

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Аннакулов Т.Ж., Хакбердиев А.Л., Азизкулов М.А., Тогаев А.С.

*Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан;
АО „Шаргункумир“, Шаргун, Узбекистан; ЗАлмалыкский государственный технический институт,
Алмалык, Узбекистан;*

Doi: 10.5281/zenodo.20279710

АННОТАЦИЯ Разработка крутонаклонных угольных пластов относится к числу наиболее сложных и наукоёмких задач подземной угледобычи, что обусловлено значительным углом падения пластов, повышенным влиянием силы тяжести на горный массив и оборудование, а также усложнёнными условиями управления кровлей и обеспечения безопасности очистных работ. В статье выполнен комплексный аналитический обзор применения механизированных очистных комплексов при разработке крутонаклонных и крутопадающих угольных пластов. Рассмотрены конструктивные и технологические особенности очистных комбайнов, забойных конвейеров и механизированных крепей, адаптированных к углам падения свыше 35–45°. Особое внимание уделено эксплуатационным проблемам механизированных комплексов, таким как ускоренный износ оборудования, ограничения автоматизации, повышенные капитальные затраты и требования к квалификации персонала. Обобщён международный опыт применения механизированной добычи на крутонаклонных пластах, прежде всего в Китае и России, с анализом достигнутых технико-экономических и производственных эффектов. Определены перспективные направления развития, включающие автоматизацию и дистанционное управление, внедрение цифровых систем мониторинга горного массива, повышение энергоэффективности оборудования и разработку модульных механизированных комплексов, адаптированных к сложным горно-геологическим условиям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА крутонаклонные угольные пласты, механизированные комплексы, длинностольбовая добыча, очистной забой, безопасность горных работ.

ВВЕДЕНИЕ

Крутонаклонные угольные пласты обычно определяются как пласты с углом падения, как правило, от 35–45° до 60–70° и более по отношению к горизонтальной плоскости и признаются горной отраслью как в нашей стране, так и за рубежом, сложными и трудноизвлекаемыми объектами добычи [1,2]. Для крутонаклонных угольных пластов характерны: повышенное влияние силы тяжести на перемещение угля, пород и очистного оборудования; склонность угля и пород к самопроизвольному скатыванию и обрушению; усложнённые условия управления кровлей и обеспечения устойчивости очистного забоя; необходимость применения специальных технологических схем и адаптированных механизированных комплексов.

Крутонаклонные угольные пласты широко распространены в угольных бассейнах, сформировавшихся в условиях интенсивных тектонических движений, сопровождавшихся складчатостью, разрывными нарушениями и значительными изменениями углов залегания угленосных толщ. Для таких геологических структур характерно развитие пластов с углами падения, превышающими 35–45°, что

существенно усложняет условия их промышленной обработки.

Особое место занимает Китай, где крутонаклонные и крутые угольные пласты получили широкое распространение в северо-западных и юго-западных провинциях страны. Геологическая сложность данных регионов обусловила формирование мощных угольных пластов с большими углами падения, что в свою очередь стало стимулом для активного развития специализированных технологий механизированной добычи [3].

На территории стран Евразии значительные площади с крутонаклонным залеганием угольных пластов приурочены к Донецкому и Карагандинскому угольным бассейнам, а также к отдельным районам Кузнецкого угольного бассейна [4,5].

В Европе крутонаклонные угольные пласты приурочены преимущественно к складчатым зонам Рурского и Верхнесилезского бассейнов, а также к отдельным месторождениям в горных районах Испании и Великобритании. В Северной Америке аналогичные условия характерны для Аппалачского угольного бассейна, где угленосные толщи нередко имеют значительные углы падения

вследствие региональной тектонической деформации.

В странах Центральной Азии крутонаклонные пласты характерны для месторождений, расположенных в зонах горно-складчатых сооружений, включая угольные бассейны Узбекистана и сопредельных регионов. Особенно в Шаргунском месторождении, приуроченном к Гиссарскому горно-складчатому поясу, крутонаклонное и крутопадающее залегание угольных пластов (с углами падения, как правило, 35–70° и более) обусловлено интенсивными тектоническими нарушениями, высокой дислоцированностью угленосной толщи и сложным строением массива, что существенно усложняет условия подземной разработки, повышает требования к выбору систем отработки, средств механизации и мероприятий по обеспечению устойчивости горных выработок и безопасности горных работ [6].

Таким образом, крутонаклонные угольные пласты преимущественно распространены в тектонически активных и складчатых регионах, что предопределяет необходимость применения специализированных технологических схем и механизированных комплексов, адаптированных к сложным условиям подземной разработки. Увеличение угла падения пласта выше 35–45° приводит к сложностям в обеспечении безопасности труда, стабильности кровли и транспортировки угля. Механизированные комплексы (МК) становятся ключевым инструментом повышения эффективности и безопасности разработки таких пластов.

Цель статьи – выполнить аналитический обзор применения МК в условиях крутонаклонного залегания, выявить проблемы эксплуатации, оценить международный опыт и предложить перспективные направления развития.

