

УДК 622.281.74

**А.И. Чавкин**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТНЫХ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ АНКЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕПЕЙ**

*Приведены результаты исследований ресурса работоспособности анкерных металлических крепей и предложен наиболее экономичный способ обеспечения проектных сроков эксплуатации анкерных сталеполимерных крепей.*

**В** последние годы на шахтах Российской Федерации большое распространение получили сталеполимерные анкеры, обладающие высокой несущей способностью и надёжностью закрепления. Они практически полностью вытеснили из практики крепления горных выработок анкеры распорно-замковых конструкций, которые в настоящее время находят применение в основном для вспомогательных целей.

Применение анкерной сталеполимерной крепи при креплении выемочных выработок (штреков и ходков) существенно увеличивает устойчивость породных обнажений. Это позволяет успешно применять сталеполимерную анкерную крепь в зонах влияния очистных работ. На шахтах Российского Донбасса имеется опыт крепления сталеполимерными анкерами малоустойчивых, трещиноватых, слоистых и обводнённых пород кровли.

Общеизвестно, что анкерная крепь имеет ограниченный срок службы из-за снижения с течением времени несущей способности анкеров. Основными причинами снижения несущей способности анкеров являются уменьшение прочности закрепления стержней анкеров в шпурах и коррозионный износ их элементов.

Исследования работоспособности анкерной сталеполимерной крепи, проведенные за последние годы в Шахт-

НИУИ, показали, что несущая способность сталеполимерных анкеров снижается в основном за счёт их коррозионного износа.

Многочисленные исследования характера и степени коррозионного износа анкерных металлических крепей показали, что основным фактором, определяющим скорость коррозионного разрушения элементов металлической анкерной крепи является увлажнённость её элементов. В зависимости от степени увлажнённости элементов анкерной крепи реализуются три различных механизма коррозии:

– **сухая атмосферная коррозия** (практически при полном отсутствии плёнки воды на элементах);

– **влажная атмосферная коррозия** (при наличии тонкой невидимой плёнки воды на элементах);

– **мокрая атмосферная коррозия** (при наличии видимой плёнки воды на элементах крепи).

Наибольшие скорости коррозионного разрушения присущи мокрой атмосферной коррозии, которая имеет место в двух случаях:

– при высокой относительной влажности воздуха, как правило, превышающей 85 %, когда происходит переход от влажной атмосферной коррозии к мокрой; этому случаю присуща сплош-

Таблица 1

**Сравнительные показатели скорости коррозионного разрушения анкерных крепей**

Показатели скоростей коррозии	Значения скоростей коррозии, мм/год			
	Распорно-замковые анкеры			Сталеполимерные анкеры
	Гуковско-Зверевский и Садкинский районы	Шахтинский и Новошахтинский районы	В среднем по распорно-замковым анкерам	
<b>Мокрая атмосферная коррозия</b>				
<b>Стержни:</b>				
– минимальная	0,171	0,103	0,103	0,118
– средняя	0,852	0,255	0,554	0,276
– максимальная	2,000	0,761	2,000	2,000
<b>Опорные элементы:</b>				
– минимальная	0,106	0,100	0,100	0,104
– средняя	0,294	0,172	0,233	0,239
– максимальная	1,000	0,610	1,000	0,566
<b>Влажная атмосферная коррозия</b>				
<b>Стержни:</b>				
– минимальная	0,023	0,024	0,023	0,010
– средняя	0,045	0,057	0,051	0,044
– максимальная	0,192	0,105	0,192	0,102
<b>Опорные элементы:</b>				
– минимальная	0,024	0,018	0,018	0,010
– средняя	0,044	0,046	0,045	0,055
– максимальная	0,163	0,099	0,163	0,100

ная равномерная и неравномерная коррозия;

– при поддержании обводнённых пород кроли; в этом случае имеет место язвенная коррозия в местах контакта элементов анкерной крепи с породами (для опорных элементов) и в специфических местах с хорошим отводом продуктов коррозии для стержней анкеров.

Анкерная крепь распорно-замковых конструкций начала применяться на шахтах Российского Донбасса в 50-х годах прошлого века. За последние 20 лет ОАО «ШахтНИУИ» проведены многочисленные исследования процессов коррозионного износа элементов распорно-замковых конструкций, на основе которых были установлены основные закономерности коррозионного разрушения этих анкеров, определены нормативные сроки их службы в различных условиях эксплуатации.

