ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2026;(11-1):38-50
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.281.76 DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_38

О ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАТНОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПИ НА ШАХТАХ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

Б.Б. Луганцев[1], А.И. Чавкин[1], Ю.В. Турук[2], Э.Ю. Воронова[2], И.А. Будзыка[3]

[1] ООО «Шахтинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт» (ООО «ШахтНИУИ»), Шахты, Россия, e-mail: Achavkin@mail.ru
[2] Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, Шахты, Россия
[3] Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

Аннотация: Растущие объемы применения канатной (тросовой) анкерной крепи в горном производстве в России и за рубежом наряду с достоинствами этой крепи выявили и ряд недостатков: отказы из-за коррозии канатов, высокая податливость, слабое закрепление во влажных и трещиноватых породах и неэффективная работа в глубоких и динамически нагруженных массивах. Исследование опыта эксплуатации канатной анкерной крепи на шахтах Восточного Донбасса подтвердило наличие этих недостатков, однако в большинстве случаев они не приводили к выраженным негативным последствиям. Анализ случаев неэффективной работы канатных анкеров в выемочных выработках, сохраняемых для повторного использования, позволил установить два основных ограничения их применения: недопустимость закрепления анкеров выше расчетного свода естественного равновесия в непрочных и немонолитных породах, а также необходимость оперативного мониторинга состояния крепи при обводненных, трещиноватых и тонкослоистых породах непосредственной кровли для своевременного усиления крепи. Для учета первого ограничения предложено пересмотреть требования нормативного документа, регламентирующего расчет анкерной крепи, к породам, в которых закрепляются канатные анкеры. Для нейтрализации второго ограничения необходим постоянный мониторинг состояния анкерной крепи, позволяющий своевременно выявлять участки горных выработок, где возможны обрушения пород, и принимать решения по усилению крепи, предотвращающие переход выработок в неработоспособное состояние.

Ключевые слова: ограничение применения, канатная анкерная крепь, горно-геологические условия, нормативный документ, отказ анкерной крепи, крепь усиления, повышенные смещения пород кровли, параметры анкерной крепи.

Для цитирования: *Луганцев Б. Б., Чавкин А. И., Турук Ю. В., Воронова Э. Ю., Будзыка И. А.* О горно-геологических ограничениях использования канатной анкерной крепи на шахтах Восточного Донбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 11-1. – С. 38–50. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_38.

© Б.Б. Луганцев, А.И. Чавкин, Ю.В. Турук, Э.Ю. Воронова, И.А. Будзыка. 2026.

On geological and mining limitations of cable bolt support application in mines of Eastern Donbass

B.B. Lugantsev[1], A.I. Chavkin[1], Yu.V. Turuk[2], E.Yu. Voronova[2], I.A. Budzyka[3]

[1] LLC «Shakhty Research, Design and Engineering Coal Institute» (LLC «ShakhtNIUI»), Shakhty, Russia, e-mail: Achavkin@mail.ru

[2] Shakhty Institute (branch) of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russia

[3] Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Abstract: The growing use of cable (wire rope) anchor support in mining operations in Russia and abroad, along with the advantages of this support, has also revealed a number of drawbacks: failures due to cable corrosion, high compliance, weak anchoring in wet and fractured rocks, and inefficient operation in deep and dynamically loaded rock masses. A study of the experience of using cable anchor support in the mines of the Eastern Donbas region confirmed the presence of these drawbacks, but in most cases they did not lead to pronounced negative consequences. An analysis of cases involving the ineffective operation of wire rope anchors in excavation workings retained for reuse has revealed two main limitations on their use: it is unacceptable to secure the anchors above the calculated natural equilibrium arch in weak and non-monolithic rock formations, and it is necessary to monitor the condition of the support in water-bearing, fractured, and thinly layered rock formations of the immediate roof in a timely manner in order to reinforce the support. To take into account the first limitation, it is proposed to revise the requirements of the regulatory document governing the calculation of anchor support, specifically regarding the rocks in which cable anchors are installed. To neutralize the second limitation, continuous monitoring of the condition of the anchor support is required, which makes it possible to timely identify areas of mine workings where rock collapses may occur, and to make decisions to reinforce the support, preventing the workings from becoming unusable.

Key words: application limitation, cable bolt support, geological and mining conditions, regulatory document, failure of the anchor support, reinforcement support, increased roof rock displacement, bolt support parameters.

For citation: Lugantsev B. B., Chavkin A. I., Turuk Yu. V., Voronova E. Yu., Budzyka I. A. On geological and mining limitations of cable bolt support application in mines of Eastern Donbass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(11-1):38-50. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_38.

Введение

В последние десятилетия в области крепления горных выработок произошли большие изменения, связанные с внедрением и растущим объемом применения канатной анкерной крепи, как в России, так и за рубежом.

На шахтах и рудниках Российской Федерации канатными анкерами крепят сопряжения, широкие выработки, монтажные и демонтажные камеры, используют в качестве крепи усиления выемочных выработок на границе с выработанным пространством [1 — 5].

За рубежом наибольшее применение канатных анкеров наблюдается в Китае. Там они применяются как для крепления выработок в угольных шахтах, так и для укрепления откосов в карьерах и при креплении пород в тоннелях.

Канатная анкерная крепь обладает рядом достоинств, которые делают ее эффективным решением для поддержания горных выработок, особенно в сложных горно-геологических условиях, и способствуют росту объемов ее применения. Наиболее важными из них являются повышение безопасности ведения работ за счет упрочнения поддерживаемого массива пород путем связывания и укрепления его структуры и меньшая стоимость и трудоемкость возведения по сравнению с рамными металлическими крепями.