1. Механизированные комплексы, применяемые на крутонаклонных пластах

1.1. Основные принципы: комбайн для добычи угля на крутонаклонных пластах предназначен для механизированного отбойного и транспортного процесса на пластах с углом наклона, превышающим 45°. Основная задача – обеспечить безопасное и непрерывное сечение угля, предотвращая самопроизвольное обрушение и минимизируя влияние силы тяжести на устойчивость горного массива.

1.2. Конструктивные элементы:

Режущий орган (барабан или фреза): оснащён зубьями, способными отрезать уголь вдоль всего забоя. При крутом наклоне применяется двояный или наклонный барабан, что обеспечивает эффективный срез угля с минимальной нагрузки на привод.

Канатная или винтовая подача: срезанный уголь направляется к транспортному механизму через шнек или цепной конвейер. При крутых углах наклона транспортировка осуществляется

против силы тяжести, что требует усиленных цепей и пружинных систем натяжения.

Подкрепляющие и направляющие элементы: комбайн оборудован шахтной рамой, опорными колонками и гидроприводами, которые удерживают устройство на забое, предотвращая скатывание вниз по пласту. Применяются гидравлические телескопические опоры, обеспечивающие адаптацию под кривизну пласта.

Система безопасности и контроля: датчики положения забоя и натяжения конвейера. Ограждения для предотвращения падения горной массы и защиты персонала.

1.3. Механизм работы

Подготовка забоя: гидравлическая рамка комбайна фиксируется на рабочем участке пласта.

Срезание угля: режущий барабан вращается, отрезая угольный пласт. Уголь постепенно подается к транспортной системе.

Транспортировка: цепной конвейер или шнек перемещает уголь к приёмной выработке. На крутонаклонных пластах транспортировка часто сопровождается дополнительными тормозными и натяжными устройствами.

Поддержание устойчивости: гидравлические опоры корректируют положение комбайна при изменении угла пласта, а датчики контролируют зазор между забоем и оборудованием.

Выборка угля и обслуживание: процесс повторяется по мере продвижения комбайна, обеспечивая непрерывную добычу.

1.4. Виды и основные элементы механизированных комплексов

На рисунке 1 представлена типовая схема размещения оборудования в очистном забое при длинностолбовой разработке угольного пласта с применением механизированного очистного комплекса [7]. Вдоль всей линии очистного забоя установлены линейные секции механизированной крепи (2), предназначенные для управления кровлей, обеспечения устойчивости очистного пространства и защиты персонала от обрушений пород. Крепь сопряжения вентиляционного штрека с лавой (1) и секции сопряжения конвейерного штрека с лавой (5) обеспечивают безопасный и технологически устойчивый переход между очистным забоем и подготовительными выработками, а также создают условия для надежной вентиляции и транспортировки угля.

Забойный (лавный) конвейер (3) размещается по всей длине лавы и служит для приёма и транспортировки добытого угля. По конвейеру перемещается очистной комбайн (4), осуществляющий механизированную выемку угля и его погрузку на транспортное средство. Передвижка конвейера по мере продвижения забоя осуществляется с помощью гидродомкратов передвижки (8), которые обеспечивают его синхронное смещение вслед за выемкой угля.

Для повышения устойчивости оборудования и предотвращения его сползания, особенно в

условиях крутонаклонного залегания пласта, применяется лебёдка (6) и гидростойки (7), обеспечивающие дополнительную фиксацию элементов комплекса. Представленная схема обеспечивает согласованную работу всех элементов механизированного комплекса, повышение производительности очистных работ и уровня промышленной безопасности.

Приводная головка конвейера выводится в сторону конвейерного штрека, тогда как его концевая часть ориентирована на вентиляционный штрек. По забойному конвейеру перемещается очистной комбайн, выполняющий процесс выемки угля и его непосредственную погрузку на конвейер.

При управлении кровлей с применением механизированной крепи секции крепи устанавливаются последовательно по всей протяжённости очистного забоя. В современных горно-геологических условиях длина лавы, как правило, достигает 300 м и более. При шаге установки секций крепи, равном 1,5 м, для крепления всего забоя требуется порядка 200 секций механизированной крепи. Все секции соединяются с забойным конвейером посредством гидравлических домкратов передвижки.

По функциональному назначению механизированные крепи подразделяются на линейные секции, применяемые непосредственно в очистном забое, и секции сопряжения, устанавливаемые в зонах примыкания к конвейерному и вентиляционному штрекам.

Современные механизированные крепи отличаются между собой конструктивной схемой, количеством гидростоек в секции, рабочей высотой, величиной рабочего сопротивления, шагом установки и передвижки секций, а также применяемыми системами управления.

Передвижка секций механизированной крепи может осуществляться различными способами: последовательным, шахматным и групповым.

При последовательном способе секции передвигаются поочерёдно вслед за проходом очистного комбайна. Управление передвижкой очередной секции осуществляется с соседней распёртой секции при ручном управлении либо дистанционно - с пульта управления при автоматизированной системе.

Шахматный способ передвижки предусматривает первоначальное последовательное перемещение чётных или нечётных секций крепи, после чего передвигаются оставшиеся секции. Данный способ применяется при устойчивых кровельных породах. Его использование позволяет сократить время на передвижку крепи, что способствует увеличению скорости крепления и, соответственно, повышению производительности работы комбайна. В настоящее время высокие скорости передвижки современных механизированных крепей практически не ограничивают темпы выемки. В связи с этим шахматный способ в

основном применяется в комплексах с «шагающими» крепями 1-го и 2-го типов (КМ-81, КМ-130, КМ-145), а также при струговой выемке с использованием секций 1–4-го типов.