Анкерная сталеполимерная крепь начала внедряться на шахтах Российского Донбасса с 1997 года. Исследования коррозионного износа сталеполимерных анкерных крепей были проведены ОАО «ШахтНИУИ» в 2004-2007 г.г. на шести шахтах Российского Донбасса, в 17-ти выработках общей протяжённостью около 9 км. В табл. 1 приведены сравнительные показатели скорости коррозионного разрушения анкерных крепей распорно-замковых конструкций и сталеполимерных на шахтах Российского Донбасса для различных условий эксплуатации.

Можно с большой степенью вероятности предположить, что имеющие место различия в скорости коррозионного износа анкерной крепи распорно-замковых конструкций и сталеполимерной анкерной крепи носят случайный характер, обусловленный несопоставимостью объёмов, сроков и условий экс-

платации этих крепей. Скорости коррозионного разрушения элементов анкерной сталеполимерной крепи не имеют существенных, принципиальных отличий от аналогичных показателей для анкеров распорно-замковых конструкций.

Некоторые различия могут иметь место в условиях коррозионного разрушения стержней анкеров распорно-замковых конструкций и сталеполимерных. Они обусловлены тем, что стержни сталеполимерных анкеров на значительной части их длины замоноличены полимерным составом, который, по мнению многих специалистов, должен, если не предотвращать, то, по крайней мере, существенно снижать коррозию стержней. Замки же распорно-замковых анкеров влияния на коррозию стержня практически не оказывают. Но следует отметить, что наибольшее коррозионное разрушение стержней металлических анкеров, как распорно-замковых, так и сталеполимерных, происходит, как правило, в нижней части стержней, у резьбовой части. Нижняя часть стержней сталеполимерных анкеров в большинстве случаев, а участок перехода от полного сечения стержня к резьбе – практически всегда, полимерным телом не заполняются и находятся в тех же условиях, что и стержни распорно-замковых анкеров. Поэтому условия и характер коррозионных процессов анкеров распорно-замковых конструкций и сталеполимерных не имеют существенных отличий.

Исходя из полученных скоростей коррозионного разрушения элементов анкерной крепи, допустимых значений диаметров стержней и толщины опорных элементов были определены средние и минимальные прогнозные значения ресурса анкерных крепей по фактору допустимой степени коррозионного износа для неблагоприятных условий эксплуатации анкерной крепи на шах-

тах Российского Донбасса. Они приведены в табл. 2.

Согласно данным табл. 2 ресурс сталеполимерной анкерной крепей по допустимой степени коррозионного износа в самых сложных условиях эксплуатации не имеет существенных отличий от аналогичного показателя для анкеров распорно-замковых конструкций. Для обеспечения проектных параметров анкерной сталеполимерной крепи в течение всего срока эксплуатации выработки необходимо устранить коррозионный износ элементов анкерной крепи.

Эксплуатационное состояние выработок, закреплённых анкерной сталеполимерной крепью, можно сохранить в течение всего срока их эксплуатации при выполнении следующих условий:

- 1) предотвратить снижение несущей способности анкеров за счёт устранения их коррозионного износа;

- 2) производить расчёт параметров анкерной сталеполимерной крепи с учётом снижения с течением времени прочности и устойчивости анкеруемых пород.

Устранить снижение несущей способности анкерной крепи можно следующими способами:

- применением антикоррозионных покрытий;
- изготовлением анкеров из коррозионностойких марок сталей;
- изготовлением анкеров из полимерных материалов, не подверженных старению.

Шахтные испытания антикоррозионных покрытий металлической анкерной крепи были проведены ОАО «ШахтНИУИ» в конвейерном штреке № 25 ОАО «Шахтоуправление «Обуховская», пройденном по пласту  $K_2$ , где зафиксированы максимальные для шахт Российского Донбасса скорости коррозии элементов анкерной крепи: до 2 мм/год для стержней и до 1 мм/год для опор-

Таблица 2

**Прогнозные значения ресурса анкерной металлической крепи на шахтах  
Российского Донбасса при неблагоприятных условиях эксплуатации**