Однако эффективность работы канатной анкерной крепи зависит от конкретных условий ее применения, правильного определения параметров анкерной системы и выбора типа анкеров.

В России выбор и расчет параметров анкерной крепи регламентированы Федеральными нормами и правилами «Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». — Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, приказ от 19 ноября 2020 года № 448 (ред. от 20.02.2026) (далее по тексту — Инструкция).

Опыт эксплуатации канатной анкерной крепи в нашей стране и за рубежом позволил выявить также и ряд ее недостатков, которые препятствуют ее эффективному применению или даже делают его в определенных условиях невозможным. А именно:

1) коррозионное разрушение анкеров со снижением несущей способности вплоть до разрыва каната [6 — 8];

2) высокая податливость и сложность в создании предварительного натяжения анкеров [9 — 11];

3) слабое закрепление во влажных и трещиноватых породах [12 — 14];

4) неэффективная работа в глубоких и динамически нагруженных массивах, когда под действием горного давления сильно деформируется и даже разрушается отвердевшее полиэфирное или минеральное тело, осуществляющее закрепление канатного анкера в скважине [15, 16].

Действие четвертого фактора проявляется на участках повышенного горного давления перед и за очистным забоем при поддержании выемочных выработок для повторного использования на границе с выработанным пространством. Оно может инициироваться также действием современных тектонических напряжений.

Статья посвящена выявлению причин неэффективной работы крепи усиления из канатных анкеров в выемочных выработках на шахтах Восточного Донбасса.

Канатная анкерная крепь на шахтах Восточного Донбасса

На шахтах Восточного Донбасса канатная анкерная крепь стала применяться с 2012 г., в основном в качестве крепи усиления выемочных выработок, закрепленных при проведении сталеполимерной анкерной крепью, а также для крепления сопряжений и камер большой ширины.

В процессе ее эксплуатации наблюдались единичные случаи разрыва тросов канатных анкеров под действием горного давления в результате их коррозионного разрушения, что не приводило к заметному снижению устойчивости пород кровли в выработках.

При установке канатных анкеров АК01 затруднительно создавать натяжение более 10 кН, что приводит к достижению расчетной несущей способности (210 кН) при смещениях пород кровли величиной 50 — 70 мм. При этом не происходит потеря работоспособного состояния выработок, но увеличиваются смещения пород кровли. При слабом закреплении канатных анкеров во влажных

и трещиноватых породах имели место случаи повышенных смещений пород кровли и даже их обрушение на отдельных участках выработок, приведшие к большим экономическим потерям.

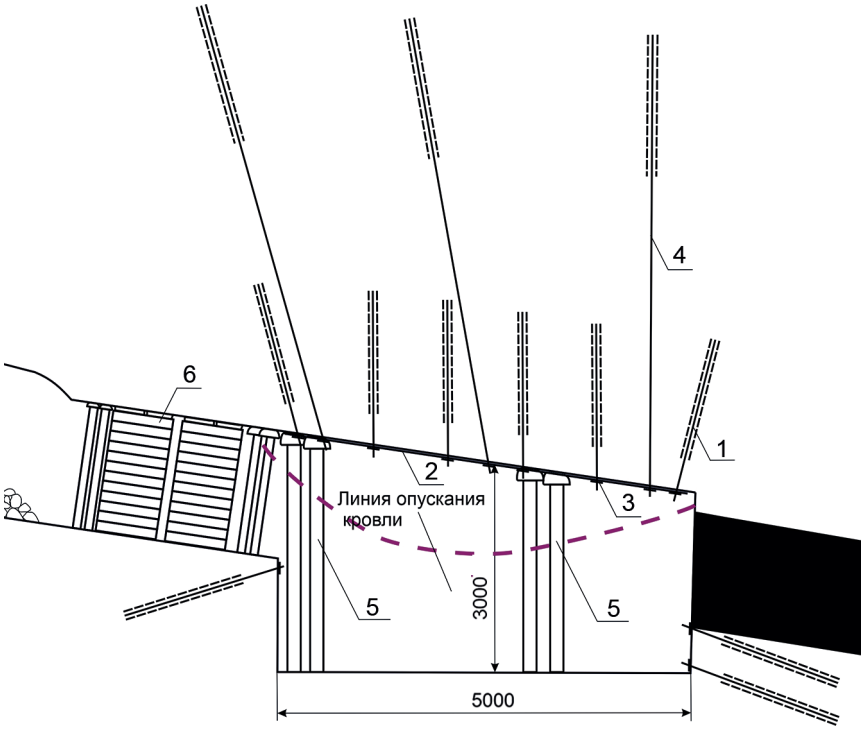
Случаи неэффективной работы канатной анкерной крепи

Канатные анкеры начали применяться в качестве крепи усиления выемочных выработок первоначально по пласту k_2 мощностью от 0,95 до 1,57 м, с углом падения пласта от 5 до 16°.

Гипсометрия этого пласта волнистая с развитием мелкой пликативной складчатости вдоль линии простирания. В угольном пласте развиты микровзбросы с амплитудой смещения до 0,40 м и расстоянием между ними, равным 2–6 м. Они быстро затухают в породах кровли и почвы пласта.

Над пластом часто залегает ложная кровля из углисто-глинистых и глинистых сланцев мощностью до 0,40 м и прочностью не более 40 МПа.