Групповой способ передвижки заключается в одновременном перемещении группы секций в определённой последовательности — последовательной либо шахматной. Такой способ применяется, как правило, при наличии дистанционного группового или полностью автоматизированного управления передвижкой секций.

Ниже приведены некоторые виды механизированных очистных комплексов и их основные технические характеристики, применяемые в шахтах различных стран мира при подземной разработке угольных пластов (рис.2-5). Представленные комплексы включают современные очистные комбайны, забойные конвейеры и механизированные крепи, адаптированные к различной мощности пластов и углам их падения. Особое внимание в данных комплексах уделено обеспечению устойчивости оборудования, управлению кровлей и предотвращению сползания элементов очистного комплекса, что имеет принципиальное значение при отработке наклонных и крутонаклонных пластов. Анализ технических характеристик позволяет оценить уровень механизации, энерговооружённость, степень автоматизации и области рационального применения указанных комплексов в сложных горно-геологических условиях

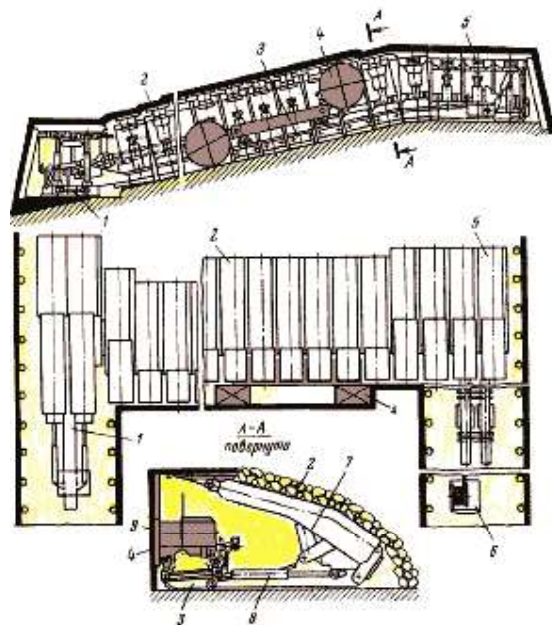


Рис-1. Расположение оборудования в очистном забое [7]:

1- крепь сопряжения вентиляционного штрека с лавой» 2- линейные секции мехкрепи; 3-лавный конвейер; 4-очистной комбайн; 5-секции сопряжения конвейерного штрека с лавой; 6- лебедка; 7-гидростойка; 8-гидродомкрат передвижки конвейера.

Очистной комбайн SL500/4. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 2,0...5,5 м [8].

Компоновка комбайна одинаковая с моделью SL500/1 (рис.2). Отличие заключается в том, что на комбайне SL500/4 увеличена установленная мощность электродвигателя привода насосной станции. Напряжение питания электродвигателей привода резания 5000 В. Механизмы подачи

оснащены электродвигателями переменного тока с установленной мощностью 60 кВт. Корпус комбайна состоит из рамы, на которой устанавливаются и закрепляются электроблок, насосная станция с электродвигателем и два механизма подачи с электроприводом.

Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны в раме

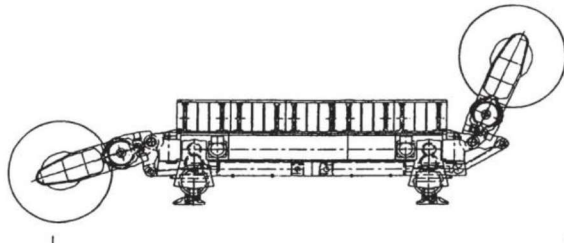


Рис-2. Очистной комбайн SL500/4

Техническая характеристика комбайна SL500/4

Исполнительный орган:

пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм....1800...5500
тип..... Шнековый
количество,шт.....2
диаметр по резцам, мм..... 1600...3200
ширина захвата, мм..... 850... 1000
частота вращения, мин¹.....23; 29

Основные размеры комбайна, мм:

длина поворотной рукояти285
длина по осям крепления поворотных рукоятей.....7500
длина по осям шнеков.....12070
Масса комбайна, кг.....55000...75000

Комбайн оснащается вращающимися погрузочными щитами и дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные лыжи нерегулируемые. На корпусе устанавливается ограждение от падающих кусков. Перемещение комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное, дистанционное или автоматическое, осуществляемое системой MICOS-68. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме совместно с

механизированной крепью и скребковым конвейером.

Изготовитель — фирма Айкхофф, г. Бохум, Германия.

Очистной комбайн ПАНДА-Е. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 40°) пластов мощностью 1,3...6,0 м [9].