Показатель	Значение показателя для анкеров	
	распорно-замковых (ЭС-1М и АШ1)	сталеполимерных (АСР1 и АСГ1)
Диаметр стержня, мм		
– по телу	20,0	21,7
– по резьбе	16,933	20,319
– минимально допустимый	11,9	17,4
Толщина опорного элемента, мм		
– первоначальная	8,0	16,0
– минимально допустимая	6,0	11,7
Скорость коррозии стержней, мм/год		
– средняя	0,554	0,276
– максимальная	2,000	2,000
Скорость коррозии опорных элементов, мм/год		
– средняя	0,233	0,239
– максимальная	1,000	0,566
Максимально допустимое значение величины коррозионных потерь, мм		
– по телу стержня	8,1	4,3
– по резьбе стержня	5,033	2,919
– по опорным элементам	2,0	4,3
Средний ресурс анкерной крепи по допустимой степени коррозионного износа в неблагоприятных условиях, лет		
– для стержней анкеров (по телу)	14,6	15,6
– для стержней анкеров (по резьбе)	9,1	10,6
– для опорных элементов	8,6	18,0
Минимальный ресурс анкерной крепи по допустимой степени коррозионного износа в неблагоприятных условиях, лет		
– для стержней анкеров (по телу)	4,0	2,1
– для стержней анкеров (по резьбе)	2,5	1,5
– для опорных элементов	2,0	7,6

ных плиток. Экспериментальные анкеры с антикоррозионными покрытиями были установлены в обводнённые породы кровли, из которой наблюдались водовыделения в виде капеза и прерывистых струй. Результаты испытаний позволили выявить антикоррозионный материал, позволяющий наиболее эффективно защищать элементы анкерной крепи от коррозионного разрушения. Это Sika Epiter TF 130, двухкомпонентный материал на основе эпоксидной смолы, не содержащий растворителя. Он позволяет формировать вязко-

твёрдые, износостойкие покрытия, обладающие высокой стойкостью к механическим воздействиям. В промышленности Sika Epiter TF 130 применяется для антикоррозионной защиты стальных гидротехнических сооружений, постоянно контактирующих с водой.

После трёх лет эксплуатации в самых неблагоприятных условиях шахтной среды покрытия металлических анкеров, сформированные из антикоррозионного материала Sika Epiter TF 130, не имели существенных повреждений, сохраняли сплошность и надёжно предотвращали

### **Разрыв стержня анкера А20В в результате коррозионного износа**



коррозионное разрушение элементов анкерной крепи.

Расположенные рядом с экспериментальными анкерами сталеполимерные анкеры А20В, не имеющие антикоррозионного покрытия, после трёх лет эксплуатации имели существенные коррозионные повреждения. Средняя скорость коррозии стержней этих анкеров составила 0,667 мм/год, опорных элементов (полосовых подхватов) – 0,422 мм/год. Эти значения превышают средние значения скоростей коррозии анкерной крепи, эксплуатирующейся в обводнённых породах на шахтах Российского Донбасса.

В результате язвенной коррозии стержней анкеров А20В, происшедшей в условиях обводнённой кровли, в штреке № 25 шахты «Обуховская» зафиксированы случаи разрывов анкерных стержней по ослабленным коррозией сечениям. На рисунке показан стержень сталеполимерного анкера А20В, разрыв которого по ослабленному коррозией сечению произошёл при натяжении анкерного стержня усилием около 64 кН по истечении пяти лет эксплуатации.

По результатам предварительных испытаний антикоррозионных покрытий металлической анкерной крепи был сделан вывод о принципиальной

возможности обеспечивать проектные сроки службы анкерной крепи путём применения анкерных крепей с антикоррозионными покрытиями. Но надёжная антикоррозионная защита анкерной крепи обеспечивается только при высокой адгезии покрытий к элементам крепи, достижению

которой препятствует наличие остатков прокатной окалины. Для достижения высокой адгезии требуется применение трудоёмкого процесса дробеструйной обработки поверхности элементов анкерной крепи, что существенно увеличивает стоимость анкерной крепи с антикоррозионным покрытием.

Результаты испытаний позволили внести дополнения в технические условия на анкерные сталеполимерные крепи АСП1 и АСГ1, касающиеся выбора антикоррозионных средств и величины среднего расчётного ресурса крепи в различных условиях эксплуатации.