Непосредственная кровля пласта представлена песчано-глинистыми и песчаными сланцами общей мощностью от 4,4 до 21,8 м. Контакт между слоями различной литологической разности постепенный. Прочность пород непосредственной кровли на одноосное сжатие изменяется в пределах от 50 до 100 МПа. В непосредственной кровле имеются послойные слабые контакты, а также тектонические трещины и зеркала скольжения. Иногда встречаются размывы непосредственной кровли пласта с заме-



1 – сталеполимерные анкеры А20В длиной 2,2 м; 2 – металлический полосовой подхват;
3 – опорные шайбы; 4 – канатные анкеры АК01-25 длиной 6,0 м;
5 – крепь усиления из деревянных стоек; 6 – тумбы БДБ

Рис. 1. Усиление конвейерного штрека канатной анкерной крепью на шахте «Обуховская»
Fig. 1. Reinforcement of the conveyor drift with a cable anchor support at the Obukhovskaya mine

щением сланцев песчаником. При мощности сланцевых пород более 10 м основной кровлей являются песчаные сланцы. При меньшей мощности основной кровлей является песчаник мощностью до 3,5 м и прочностью на одноосное сжатие до 140 МПа.

При применении канатной анкерной крепи усиления протяженный участок одного из штреков на шахте «Обуховская» стал непригоден к эксплуатации из-за большой конвергенции пород кровли и почвы [17].

Этот конвейерный штрек шириной 5 м и высотой 3 м был пройден по пласту на глубине 770 — 780 м с нижней подрывкой величиной до 1,7 — 2,0 м. В кровле со средним шагом 1,04 м по 6 штук в ряд установлены анкеры А20В длиной 2,2 м под металлические подхваты сечением 8х100 мм, ориентированные перпендикулярно оси выработки, а между рядами — металлическая решетчатая затяжка (см. рис. 1).

Усиление анкерной крепи перед входом в зону влияния очистных работ производилось канатной анкерной крепью АК01-25 (три анкера длиной 6,0 м в ряд с шагом 1,04 м под гибкие подхваты типа ПГК15, ориентированные параллельно оси выработки), а также деревянной крепью (3 — 4 продольных ряда стоек диаметром 0,25 м, устанавливаемых всплошную по 2 — 3 шт., с шагом 1,04 м).

Охрана штрека осуществлялась тумбами из блоков деревянно-бетонных (БДБ) диаметром 0,63 м, устанавливаемыми в два продольных ряда с шагом 0,8 м.

На участке от монтажной камеры длиной около 350 м конвергенция пород кровли и почвы составляла в среднем около 1000 мм при максимальном значении 1860 мм. При этом смещения пород кровли составляли 55 — 65% от величины конвергенции, находясь в пределах до 1160 мм.

Эффективность работы крепи оценивается величиной смещений кровли. Инструкцией (Приложение № 17, п. 5) определено, что смещения пород кровли в пластовых выработках, поддерживаемых на границе с выработанным пространством и охраняемых посадочно-защитной крепью, за весь период поддержания до их погашения смежной лавой не должны превышать 300 мм. Смещения пород кровли значительно превышали предельно допустимое по Инструкции значение.

Изучение заанкерованного породного массива с повышенными смещениями позволило установить следующее:

- сближение пород кровли и почвы по центру штрека за лавой изменялось с переменным шагом (от 40 до 100 м), что не может быть обусловлено только влиянием периодических осадок основной кровли;
- количество трещин расслоения в смотровых скважинах длиной 7 м достигало 21, суммарное их раскрытие — 220 мм, превышая предельно допустимое значение раскрытия (не более 50 мм), установленное п. 25 Инструкции;
- высота зоны расслоения пород непосредственной кровли, сложенной крепким песчаным сланцем, в смотровых скважинах достигала 6,0 — 6,8 м, что превышает глубину установки канатных анкеров (5,9 м).

Деревянная крепь массово выходила из строя, сталеполимерная анкерная крепь имела многочисленные отказы в виде срыва натяжных гаек и разрывов стержней анкеров. Толща пород непосредственной кровли, в которой установлены анкеры обоих уровней, опускалась вместе с установленными в них анкерами, прогибаясь и формируя профиль кровли в виде обратного свода. На этом участке канатные анкеры были закреплены выше свода естественного равновесия, рассчитанного по Инструкции,

но не в монолитных породах основной кровли, а в тонкослоистых породах, представленных песчаными сланцами.

На остальном участке конвейерного штрека канатные анкеры были закреплены в крепком песчанике. Здесь канатная анкерная крепь усиления обеспечивала работоспособное состояние выработки за линией очистного забоя.

Расчет параметров анкерной крепи для проблемного участка, выполненный по Инструкции, показал, что фактические параметры анкерной крепи, как сталеполимерной, так и канатной, соответствуют ее требованиям, а по суммарному сопротивлению анкерной крепи даже существенно превосходят требуемые Инструкцией значения (на 78—87%).

Но фактические нагрузки на крепь штрека превысили даже эти, существенно большие по сравнению с требованиями Инструкциями, значения сопротивления анкерной крепи, что привело к запредельному развитию деформаций пород кровли и ее большим смещениям, а в конечном счете — к выходу участка выработки из работоспособного состояния.

Причина неудовлетворительной работы канатной анкерной крепи в рассматриваемом случае заключалась в том, что хотя анкеры и были закреплены за пределами рассчитанного по Инструкции свода естественного равновесия, но не в прочных и монолитных породах.

На шахте «Шерловская-Наклонная», отрабатывающей этот же пласт, были проведены испытания канатных анкеров в качестве крепи усиления в одном из штреков, сохраняемых для повторного использования, на глубине 630 м.

Непосредственной кровлей штрека являлись песчано-глинистые и песчаные сланцы мощностью не менее 7 м, с прочностью на одноосное сжатие 60—70 МПа и малым содержанием слабых контактов. Выше них залегал слой песчаника мощностью до 3,5 м и прочностью на одноосное сжатие до 120 МПа.