Комбайн (рис.3) скомпонован из двух шнековых исполнительных органов, разнесенных по концам корпуса, на регулируемых гидродомкратах поворотных рукоятях. В корпусе размещаются продольно расположенный электродвигатель, два механизма подачи с электроприводом, насосная станция, электроблок и два редуктора резания. Редуктор резания состоит из неподвижного редуктора, размещенного в корпусе комбайна, шарнирно соединенного с поворотным редуктором. Неподвижный редуктор имеет коническую пару. Узлы комбайна соединены болтовыми стыками, а для их усиления предусмотрены стяжки. Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны в раме. Комбайн комплектуется дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные лыжи нерегулируемые. Перемещение комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное

или дистанционное. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме

совместно с механизированной крепью и скребковым конвейером.

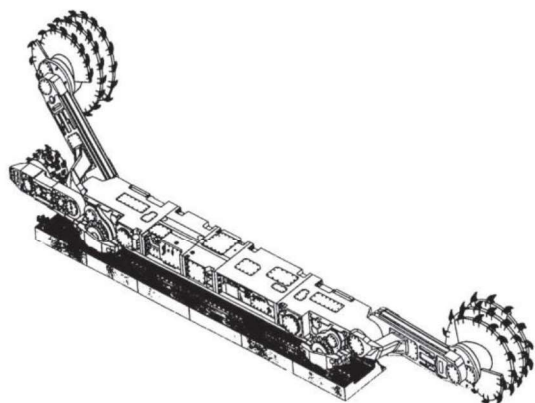


Рис-3. Очистной комбайн ПАНДА-Е

Техническая характеристика комбайна ПАНДА-Е

Исполнительный орган:

пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм..... 1300...6000
тип..... Шнековый
количество, шт..... 2
диаметр по резцам, мм..... 1200...2500
Высота корпуса от почвы, мм..... 1100
Изготовитель — фирма Сажем, г. Монлюсон, Франция.

Очистной комбайн КСП. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 2,8...5,0 м.

Комбайн (рис.4) скомпонован из двух шнековых исполнительных органов, разнесенных по концам корпуса на регулируемых гидродомкратами поворотных рукоятях, которые состоят из редуктора и поперечно расположенного электродвигателя.

В корпусе комбайна на раме устанавливаются и закрепляются электроблок, насосная станция с электродвигателем, блок питания и два механизма подачи с электроприводом. Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны над корпусами поворотных рукоятей. Комбайн оснащен дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные катковые опоры регулируются. На корпусе устанавливается ограждение от падающих кусков. Перемещение

комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное или дистанционное. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме совместно с механизированной крепью и скребковым конвейером.

Очистной комбайн КСП. Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 2,8...5,0 м.

Комбайн (рис.4) скомпонован из двух шнековых исполнительных органов, разнесенных по концам корпуса на регулируемых гидродомкратами поворотных рукоятях, которые состоят из редуктора и поперечно расположенного электродвигателя.

В корпусе комбайна на раме устанавливаются и закрепляются электроблок, насосная станция с электродвигателем, блок питания и два механизма подачи с электроприводом. Гидродомкраты регулирования поворотных рукоятей размещены с забойной стороны над корпусами поворотных рукоятей. Комбайн оснащен дробилкой для разрушения крупных кусков. Корпус комбайна расположен над конвейером и жестко с ним связан завальными опорами. Забойные катковые опоры регулируются. На корпусе устанавливается ограждение от падающих кусков. Перемещение комбайна осуществляется посредством бесцепной системы подачи. Управление комбайном ручное или дистанционное. Комбайн может работать по двухсторонней или односторонней схеме совместно с механизированной крепью и скребковым конвейером.

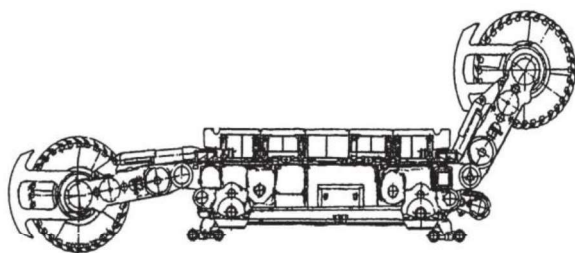


Рис-4. Очистной комбайн КСП

Техническая характеристика комбайна КСП

Исполнительный орган:

пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм..	2800...5100
тип.....	Шнековый
количество, шт.....	2
диаметр по резцам, мм.....	2400
ширина захвата, мм.....	630
тип резцов	1Р0100
скорость резания, м/с.....	3,5
Основные размеры комбайна, мм:	
длина по осям шнеков	11970
ширина.....	1935
высота корпуса от почвы.....	1750; 1950
Масса комбайна, кг	41000

Изготовитель — Северо-Задонский экспериментальный завод, г. Северо-Задонск, Тульская обл., Россия.

Очистной комбайн MG400/985-WD.

Предназначен для выемки пологих и наклонных (до 35°) пластов мощностью 1,9...4,72 м [10].