Исходя из результатов шахтных испытаний антикоррозионных покрытий металлической анкерной крепи, ОАО «ШахтНИУИ» рекомендовал шахте «Садкинская» устанавливать в выработках с длительным сроком эксплуатации анкерную крепь с антикоррозионным покрытием в зонах реальных и возможных водовыделений. В соответствии с этими рекомендациями на шахте «Садкинская» в период с 12.03.07 г. по 01.05.07 г. анкеры АСП1 конструкции ШахтНИУИ с антикоррозионным покрытием Sika Epiter TF 130 были установлены в восточном откаточном штреке горизонта – 215 м на участке длиной 190 м (ПК23-ПК42) и в восточном кон-

вейерном штреке горизонта – 215 м на участке длиной 90 м (ПК24-ПК33).

Продление срока службы анкерных сталеполимерных крепей возможно также путём изготовления анкерной крепи из коррозионностойких марок сталей, например из стали 20Х13, которая имеет сходные деформационно-силовые характеристики со сталью 35ГС, из которой обычно изготавливаются стержни анкерных крепей АСП1 и АСП1. Но стоит коррозионностойкая сталь в 3,8 раза дороже.

Наконец, продление срока службы анкерных крепей можно достичь за счёт изготовления их из полимерных материалов, не подверженных старению. К настоящему времени уже разработан ряд конструкций анкеров из стеклопластковых и армополимерных материалов. Но они ещё не получили массового применения при креплении подготовительных выработок из-за недостаточной изученности процессов их взаимодействия с поддерживаемыми массивами горных пород, особенно в зонах влияния очистных работ, а также сравнительно высокой стоимости. В будущем следует ожидать создания таких полимерных композиций и конструкций анкеров, которые позволят устранить проблему потери несущей способности из-за коррозии или старения материала анкера и будут способны эффективно работать в самых сложных условиях эксплуатации в плане силового взаимодействия анкера с поддерживаемым массивом пород.

В случае преждевременного выхода из строя анкерной крепи в результате коррозионного износа наиболее распространённым способом восстановления работоспособности выработки является её перекрепление рамной металлической крепью. Этот способ был принят в качестве базового при оценке экономической эффективности различных способов сохранения несущей способности анкерной крепи.

Экономическая эффективность способов сохранения параметров анкерной

крепи была определена исходя из следующих вариантов крепления выработки.

Базовый – в выработке устанавливается металлическая анкерная крепь типа АСП1 без антикоррозионного покрытия. Анкеры устанавливаются с шагом 1,0 м под металлические полосовые подхваты размером 4600x100x8 мм, также не имеющих антикоррозионного покрытия. После исчерпания ресурса анкерной крепи по допустимой степени коррозионного износа выработка перекрепляется с установкой с шагом 1,0 м рам крепи КПС3.000 – 17.

Альтернативные:

1) антикоррозионная защита элементов анкерной крепи: в выработке устанавливается металлическая анкерная крепь типа АСП1 с антикоррозионным покрытием из материала Sika Epiter TF 130. Анкеры устанавливаются с шагом 1,0 м под металлические полосовые подхваты размером 4200x100x8 мм, которые также имеют антикоррозионное покрытие.

2) применение анкерной крепи, изготовленной из коррозионностойкой стали 20Х13, – в выработке устанавливается металлическая анкерная крепь типа АСП1 и металлические полосовые подхваты, изготовленные из нержавеющей стали; параметры анкерной крепи те же, что и в первом варианте;

3) применение армополимерной крепи АПК с армополимерными подхватами – параметры анкерной крепи те же, что и в первом варианте;

При расчёте учитывалась стоимость крепёжных материалов и трудозатраты на возведение рамной крепи. Трудозатраты на возведение анкерной крепи в рассматриваемых вариантах практически одинаковы и потому не учитывались.

Расчёты показали, что экономический эффект от применения антикоррозионных покрытий составит пример-

но 5700 руб./м, от применения анкерной крепи из коррозионностойкой стали – около 3200 руб./м и от применения армополимерных анкеров и подхватов – 4500 руб./м.

Таким образом, на данный момент наиболее экономичным способом обеспечения проектных сроков эксплуатации анкерных металлических крепей является применение антикоррозионных покрытий. **ИАС**

### ***Коротко об авторе***

Чавкин А.И. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник ОАО «ШахтНИУИ».  
Рецензент д-р техн. наук Луганцев Борис Борисович.