Штрек при проведении был закреплен сталеполимерной анкерной крепью А22В. Анкеры длиной 2,45 м устанавливались по 6 штук в ряд с шагом 0,9 м под металлические полосовые подхваты сечением 100×8 мм. Межанкерное пространство затягивалось металлической решетчатой затяжкой.

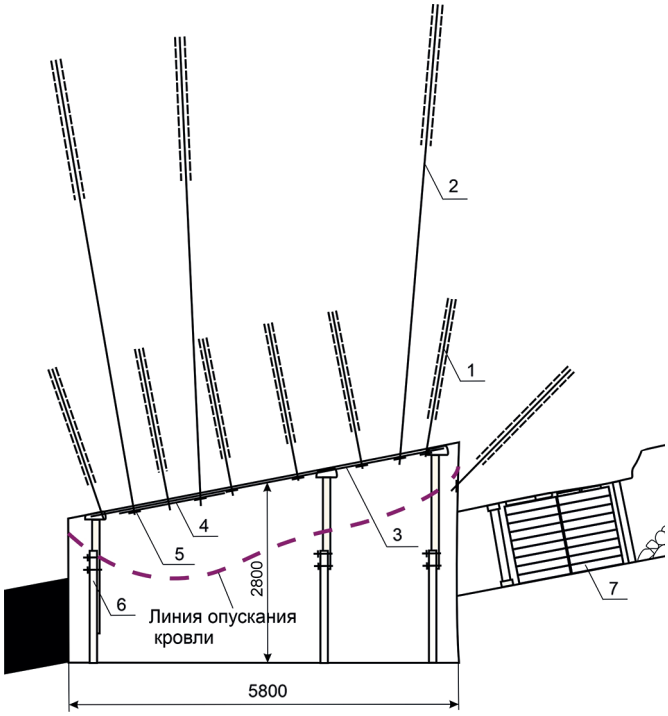
Канатные анкеры типа АК01 длиной 6,0 м устанавливались в кровлю до зоны влияния очистных работ по три в ряд с шагом 1,8 м в промежутках между полосовыми подхватами сталеполимерной анкерной крепи: два — со стороны нижнего бока — под металлический полосовой подхват размером 1200×100×8 мм и опорные шайбы размером 180×180×8 мм, и один, со стороны верхнего бока, — только под опорную шайбу размером 180×180×8 мм.

Кроме канатных анкеров устанавливались металлические стойки крепи усиления у верхнего и нижнего боков штрека с шагом 0,9 м под металлические полосовые подхваты анкерной крепи. На расстоянии 10 м за лавой устанавливалась третья металлическая стойка крепи усиления (не более 1,8 м от стойки крепи усиления у верхней стороны штрека).

В качестве посадочно-защитной крепи применялись тумбы из БДБ, установленные в два ряда, с несущей способностью, превышающей требования Инструкции. Схема крепления представлена на рис. 2.

На расстояниях за очистным забоем более 100 м смещения пород кровли в 2—3 раза превышали максимально допустимое Инструкцией значение (300 мм).

Как и в первом описанном случае, канатные анкеры закреплялись выше расчетного свода естественного равновесия, но в недостаточно прочных и монолитных породах.



1 – сталеполимерные анкеры А22В длиной 2,45 м; 2 – канатные анкеры АК01 длиной 6,0 м;
3 – металлический полосовой подхват под анкеры А22В;
4 – металлический полосовой подхват под анкеры АК01; 5 – опорные шайбы;
6 – металлические составные стойки из СВП с замками ЗПК; 7 – тумбы БДБ

Рис. 2. Усиление штрека канатными анкерами на шахте «Шерловская-Наклонная»
Fig. 2. Support of the drift with rope anchors at the Shcherlovskaya-Naklonnaya mine

Инструкция определяет, что «принцип работы канатной анкерной крепи основан на «подвеске» породной пачки, состоящей из слоев различной мощности и прочности, к породам за пределами свода естественного равновесия или к мощному и крепкому слою породы, находящемуся на расстоянии 3—6 м и более от кровли горной выработки» (Приложение № 1, п. 11).

В соответствии с Инструкцией для обеспечения корректной работы канатной анкерной крепи достаточно выполнение одного из условий: закрепление анкеров либо за пределами свода естественного равновесия, либо в крепком и мощном слое породы, находящемся на расстоянии 3—6 м и более от кровли горной выработки.

Опыт показал, что выполнения даже обоих этих условий недостаточно. Слой пород, в котором должен закрепляться канатный анкер, должен быть не только мощным и прочным, но еще и монолитным, не содержащим слабых послойных контактов.

Требования Инструкции к породам, в которых должны закрепляться канатные анкеры, не соответствуют условиям шахт Восточного Донбасса.

На шахте «Садкинская», отрабатывающей пласт m'_8 мощностью 1,66—2,15 м, мощность пород непосредственной кровли была незначительной. Выше залегал прочный песчаник основной кровли. Долгое время не было необходимости в применении канатной анкерной крепи усиления.

В настоящее время на этой шахте в разработку вовлечены запасы, отличающиеся большой мощностью сланцевых пород в кровле пласта. Поэтому начали применять канатные анкеры.

Два завала ходка, закрепленного канатными анкерами, были неожиданными. Ходок прямоугольного сечения был пройден по пласту со смешанной подрывкой: 0,1 — 0,5 м почвы и 0,3 — 0,9 м кровли на глубине 160 м. Ширина его в проходке составляла 5,4 — 5,7 м, а высота 2,5 — 3,9 м.

