

https://doi.org/10.51885/3134-8009_IJS_2026_2_4

МРНТИ 55.33.; 52.13.25

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАЦИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫХ, МАНЕВРИРУЮЩИХ АГРЕГАТОВ

РОБОТТЫҚ, МАНЕВЕРЛІК АГРЕГАТТАРДЫҢ ОПЕРАЦИЯСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF OPERATIONS OF ROBOTIZED, MANEUVERABLE AGGREGATES

Г.С. Жетесова^{ID 1}, К.М. Бейсембаев^{ID 1*}, Ж.Н. Нокина^{ID 1},Г.Б. Абдугалиева^{ID 1}, Д. Оразбеков^{ID 1}¹НАО Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
г. Караганда, Казахстан

*Автор-корреспондент: Бейсембаев Каким Манапович, e-mail: kakim1949@mail.ru

Ключевые слова:

конвейер, лава,
погрузчик, камера,
информационная
система,
производительность,
развороты,
эффективность.

АННОТАЦИЯ

Были выявлены особенности нагружения секций крепи при постепенном опускании пород кровли на ранее обрушенные участки, а также установлено, что от растягивающих напряжений по контуру кровли могут возникать трещины, формирующие ступеньки в её профиле, и этот процесс продолжается до поверхности земли с повышением горного давления на забой до 72 %. Предотвращение последствий этого явления – применение камерной выемки с вычислением состояния системы на основе метода конечных элементов и экспериментальных данных в каждом цикле выемки. Для проектирования новой технологии создана информационная система учета эффективности сценариев работ, учитывающая геологические нарушения и развороты агрегата на очередные участки выемки. Это позволяет минимизировать длительность технологического цикла выемки в каждом сценарии. Для камер длина транспортной цепочки в очистном блоке в 1,27 раза, а капитальные затраты в 3 раза меньше, решается и вопрос разработки наклонных и крутых пластов с вовлечением в добычу запасов не менее добытых.

Түйінді сөздер:

конвейер, лава, жүк
тиегіш, камера
ақпараттық жүйе,
өнімділік, бұрылуы,
тиімділік

ТҮЙІНДЕМЕ

Төбенің жыныстарын бұрын құлаған жерлерге біртіндеп түсірген кезде тіреу секцияларын жүктемесінің ерекшеліктері анықталды, сонымен қатар төбенің сызығы бойынша созылу кернеулерінен болатын жарықшақтық пайда болуы мүмкін екендігі анықталды және бұл процесс жер бетіне дейін жалғаса-



© 2026 Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, Ж.Н. Нокина, Г.Б. Абдугалиева, Д. Оразбеков
Данная работа распространяется на условиях лицензии
Creative Commons «С указанием авторства» 4.0 Международная (CC BY 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ды, тау қысымы кенжарға 72 % дейін көтеріледі. Бұл құбылыстың салдарын болдырмау – жүйенің күйін есептей отырып және әр қазбаның циклінде эксперименттік мәліметтер негізінде камералық қазбаны қолдану болып табылады. Жаңа технологияны жобалау үшін геологиялық бұзушылықтар мен агрегаттың кезекті қазу учаскелеріне бұрылуын ескеретін жұмыс сценарийінің тиімділігін есепке алатын ақпараттық жүйе құрылды. Бұл әрбір сценарийде қазбаның технологиялық циклінің ұзақтығын азайтуға мүмкіндік береді. Камералар үшін тазарту қондырғысындағы көлік тізбегінің ұзындығы 1,27 есе аз. Ұзын қабырғалы технологиямен салыстырғанда, капиталдық шығындар кем дегенде үш есе төмен. Көлбеу және тік қабаттарды дамыту мәселесі де шешілді, ал олардың минералды қорлары бұрыннан өндірілген қорлармен салыстыруға болады.

keywords:

Conveyor, long wall, loader, chamber mining, information system, productivity turnover, efficiency.

ABSTRACT

Loading characteristics of support sections were identified during the gradual subsidence of roof rock onto previously collapsed sections. It was also established that tensile stresses along the roof contour can cause cracks, forming steps in its profile. This process continues to the ground surface, increasing rock pressure at the face by up to 72%. Prevention of the consequences of this phenomenon is achieved by chamber mining, in which experimental data are measured, and the state of the face is calculated in each mining cycle. To design the new technology, an information system was created that accounts for the effectiveness of work scenarios, considering geological disturbances and the machine's turnover to the next mining section. This minimizes the duration of the technological mining cycle in each scenario. For chamber mining, the transport chain length in the stope unit is 1.27 times shorter. Capital costs are three times lower than for long wall mining. The challenge of developing inclined and steep coal seams, whose reserves are comparable to those of already mined coal, has also been addressed.

