиге при полном наборе прочности 8–10 МПа.

Приведенные на рис. 3, 4 конструкции анкеров испытывались как по традиционной методике, так и неразрушающим инструментальным методом с помощью акустического прибора УПДК-10 М [10, 11]. Испытания показали, что твердеющие смеси вступают в работу по упрочнению пород в весьма короткие сроки после установки, имеют высокую прочность закрепления (на уровне прочности трубчатого стержня на разрыв) и весьма жесткую деформационно-силовую характеристику. Вследствие этого сохраняются достоинства штанг Swellex и сталеполимерных анкеров ампульного типа. Трубчатый стержень работает на верхнем пределе несущей способности, соответствующем пределу текучести стали.

ВЫВОДЫ

Представленные конструкции инъекционных анкеров совмещают функции собственно анкера и инъектора, вступают в работу по упрочнению горных пород в короткие сроки, имеют высокую прочность закрепления и жесткую деформационно-силовую характеристику.

Разработанные органоминеральные составы пониженной токсичности упрощают технологию установки инъекционных анкеров и обеспечивают безопасные условия труда в горных выработках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юхимов Я. И., Гальперин В. Г., Хуцишвили В. Г. Способ упрочнения горных пород при подземной разработке полезных ископаемых за рубежом и в СССР // Обзорная информация. Вып. 5. — М.: ЦНИИЭИЦМ, 1985. — С. 46–54
2. Ананин А. И., Игнатъев Р. А., Игнатъев Е. Р. Оценка работоспособности и повышение надежности анкерной крепи // Горн. журн. Казахстана. — Алматы: НПП “Интерин”, 2006. — С. 25–28.
3. Баклашов И. В., Тимофеев О. В. Конструкции и расчет крепей и обделок. — М.: Недра, 1979.
4. Пат. 1452489 АЗ. Анкерная крепь, способ ее возведения и устройство для его осуществления / Торберн Скогборг // Оpubл. в БИ. — 1989. — № 2. — 2 с.
5. Пыхачев Г. Б., Исаев В. Г. Подземная гидравлика. — М.: Недра, 1973. — 360 с.
6. Игнатъев Р. А., Игнатъев Е. Р., Нуршайыкова Г. Т. Разработка инъекционных составов пониженной токсичности // Проблемы и пути устойчивого развития горнодобывающих отраслей промышленности: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / под общей ред. С. Ж. Галиева. — Хромтау, 2007. — С. 380–382.
7. Васильев В. В., Волков В. Т., Левченко В. И. Физико-химическое упрочнение горных пород на шахтах // Обзорная информация. — М.: ЦНИИЭТН, 1985, Вып. 18. — 57 с.
8. Алтаев Ш. А., Нурлыбаев Р., Кошумов Б. Х. и др. Смолоинъекционное упрочнение горных пород при разработке крепких руд. — Алматы, 1997. — 102 с.
9. Соколович В. Е. Химическое закрепление грунтов. — М.: Стройиздат, 1980. — С. 27–33.
10. А.с. 358515 СССР, E21d 21/00. Способ контроля закрепления анкерной крепи / Р. А. Игнатъев // Оpubл. в БИ. — 1972. — № 34. — 2 с.
11. Игнатъев Р. А., Игнатъев Е. Р. Совершенствование методов и приборов неразрушающего контроля анкерной крепи // Инновационные разработки в области добычи и производства цветных и благородных металлов: материалы IV Междунар. конф. — Усть-Каменогорск: ВНИИцветмет, 2007. — Т. 1. — С. 126–130.

Поступила в редакцию 9/III 2016