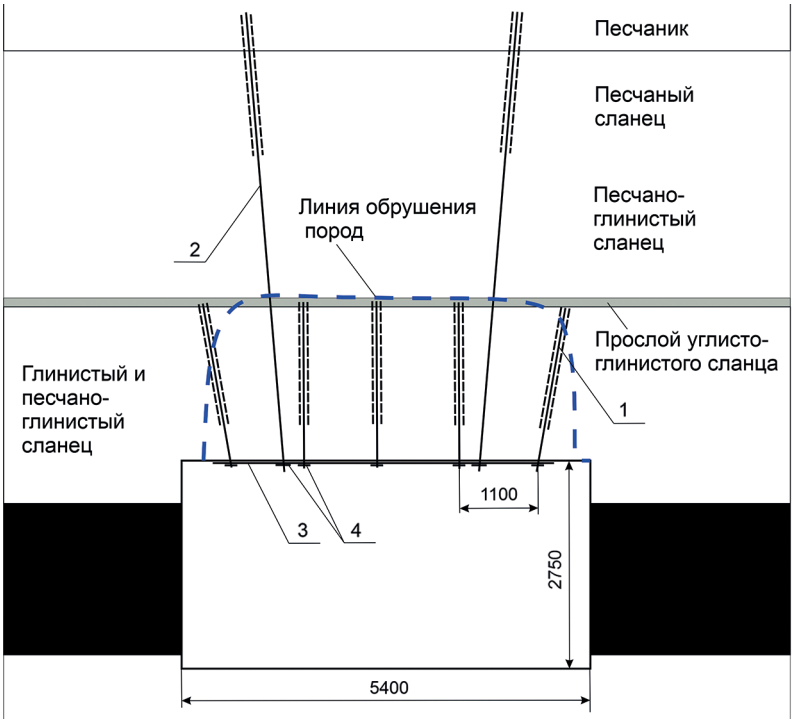
В кровле ходка залегали глинистые, песчано-глинистые и песчаные сланцы мощностью до 5,9 м. Прочность этих пород изменялась в значительных пределах: от 12 до 80 МПа.

Основная кровля представлена кварцевыми слабосцементированными песчаниками мощностью от 5,2 до 15,7 м и прочностью от 100 до 160 МПа.

При проведении ходок крепился сталеполимерными анкерами А20В длиной 2,2 м, устанавливаемыми по 5 шт. в ряду с шагом 0,90 м под полосовые металлические подхваты размером 4900××100×5 мм. Межанкерное пространство затягивалось решетчатой затяжкой.

На расстоянии до 20 м от забоя ходка с шагом 0,9 м в промежутках между рядами сталеполимерных анкеров под опорные пластины размером 250×250××8 мм устанавливались канатные анкеры АК01 длиной 6,0 м. Количество анкеров АК01 в рядах составляло 2 (очень редко 3). Схема крепления представлена на рис. 3.

На участке длиной 7 м этого ходка, охраняемом со стороны первой лавы



1 – сталеполимерные анкеры А20В длиной 2,2 м; 2 – канатные анкеры АК01 длиной 6,0 м; 3 – полосовой подхват; 4 – опорные шайбы

Рис. 3. Усиление выемочного ходка на шахте «Садкинская» канатной анкерной крепью
Fig. 3. Reinforcement of the extraction drift at the Sadkinskaya mine using cable anchor support

угольным целиком шириной 20 м, на расстоянии 170 м за отрабатываемой лавой произошло обрушение неустойчивых пород непосредственной кровли, сложенных тонкослоистыми глинистыми сланцами, вместе со сталеполимерными анкерами А20В на высоту до 2,2 — 2,4 м от кровли выработки. Подавляющее большинство канатных анкеров типа АК01 длиной 6 м были разрушены.

Обрушение непосредственной кровли произошло по прослою углисто-глинистого сланца мощностью 0,2 м с многочисленными зеркалами скольжения и углистыми и минеральными слойками, выше которого залегали устойчивые песчано-глинистые сланцы. И обрушившиеся породы, и породы устойчивого свода кровли в месте завала были обводнены и имели повышенную трещиноватость (12 — 15 тр./м^2).

Через год в том же ходке подобный завал произошел на участке длиной 10 м. Обрушение пород непосредственной кровли произошло на расстоянии 1,5 м до забоя второй лавы перед мехкрепью сопряжения.

Основные причины происшедших обрушений заключались в действии ряда негативных факторов, совокупное действие которых не учитывается алгоритмом расчета анкерной крепи по действующей Инструкции, а именно:

- повышенная кливажная трещиноватость пород кровли;
- высокое содержание в породах кровли слабых контактов (по напластованию);
- обводненность пород;
- повышенное горное давление от очистных работ.

Следует отметить, что вес обрушившихся пород составлял не более 20% от суммарного сопротивления сталеполимерной и канатной анкерной крепи. Это свидетельствует о том, что нагрузка на анкерную крепь в рассматриваемом случае не была обусловлена только весом обрушившихся пород.

Китайские исследователи отмечают, что в сложных условиях (слабые породы, большие деформации, динамические нагрузки) стандартных решений по расчету параметров канатных анкерных систем может быть недостаточно, нужно применять специальные расчетные и конструктивные подходы [18, 19].

Российские ученые также пишут о несовершенстве официальных документов, используемых для определения области применения анкерных крепей, а также об отсутствии надежных методик расчета технических параметров и экономической эффективности их внедрения [20].

Опыт применения канатной анкерной крепи на шахтах Восточного Донбасса также показал несовершенство методики расчета параметров канатной анкерной крепи, содержащейся в Инструкции.