ВВЕДЕНИЕ

Новая технология камерной отработки, создаваемая в Кемерово и Караганде, решает вопросы вовлечения в добычу сложнозалегающих участков твердых минералов, запасы которых по углю не менее добытых. Разработка камерных агрегатов, средств и методов разворотов для их безмонтажного перевода на очередной добычной участок резко повысит эффективность таких технологий. Современные разработки должны обеспечить быстрое их внедрение при сокращении длительности промышленных экспериментов с выдачей продукта с заданной надежностью и эффективностью. Это возможно при следующих условиях:

- современное проектирование основано на моделировании в 3D, а конструктивные и технологические схемы работы машин - на апробированных модулях;
- программы расчета и прогнозирования состояния движущихся агрегата и забоя для каждого цикла выемки учитывают обратную связь и текущие разрушения пород.
- создание информационной системы (ИС) для сложных условий участка с расчетом сценариев работ с поворотами агрегата и их экономической оценкой.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Опыт применения таких систем для длинных лав с разворотами техники на 180° приведен в (Федунец & Симонов, 1982; Козлов В.В., 2010). Но в лавах их эффективность снижается из-за крепления участка у центра разворота, где возрастает время выстоя кровли, её «топтание», приводящие к разрушению пород и угля. Камерные же технологии основаны на известной школе (Бурчаков и др., 1978). При этом казахстанская школа геомеханики Айталиева Ш.М., Канлыбаевой Ж.М., Сагинова А.С., Векслера Ю.А. (Канлыбаева, 1964; Айталиев, и др., 1992) позволяет уточнить особенности сдвижения пород в зоне работ. Так, метод радиоактивных изотопов Канлыбаевой, учитывающий смещение пород у забоев, получал одобрение ведущих горных школ Франции и США, а работы Векслера применяются в системе автоматизированного управления лавами в германской фирме Marco (Rojter, et. al., 2021). Ими же был достигнут эффективный режим роботизированной выемки в РФ и Китае. В продолжение этих исследований выполнены работы (Буялич и др., 2024; Никонова и др., 2024), направленные на создание метода расчета состояния забоя и нагруженности роботизированных секций в каждом цикле выемки. Вышепоставленные задачи позволят вовлечь в добычу новые запасы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для расчетов напряженно-деформированного состояния пород при различных схемах взаимодействия был применен метод конечных элементов с использованием программ на языке Ansys APDL. Экспериментальная оценка нарушенности выполнялась анализом шахтных данных карагандинского бассейна и, в частности, ш. Кировской по пласту K₂ в лавах длиной 120 м. Применялся и системный анализ работы технологических схем разворота лав. Но точный учет эффективности разворота можно провести средствами, учитывающими и новые сценарии работ. Таким требованиям отвечают электронные таблицы, имеющие программные средства сложного логического анализа и сортировки данных, которые, как альтернативное средство традиционным, могут использоваться и для создания механизмов управления роботами (Буялич и др., 2024).

Исследуется новое средство для процессного анализа движения агрегата при разворотах, учета операций при различных параметрах системы в автоматическом режиме с применением логических условий готовности к их выполнению с программированием в электронных таблицах ЭТ. Длительность операций передвижки забойного конвейера или погрузчика и секций крепи:

$$T_{zk} = (T_{vd} + T_v + T_{pr} + T_{ras} + T_{srr} + T_{bu}(L)) * (Ll / bc), \quad (1)$$

где T_{vd} , T_{vt} – время на движения поршня при его выдвигании и втягивании, T_{pr} – переключение распределителя рабочей жидкости, T_{ras} – распор секции после передвижки, T_{srr} – снятие с распора, $bu(L)$ – управление боковыми зазорами между секциями крепи (нормативы для одной секции); Ll – длина лавы (забоя), bc – ширина секции крепи. Если время движения комбайна для выемки одной стружки вдоль лавы T_{kl} , а общее время передвижки секций агрегата для крепления обнажения от одной стружки T_{zk} , то для современного оборудования фактически имеет место условие:

$$T_{zk} \gg T_{kl} \quad (2)$$

Поэтому время подвигания лавы определяется T_{zk} за счет медленного движения секций, при этом и комбайн проектируется из этого условия.