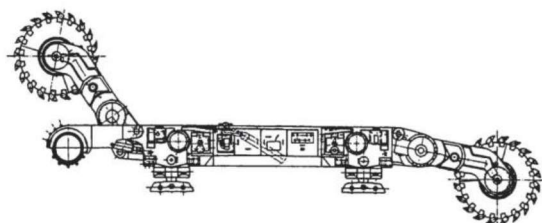


Рис-5. Очистной комбайн MG400/985-WD

**Техническая характеристика комбайна
MG400/985-WD**

Исполнительный орган:

- пределы регулирования высоты от опорной поверхности конвейера, мм..... 1600...4000
тип..... Шнековый
количество, шт..... 2
диаметр по резцам, мм1600; 1800; 2000; 2200; 2400
ширина захвата, мм..... 630; 800
частота вращения, мин⁻¹29; 35; 40
Основные размеры комбайна, мм:
длина поворотной рукояти..... 2109; 2508
длина по осям крепления поворотных рукоятей..... 6080
длина по осям шнеков..... 10298; 11088
высота корпуса от почвы1569
Масса комбайна, кг..... 55000; 57000

Изготовитель — JXI завод горно-шахтного оборудования, Китайская Народная Республика.

1.5. Особенности эксплуатации на крутонаклонных пластах

Необходима высокая устойчивость и балансировка комбайна.

Уголь скатывается быстрее из-за наклона, что требует ускоренной подачи и усиленных механизмов конвейера.

Часто используют комбинированные системы с крепями, чтобы стабилизировать пласт и забой.

2. Технологические схемы добычи

Длинностольбовая разработка — основной метод, адаптированный к крутонаклонным пластам.

Комбинированные схемы — частично управляемый выпуск угля с контролем массы.

Поэтапная выемка — деление пласта на подслои для стабильности кровли.

Преимущества и недостатки этих схем приведены в табл.-1.

Сравнение схем добычи

Схема добычи	Преимущества	Недостатки
Длинностольбовая	Высокая производительность, совместима с МКО	Требует усиленной крепи
Поэтапная	Снижает риск обрушения, повышает безопасность	Сложная организация забоя
Комбинированная	Баланс производительности и безопасности	Более дорогая и сложная эксплуатация

3. Проблемы и ограничения применения механизированных комплексов

Несмотря на высокую эффективность, механизированные комплексы при разработке крутонаклонных угольных пластов сталкиваются с рядом ограничений [11-13]:

Ускоренный износ оборудования: высокие нагрузки на режущие органы комбайнов, цепи

конвейеров и элементы крепи; частое техническое обслуживание и замена изношенных деталей.

Сложности автоматизации и дистанционного управления: канатные и цепные удерживающие системы затрудняют полную автоматизацию; высокие требования к безопасности персонала при управлении дистанционно.

Повышенные капитальные и эксплуатационные затраты: усиленная крепь, специальные комбайны и конвейеры увеличивают стоимость комплекса; сложность монтажа и демонтажа оборудования в ограниченном пространстве.

Необходимость высокой квалификации персонала: работа с современными МК требует навыков по управлению, обслуживанию и контролю безопасности; повышение требований к подготовке операторов и инженерного состава.

Основные проблемы применения механизированных очистных комплексов приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Основные проблемы применения МКО

Проблема	Причина	Последствия
Износ оборудования	Высокие нагрузки и абразивность угля	Частые ремонты, снижение производительности
Ограничения автоматизации	Канатные/цепные удерживающие системы	Сложность дистанционного управления
Высокие затраты	Укрепленная крепь, усиленные комбайны	Увеличение себестоимости добычи
Квалификация персонала	Сложные механизмы и системы управления	Требуются подготовка и обучение

4. Международный опыт и некоторые сведения

4.1 Китай

Китай является мировым лидером по применению механизированной добычи крутонаклонных пластов.

Используются длинностольбовые системы с частично дистанционным управлением.

Применяются механизированные крепи с противосползанием, адаптированные к углу 45–60°.

Опыт показывает снижение аварийности на 25–30 % при увеличении производительности на 15–20 %.

Крутонаклонные угольные пласты в Китае отличаются большим числом и широкой пространственной распространенностью, и в настоящее время страна является мировым лидером по объемам их разработки. В начале 1950-х годов был изобретен способ добычи крутонаклонных пластов методом обратных

уступов; в 1960-х годах в угольных районах Хуайнань и Кайлуань появились способы добычи с использованием псевдонаклонных гибких защитных крепей; в 1980-х годах в Сычуани были сформированы такие методы, как псевдонаклонная короткозабойная выемка, псевдополого-наклонная длинноочистная выемка по простиранию с секционированной плотной стоечной крепью, а также псевдонаклонная выемка с применением множества малых коротких забоев.

Одновременно в угольных районах Хуатин и Яоцзе (пров. Ганьсу), Сюйчжоу (пров. Цзянсу), Синьцзянского производственно-строительного корпуса, Има (пров. Хэнань) проводились исследования и опытно-промышленные испытания таких технологий, как «высокопроизводительная обычная выемка», «двойная крупная выемка», а также немеханизированная добыча с выпуском кровли. В конце 1980-х годов в районах Хунлин (Шэньян), Айвэйэргоу (Синьцзян), Кайлуань (Таншань), Цзюндэ (Хэган) начали применять технологии комплексно-механизированной добычи на крутонаклонных пластах. Наряду с разработкой собственного оборудования для таких условий, в угольных районах Наньтун и Паньчжихуа (пров. Сычуань) также предпринимались попытки внедрения зарубежных техники и технологий, однако существенных результатов достигнуто не было.