Выводы

Причинами неудовлетворительной работы и отказов канатной анкерной крепи усиления в двух описанных случаях было закрепление канатных анкеров в соответствии с Инструкцией выше расчетного свода естественного равновесия, но не в крепких монолитных породах, в третьем случае — непрогнозируемое локальное ухудшение горно-геологических условий.

Это свидетельствует о том, что применение канатной анкерной крепи на шахтах Восточного Донбасса имеет следующие ограничения:

- канатные анкеры нельзя закреплять выше свода естественного равновесия в непрочных и немонолитных породах;
- применение канатной анкерной крепи при обводненных, трещиноватых и тонкослоистых породах непосредственной кровли должно предусматривать

возможность оперативного определения необходимости выполнения мероприятий по усилению крепи и незамедлительной их реализации.

Для предотвращения неожиданных отказов канатной анкерной крепи необходим постоянный мониторинг состояния анкерной крепи, позволяющий своевременно выявлять участки выработок, где возможно обрушение пород, и принимать своевременные решения по усилению крепи, предотвращающие повышенные смещения пород кровли и переход выработок в неработоспособное состояние.

Требование нормативного документа, определяющего свойства пород, в которых должны закрепляться канатные анкеры на шахтах Восточного Донбасса, должно звучать следующим образом: канатные анкеры должны закрепляться за пределами свода естественного равновесия, в мощном, крепком и монолитном слое породы, находящемся на расстоянии 3—6 м и более от кровли горной выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Луганцев Б. Б.*, *Чавкин А. И.*, *Турук Ю. В.*, *Гревцева Е. А.*, *Афонина Н. Б.* Применение двухуровневой анкерной крепи в выемочных выработках на больших глубинах // Маркшейдерия и недропользование. — 2024. — № 5. — С. 89—94. DOI: 10.56195/20793332_2024_5_89_94.

2. *Ефимушкин Н. А.*, *Дороженко А. А.*, *Шильников Д. В.* Опыт усиления крепи подземных горных выработок в сложных горно-геологических условиях канатными анкерами с повышенной несущей способностью // Уголь. — 2023. — № 2. — С. 17—19. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-17-19.

3. *Демин В. Ф.*, *Алиев С. Б.*, *Милетенко Н. А.*, *Старостина О. В.*, *Долгоносов В. Н.* Разработка средств крепления горных выработок с учетом напряженно-деформированного состояния массива // Маркшейдерия и недропользование. — 2025. — № 1. — С. 71—75. DOI: 10.56195/2079-3332-2025-25-1-71-75.

4. *Демин В. Ф.*, *Демина Т. В.*, *Кочнева Л. В.* Исследование возможности применения двухуровневого крепления кровли выработок для обеспечения безопасности их эксплуатации / Безопасность технологических процессов и производств: труды V Международной научно-практической конференции. — 2023. — С. 20—27.

5. *Клишин В. И.*, *Гречишкин П. В.*, *Серов А. А.*, *Разумов Е. А.* Современные технологии анкерного крепления: опыт применения и перспективы // Рудник будущего. — 2012. — № 3. — С. 89—96.

6. *Zheng H., Jiang Y., Wu X., Zhang S., Sugimoto S.* Investigation on stress distribution and prestress loss model of prestressed anchor cables considering corrosion-induced debonding // Rock Mechanics Bulletin. 2025, vol. 4, article 100189. DOI: 10.1016/j.rockmb.2025.100189. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773230425000162 (дата обращения: 10.08.2026).

7. *Shi M., Sun X., Wang Y., Yin T.* Experimental investigation on the corrosion degradation mechanisms of steel strands under the coupled effect of humidity and chloride // Materials Today Communications. 2026, vol. 53, article 115347. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2026.115347. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492826007361 (дата обращения: 10.08.2026).

8. *Shi M., Wang Y., Sun X.* Reliability-based life prediction of corroded anchor cables under alternating wet-dry conditions using a BP neural network with Bayesian inference // Construction and Building Materials. 2026, vol. 534, article 146882. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2026.146882. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061826017885 (дата обращения: 10.08.2026).

9. *Ильясов Е. Р.*, *Мунасыпов И. И.*, *Буртолик Л. Б.*, *Матвеев В. В.*, *Царев Д. В.* Повышение безопасности и эффективности крепления подземных горных выработок на Североуральском бокситовом месторождении // Горный журнал. — 2026. — № 1. — С. 40—46. DOI: 10.17580/gzh.2026.01.

10. *Wang H., Liu P., Gao G., Hou J., Hao Z., Lu Z.* Experimental and numerical simulation study on the shear mechanical properties of prestressed anchor cables // Engineering Failure Analysis. 2026,

vol. 185, article 110428. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2025.110428. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630725011690 (дата обращения: 10.08.2026).

11. *Dong Z., Peng H., Liu T., Wang K., Zheng J., Li H., Qiu X.* Study on the mechanism of prestress loss caused by friction in the free segment of anchor cables // Construction and Building Materials. 2024, vol. 413, article 134927. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.134927. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061824000680 (дата обращения: 10.08.2026).

12. *Panton B., Elmo D., Stead D., Schlotfeldt P.* A discrete fracture network approach for the design of rock foundation anchorage // Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology. 2015, vol. 124, no. 3. DOI: 10.1179/1743286315Y.0000000014. URL: https://www.researchgate.net/publication/282635582_A_discrete_fracture_network_approach_for_the_design_of_rock_foundation_anchorage (дата обращения: 10.08.2026).

13. *Yang W.-M., Wen N.-D., Li S.-C., Li X.-J.* Experimental study on anchoring effect of rock bolts to fractured rock mass // Deep and Underground Excavations, 2012. DOI: 10.1061/41107(380)38. URL: https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/41107%28380%2938?download=true (дата обращения: 10.08.2026).

14. *Dados A. T.* Design of anchors in horizontally jointed rocks // Journal of Geotechnical Engineering. 1984, vol. 110, no. 11, pp. 1637—1647. DOI: 10.1061/(asce)0733-9410(1984)110:11(1637). URL: https://www.scilit.com/publications/ea9e765daebd264f9b89689818186e79 (дата обращения: 10.08.2026).

15. *Wang Q., Wang M., Xu S., Jiang B., Duan R.* Dynamic characteristics and energy absorption mechanism of prestressed anchorage support // Tunnelling and Underground Space Technology. 2025, vol. 163, article 106759. DOI: 10.1016/j.tust.2025.106759. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779825003979 (дата обращения: 10.08.2026).

16. *Zhang X., Chen S.-H.* Analytical solution for load transfer along anchored section of prestressed anchor cable // Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics, 2015. DOI: 10.16285/J.rsm.2015.06.019. URL: https://scholars.whu.edu.cn/zh/publications/%E9%A2%84%E5%BA%94%E5%8A%9B%E9%94%9A%E7%B4%A2%E9%94%9A%E5%9B%BA%E6%AE%B5%E8%8D%B7%E8%BD%BD%E4%BC%A0%E9%80%92%E8%A7%A3%E6%9E%90%E7%AE%97%E6%B3%95/ (дата обращения: 10.08.2026).

17. *Луганцев Б. Б.*, *Беликова Н. В.*, *Беликов В. В.*, *Чавкин А. И.* Поддержание выработки для повторного использования в аномальной зоне повышенного горного давления // Уголь. — 2021. — № 4. — С. 10—14. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-10-14.

18. *Tao Z., Zhu Z., Han W., He M.* Static tension test and the finite element analysis of constant resistance and large deformation anchor cable // Advances in Mechanical Engineering, 2018. DOI: 10.1177/1687814018810638. URL: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814018810638 (дата обращения: 10.08.2026).

19. *Wang H., Liu P., Gao G., Hou J., Hao Z., Lu Z.* Experimental and numerical simulation study on the shear mechanical properties of prestressed anchor cables // Engineering Failure Analysis. 2026, vol. 185. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2025.110428. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630725011690 (дата обращения: 10.08.2026).

20. *Алиев С. Б.*, *Демин В. Ф.*, *Томилов А. Н.*, *Милетенко Н. А.* Расчет параметров анкерного крепления при проведении горных выработок в условиях угольных шахт // Уголь. — 2021. — № 4. — С. 15—19. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-15-19. РИНЦ

REFERENCES

1. Lugantsev B. B., Chavkin A. I., Turuk Yu. V., Grevtseva E. A., Afonina N. B. The use of two-level anchorage in excavation workings at great depths. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024, no. 5, pp. 89—94. [In Russ]. DOI: 10.56195/20793332_2024_5_89_94.

2. Efimushkin N. A., Dorozhenko A. A., Shilnikov D. V. Experience in reinforcement of underground mine support with the enhanced load-bearing capacity rope bolts in complex mining and geological conditions. *Ugol'*. 2023, no. 2, pp. 17—19. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-2-17-19.

3. Demin V. F., Aliev S. B., Militenko N. A., Starostina O. V., Dolgonosov V. N. Development of fastening mining workings means based on the stress-strain state of the massif. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025, no. 1, pp. 71—75. [In Russ]. DOI: 10.56195/2079-3332-2025-25-1-71-75.

4. Demin V. F., Demina T. V., Kochneva L. V. Investigation of the possibility of using two-level fastening of the roof of workings to ensure the safety of their operation. *Bezopasnost' tekhnologiche-*

skikh protsessov i proizvodstv: trudy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Safety of Technological Processes and Production: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference], 2023, pp. 20 — 27. [In Russ].

5. Klishin V. I., Grechishkin P. V., Serov A. A., Razumov E. A. Modern anchor fastening technologies: experience of application and prospects. *Rudnik budushchego*. 2012, no. 3, pp. 89 — 96. [In Russ].

6. Zheng H., Jiang Y., Wu X., Zhang S., Sugimoto S. Investigation on stress distribution and prestress loss model of prestressed anchor cables considering corrosion-induced debonding. *Rock Mechanics Bulletin*. 2025, vol. 4, article 100189. DOI: 10.1016/j.rockmb.2025.100189, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773230425000162 (accessed 10.08.2026).

7. Shi M., Sun X., Wang Y., Yin T. Experimental investigation on the corrosion degradation mechanisms of steel strands under the coupled effect of humidity and chloride. *Materials Today Communications*. 2026, vol. 53, article 115347. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2026.115347, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492826007361 (accessed 10.08.2026).

8. Shi M., Wang Y., Sun X. Reliability-based life prediction of corroded anchor cables under alternating wet-dry conditions using a BP neural network with Bayesian inference. *Construction and Building Materials*. 2026, vol. 534, article 146882. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2026.146882, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061826017885 (accessed 10.08.2026).

9. Ilyasov E. R., Munasypov I. I., Burtolik L. B., Matveev V. V., Tsarev D. V. Improvement of safety and efficiency of underground support systems for the North Urals Bauxite Ore Deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2026, no. 1, pp. 40 — 46. DOI: 10.17580/gzh.2026.01.