В 1996–1998 гг. на шахте Люйшуйдун (пров. Сычуань) была осуществлена комплексно-механизированная добыча крутонаклонного угольного пласта, разработан комплект соответствующего оборудования, решены ключевые технические проблемы, такие как предотвращение опрокидывания и сползания оборудования, а также защита очистного забоя от «летающих» кусков породы. Была успешно отработана угольная толща мощностью 2,27 м при среднем угле падения 48°. Коэффициент извлечения составил 97,2%, месячная добыча достигла 21 тыс. т, что обеспечило безопасную комплексно-механизированную разработку крутонаклонных угольных пластов на уровне, соответствующем передовым мировым достижениям.

После 2000 г., под влиянием успешной демонстрации комплексно-механизированной добычи средне-мощных крутонаклонных пластов на шахте Люйшуйдун, во многих угольных районах провинций и автономных районов Сычуань, Чунцин, Гуйчжоу, Ганьсу, Синьцзян, Хэбэй, Хэйлунцзян, Пекин, Шаньдун, Аньхой, Внутренняя Монголия, Нинся и др. последовательно проводились технологические

инновации и испытания длинноочистной комплексно-механизированной добычи, добычи с выпуском угля и добычи с большим выемочным мощностным параметром на крутонаклонных угольных пластах в различных горно-геологических условиях.

В различной степени были решены проблемы разработки трудноизвлекаемых угольных пластов на шахтах, что позволило получить значительный технический, экономический и социальный эффект.

4.2 Россия

В России активно развиваются МК для угольных бассейнов Кузбасса и Восточной Сибири.

Широкое использование комбайнов серии КТ и АНТ, модифицированных под крутонаклонные пласты.

Применение автоматизированной системы контроля забоя повышает безопасность и снижает человеческий фактор.

4.3 Другие страны

Южная Африка, Австралия: в крутонаклонных пластах применяются длинноствольбовые комбайны с дистанционным управлением и усиленной крепью.

Европа: акцент на энергоэффективность и мониторинг состояния массива с использованием датчиков и IoT-систем.

Сравнительный анализ международного опыта применения механизированных очистных комплексов приведены в табл.-3.

Таблица 3.
Сравнение международного опыта

Страна	Тип МКО	Особенности применения	Эффект
Китай	Длинностольбовые комбайны	Противоположная крепь, дистанционное управление	Снижение аварийности, повышение производительности
Россия	Комбайны КТ, АНТ	Автоматизированный контроль, усиленная крепь	Повышение безопасности, снижение человеческого фактора
Южная Африка / Австралия	Длинностольбовые, дистанционное управление	Усиленная крепь, мониторинг забоя	Повышение эффективности и добычи
Европа	Длинностольбовые и роботизированные системы	Датчики, IoT-системы	Энергоэффективность, контроль состояния массива

5. Перспективные направления развития

Автоматизация и дистанционное управление: внедрение роботизированных комбайнов и крепей; минимизация участия человека в опасных зонах.

Модульные механизированные комплексы: универсальные модули, адаптируемые под разные углы падения и мощность пласта.

Энергоэффективность и снижение износа оборудования: использование частотно-регулируемых приводов; оптимизация режущих органов и смазочных систем.

Мониторинг и прогнозирование состояния массива: датчики напряжений, IoT-системы, автоматические системы предупреждения аварий.

Повышение безопасности персонала: развитие удаленного управления и автоматизированных систем контроля забоя; обучение персонала на виртуальных симуляторах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ современных технологий разработки крутонаклонных угольных пластов показывает, что механизированные очистные комплексы являются определяющим фактором повышения эффективности, безопасности и устойчивости горных работ в сложных горно-геологических условиях. Наибольшую результативность демонстрируют длинно столбовые системы, оснащённые усиленными противосползающими крепями и средствами дистанционного управления, что позволяет существенно снизить риски для персонала и повысить производительность очистных забоев.

Международный опыт эксплуатации, в частности в угольной промышленности Китая и России, подтверждает целесообразность внедрения автоматизированных систем управления, мониторинга состояния горного массива и интеллектуальных средств диагностики

оборудования. Применение датчиков напряжений, IoT-технологий и систем прогнозирования аварийных ситуаций обеспечивает переход от реактивного к превентивному управлению горными процессами.

В то же время установлено, что дальнейшее развитие механизированных комплексов сдерживается рядом факторов, включая интенсивный износ оборудования, высокую капиталоемкость автоматизированных решений, а также необходимость подготовки высококвалифицированного персонала для их эксплуатации и обслуживания. В этой связи особую актуальность приобретает разработка модульных механизированных комплексов, адаптируемых к различным углам падения и мощности пласта, а также повышение энергоэффективности за счёт применения частотно-регулируемых приводов и оптимизации рабочих органов.

Таким образом, стратегическим направлением развития технологий подземной добычи угля на крутонаклонных пластах является комплексная интеграция автоматизации, цифровых систем мониторинга, энергоэффективных решений и современных подходов к обеспечению безопасности труда. Реализация данных направлений позволит не только повысить технико-экономические показатели добычи, но и обеспечить устойчивое развитие угледобывающих предприятий в условиях возрастающих требований к промышленной безопасности и охране труда.

TIK QIYA KO'MIR QATLAMLARINI QAZIB OLISHDA MEXANIZATSIYALASHGAN KOMPLEKSLARNI QO'LLASH TAHLILI

T.J. Annaqulov, A.L.Haqberdiyev, M.A.Azizqulov, A.S.Tog'ayev

Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston;

"Sharg'un ko'mir" AJ, Sharg'un, Uzbekistan;

Olmalik davlat texnika instituti, Olmalik, O'zbekiston;

ANNOTATSIYA Tik qiya ko'mir qatlamlarini qazib olish yer osti usulida qazib olish ishlarining eng murakkab vazifalaridan biri hisoblanadi. Bu, avvalo, qatlamlarning katta qiyalik burchagi, og'irlik kuchining tog' jinslari massivi va kon uskunalariga kuchli ta'siri, shuningdek, qoplama jinslarni boshqarish va tozalash zaboylarida mehnat xavfsizligini ta'minlash sharoitlarining murakkabligi bilan izohlanadi. Maqolada tik qiya va keskin qiya yotgan ko'mir qatlamlarini qazib olishda mexanizatsiyalashtirilgan qazib olish komplekslarini qo'llash bo'yicha atroflicha analitik sharh keltirilgan. Qiyalik burchagi 35–45° dan yuqori bo'lgan qatlamlarga moslashtirilgan qazish kombaynlari, zaboy konveyerlari va mexanizatsiyalashtirilgan mustaxkamlagichlarining konstruktiv va texnologik xususiyatlari ko'rib chiqilgan. Mexanizatsiyalashtirilgan komplekslarni ekspluatatsiya qilishdagi asosiy muammolar, jumladan, uskunalarining tezkor yeyilishi, avtomatlashtirish imkoniyatlarining cheklanganligi, yuqori kapital va ekspluatatsion xarajatlar hamda xizmat ko'rsatuvchi personal malakasiga qo'yiladigan yuqori talablar alohida ta'kidlangan. Shuningdek, tik qiya ko'mir qatlamlarida mexanizatsiyalashtirilgan qazib olish bo'yicha xalqaro tajriba, ayniqsa Xitoy va Rossiya misolida, erishilgan texnik-iqtisodiy va ishlab

chiqarish samaralari tahlil qilingan. Avtomatlashtirish va masofaviy boshqaruvni joriy etish, tog' jinslari massivini raqamli monitoring qilish tizimlarini qo'llash, uskunalarning energiya samaradorligini oshirish hamda murakkab kon-geologik sharoitlarga moslashtirilgan modulli mexanizatsiyalashtirilgan komplekslarni ishlab chiqish kabi istiqbolli rivojlanish yo'nalishlari belgilangan.

**KALIT
SO'ZLAR**

tik qiya ko'mir qatlami, mexanizatsiyalashgan kompleks, uzun ustunli qazib olish, qazib olish zaboyi, kon ishlari xavfsizligi.

**ANALYSIS OF THE APPLICATION OF MECHANIZED COMPLEXES IN THE
DEVELOPMENT OF STEEPLY INCLINED COAL SEAMS**

T.J. Annakulov, A.L.Haqberdiyev, M.A.Azizkulov, A.S.Togayev

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan;

"Shargunkumir" JSC, Shargun, Uzbekistan;

Almalik State Technical Institute, Almalik, Uzbekistan

ABSTRACT

The development of steeply inclined coal seams is among the most complex and knowledge-intensive tasks of underground coal mining, due to the significant dip angles of the seams, the increased influence of gravitational forces on the rock mass and mining equipment, as well as the complicated conditions of roof control and occupational safety in longwall operations. This paper presents a comprehensive analytical review of the application of mechanized longwall complexes in the mining of steeply inclined and steeply dipping coal seams. The design and technological features of shearer loaders, face conveyors, and powered roof supports adapted for seam dip angles exceeding 35–45° are examined. Special attention is paid to operational challenges of mechanized complexes, including accelerated equipment wear, limitations in automation, increased capital expenditures, and higher requirements for personnel qualifications. The international experience in mechanized mining of steeply inclined coal seams is summarized, with particular emphasis on China and Russia, along with an analysis of the achieved technical, economic, and production effects. перспективные направления развития, including automation and remote control, the implementation of digital rock mass monitoring systems, improvements in equipment energy efficiency, and the development of modular mechanized complexes adapted to complex geological and mining conditions.