10. Wang H., Liu P., Gao G., Hou J., Hao Z., Lu Z. Experimental and numerical simulation study on the shear mechanical properties of prestressed anchor cables. *Engineering Failure Analysis*. 2026, vol. 185, article 110428. [In Russ]. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2025.110428, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630725011690 (accessed 10.08.2026).

11. Dong Z., Peng H., Liu T., Wang K., Zheng J., Li H., Qiu X. Study on the mechanism of prestress loss caused by friction in the free segment of anchor cables. *Construction and Building Materials*. 2024, vol. 413, article 134927. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.134927, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061824000680 (accessed 10.08.2026).

12. Panton B., Elmo D., Stead D., Schlotfeldt P. A discrete fracture network approach for the design of rock foundation anchorage. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2015, vol. 124, no. 3. DOI: 10.1179/1743286315Y.0000000014, available at: https://www.researchgate.net/publication/282635582_A_discrete_fracture_network_approach_for_the_design_of_rock_foundation_anchorage (accessed 10.08.2026).

13. Yang W.-M., Wen N.-D., Li S.-C., Li X.-J. Experimental study on anchoring effect of rock bolts to fractured rock mass. *Deep and Underground Excavations*, 2012. DOI: 10.1061/41107(380)38, available at: https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/41107%28380%2938?download=true (accessed 10.08.2026).

14. Dados A. T. Design of anchors in horizontally jointed rocks. *Journal of Geotechnical Engineering*. 1984, vol. 110, no. 11, pp. 1637 — 1647. DOI: 10.1061/(asce)0733-9410(1984)110:11(1637), available at: https://www.scilit.com/publications/ea9e765daebd264f9b89689818186e79 (accessed 10.08.2026).

15. Wang Q., Wang M., Xu S., Jiang B., Duan R. Dynamic characteristics and energy absorption mechanism of prestressed anchorage support. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2025, vol. 163, article 106759. DOI: 10.1016/j.tust.2025.106759, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779825003979 (accessed 10.08.2026).

16. Zhang X., Chen S.-H. Analytical solution for load transfer along anchored section of prestressed anchor cable. *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*, 2015. DOI: 10.16285/J.rsm.2015.06.019, available at: https://scholars.whu.edu.cn/zh/publications/%E9%A2%84%E5%BA%94%E5%8A%9B%E9%94%9A%E7%B4%A2%E9%94%9A%E5%9B%BA%E6%AE%B5%E8%8D%B7%E8%BD%BD%E4%BC%A0%E9%80%92%E8%A7%A3%E6%9E%90%E7%AE%97%E6%B3%95/ (accessed 10.08.2026).

17. Lugantsev B. B., Belikova N. V., Belikov V. V., Chavkin A. I. Upkeep of the drift for reuse in an abnormal zone of high mining pressure. *Ugol'*. 2021, no. 4, pp. 10 — 14. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-10-14.

18. Tao Z., Zhu Z., Han W., He M. Static tension test and the finite element analysis of constant resistance and large deformation anchor cable. *Advances in Mechanical Engineering*, 2018. DOI: 10.

1177/1687814018810638, available at: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814018810638 (accessed 10.08.2026).

19. Wang H., Liu P., Gao G., Hou J., Hao Z., Lu Z. Experimental and numerical simulation study on the shear mechanical properties of prestressed anchor cables. *Engineering Failure Analysis*. 2026, vol. 185. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2025.110428, available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630725011690 (accessed 10.08.2026).

20. Aliev S. B., Demin V. F., Tomilov A. N., Miletenko N. A. Calculation of bolting parameters for coal mine development. *Ugol'*. 2021, no. 4, pp. 15—19. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-15-19.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Луганцев Борис Борисович[1] — д-р техн. наук, профессор,
действительный член Академии горных наук,
председатель совета директоров, e-mail: boris4721@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8296-7922,
Чавкин Александр Иванович[1] — канд. техн. наук,
зав. лабораторией, e-mail: Achavkin@mail.ru,
Турук Юрий Владимирович[2] — д-р техн. наук,
профессор, e-mail: v.d.turuk@yandex.ru,
Воронова Элеонора Юрьевна[2] — д-р техн. наук,
доцент, e-mail: eleonora_sam_ti@mail.ru,
Будзыка Ирина Алексеевна — аспирант, ассистент преподавателя,
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, e-mail: budzyka00@mail.ru,
[1] ООО «Шахтинский научно-исследовательский
и проектно-конструкторский угольный институт» (ООО «ШахтНИУИ»),
[2] Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного
политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова.
Для контактов: Чавкин А.И., e-mail: Achavkin@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

B.B. Lugantsev[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Full Member of the Academy of Mining Sciences,
Chairman of the Board of Directors, e-mail: boris4721@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8296-7922,
A.I. Chavkin[1], Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory,
e-mail: Achavkin@mail.ru,
Yu.V. Turuk[2], Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: v.d.turuk@yandex.ru,
E.Yu. Voronova[2], Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: eleonora_sam_ti@mail.ru,
I.A. Budzyka, Graduate Student, Teaching Assistant,
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
346428, Novocherkassk, Russia, e-mail: budzyka00@mail.ru,
[1] LLC «Shakhty Research, Design and Engineering Coal Institute»
(LLC «ShakhtNIUI»), 346500, Shakhty, Russia,
[2] Shakhty Institute (branch) of the Platov South-Russian State Polytechnic
University (NPI), 346500, Shakhty, Russia.
Corresponding author: A.I. Chavkin, e-mail: Achavkin@mail.ru.

Получена редакцией 03.09.2026; получена после рецензии 07.10.2026; принята к печати 20.10.2026.
Received by the editors 03.09.2026; received after the review 07.10.2026; accepted for printing 20.10.2026.