KEYWORD

steeply inclined coal seams, mechanized complexes, longwall mining, coal face, mining safety.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. T. Zhao; Z. Zhang; Y. Yin; Y. Tan; X. Liu. Ground control in mining steeply dipping coal seams by backfilling with waste rock// J. S. Afr. Inst. Min. Metall. vol.118 n.1 Johannesburg Jan. 2018. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n1a3>
2. WU Yongping, LIU Kongzhi, YUN Dongfeng, et al. Research progress on the safe and efficient mining technology of steeply dipping seam [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39 (8): 1611-1618.
3. Yan, Y.; Zhang, Y.; Zhu, Y.; Cai, J.; Wang, J. Quantitative Study on the Law of Surface Subsidence Zoning in Steeply Inclined Extra-Thick Coal Seam Mining. Sustainability 2022, 14, 6758. <https://doi.org/10.3390/su14116758>
4. Satbergenova, A.; Talgarbayeva, D.; Vilayev, A.; Urazaliyev, A.; Yelisseyeva, A.; Kaldybayev, A.; Gavruk, S. InSAR-Based Assessment of Land Subsidence Induced by Coal Mining in Karaganda, Kazakhstan. Geomatics 2025, 5, 55. <https://doi.org/10.3390/geomatics5040055>
5. Готина А.Э., Лешуков Т.В. Сравнительный анализ тектонического строения Донецкого, Кузнецкого и Верхнесилезского угольных бассейнов. XVI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ» 010301.1 16-19 апреля 2024 г.
6. Махмудов Д.Р. и др. Обоснование механизации разработки крутопадающих мощных угольных пластов в условиях Шаргуньского месторождения каменного угля // Universum: технические науки 2022. 5(98). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13702>
7. https://ukk42.ru/learning/index.php?article=1915&utm_source=chatgpt.com
8. https://www.eickhoff-bochum.de/sites/default/files/field/upload/sl_500_0.pdf?utm_source=chatgpt.com

9. Морозов В.И., Чуденков В.И., Сурина Н.В. Очистные комбайны: Справочник / Под общей ред. В.И. Морозова. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — 650 с.

10. https://www.sanyglobal.com/ru/product/mining_%26_tunneling/coal_cutter/89/?utm_source=chatgpt.com

11. T. J. Annakulov, S. B. Gaibnazarov, O. A. Kuvandikov, F. O. Otajonov, B. O. Otajonov; Development of a methodology for determining the economic efficiency of cyclic-flow technology schemes for rock mining using mobile crushing and reloading-conveyor complexes. *AIP Conf. Proc.* 16 June 2022; 2432 (1): 030115. <https://doi.org/10.1063/5.0089668>

12. Haqberdiyev A.L., Azizkulov M.A., Ziyotov S.A. Ko'mir konlarida mexanizatsiyalashgan komplekslarni ishlatish imkoniyatlari. *Geologiya fanlari, innovatsion rivojlanish va mutaxassislar tayyorlashning dolzarb muammolari va istiqbollari xalqaro ilmiy-amaliy anjuman* 7 may, 2025 yil, Toshkent. 640-643 bb.

13. Азизкулом М.А., Муродов З.Т., Ҳақбердиев А.Л., Кучаров Ф.Ф. Мураккаб кон-геологик шароитли “Шарғункўмир” конида механизациялашган комплекснинг қўллаш истикболлари/ Akademik V.R.Raximovning 90 yilligiga bag ishlangan ‘Yer osti boyliklaridan oqilona va bexatar foydalanishda raqamli texnologiyalarni qo'llashning istiqbollari’ mavzuidagi xalqaro ilmiy-texnik anjumanining maqolalar to plami. – Toshkent, ToshDTU, 2024 y. 8-9 oktabr. 187-190 b.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Annakulov Tulkin Jovbekovich	— <i>PhD, Associate professor of the department of Mining Electromechanics; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan</i> ORCID: https://orcid.org/0009-0008-3708-0848
Haqberdiyev Alim Latipovich	— <i>PhD, Associate professor of the department of Mining Electromechanics; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan</i> ORCID: https://orcid.org/0009-0008-3708-0848 , alim.haqberdiyev2017@yandex.com
Azizkulov Maruf Abdulxofiz o'g'li	— <i>Director of JSC “Shargunkumir”, Shargun, Uzbekistan</i>
Tog'ayev Ahror Sa'dullo o'g'li	— <i>Senior Lecturer, Almalik State Technical Institute, Almalik, Uzbekistan</i> ORCID: 0009-0002-8835-418X ahrortogayev@gmail.com

METHODOLOGY FOR DIAGNOSTIC ASSESSMENT OF THE CONDITION AND WEAR OF ENGINE PARTS USING AN INDICATOR OF METAL AND SOLID PARTICLES IN EXHAUST GASES

Makhmudov A., Makhmudov Sh.A., Axmedov S.T., Raximova N.A.

*Navoi State Mining and Technological University
Navoi, Uzbekistan*

Doi: 10.5281/zenodo.20279758

ABSTRACT

The paper discusses a method for diagnostic assessment of the technical condition and wear of internal combustion engine parts based on analysis of the content of metal particles and solid inclusions in exhaust gases. The study is based on the analysis of the component composition of solid particles identified in the exhaust gases of mining equipment, in particular HITACHI EX1200 hydraulic excavators. It has been established that solid particles in the exhaust gases of modern engines contain wear products from cylinder-piston group parts, elements of neutralization systems, fuel additives, and engine oil components. Neutron tomography methods were used to determine the composition of the mineral fraction of solid particles, which includes calcium (37%), zinc (19%), silicon (15%), phosphorus (8%), and copper (2%). Criteria have been developed for assessing the technical condition of the main engine components based on the presence of specific indicator metals: iron, chromium, aluminum, copper, lead, tin, and other elements. It has been shown that elevated concentrations of metal particles indicate a malfunction of the engine's friction pairs and allow the need for unscheduled maintenance to be predicted. Using the example of the HITACHI EX1200 excavator, the relationship between the intensity of engine part wear and the frequency of unscheduled equipment downtime, reaching 111.17 hours