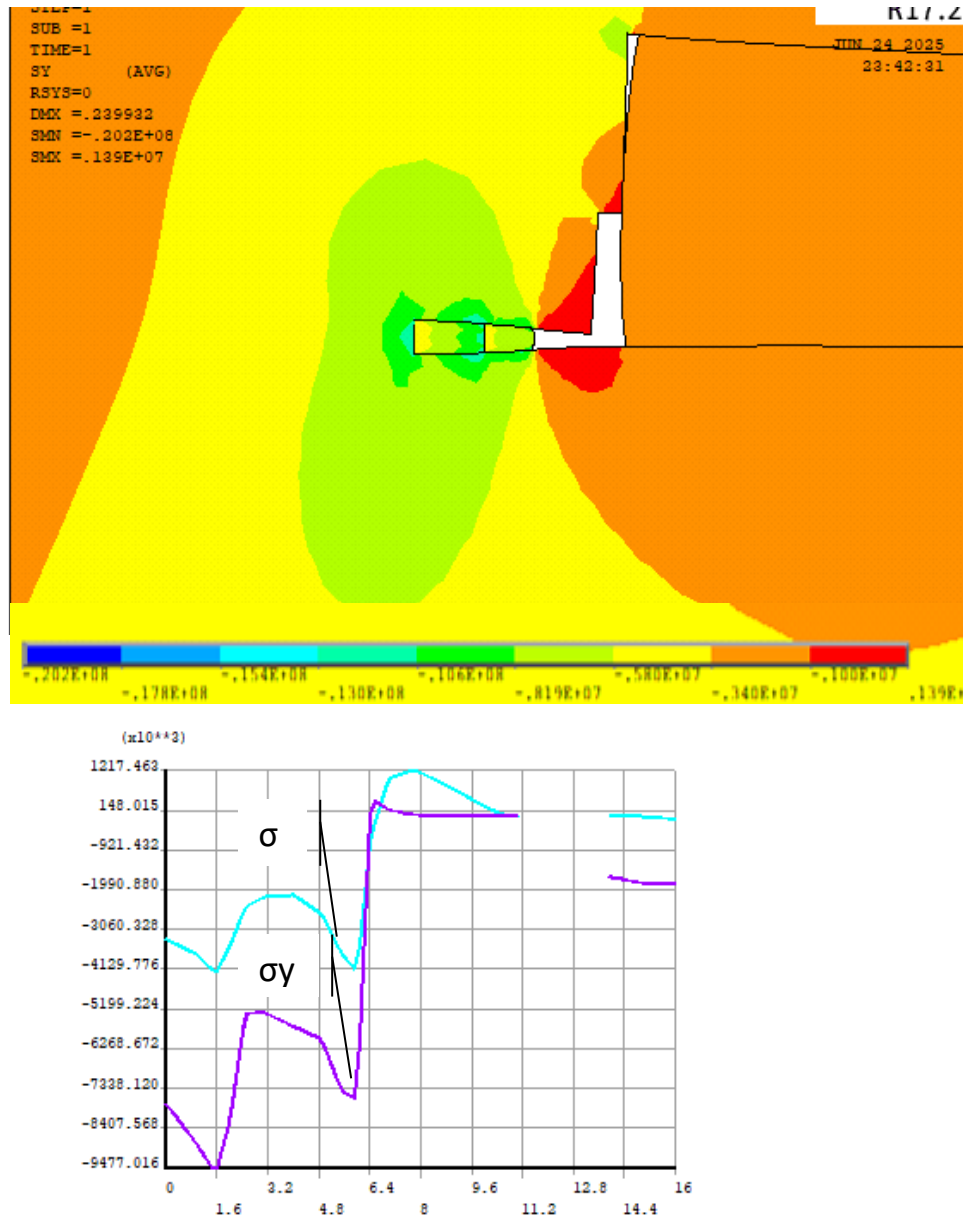


Рисунок 1. Напряжения при плавном опускании выпележащих пород на обрушенные и создание давления на крепь и забой

Примечание – составлено авторами на основе программирования на языке Ansys APDL

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Было выявлено, что в традиционной схеме со ступенчатым обрушением слоев кровли и плавным опусканием выпележающих пород на обрушенные породы (рис. 1 и рис. 2) имеются случаи, когда на контуре их соединения возникают растягивающие напряжения, превышающие предел прочности пород, что приводит к появлению новой ступени и т.д. до достижения земной поверхности. Реальность такой схемы также следует из многочисленных исследований обрушения пород на стендах с эквивалентными материалами. Как следует из сопоставления графиков и картин распределения напряжений у забоя, в этом случае давление на забой существенно выше и разница достигает 72 % по сравнению со схемой с плавным опусканием пород, но характер изменения напряжений на прилегающую к забою часть пласта и выработанного пространства практически одинаков.

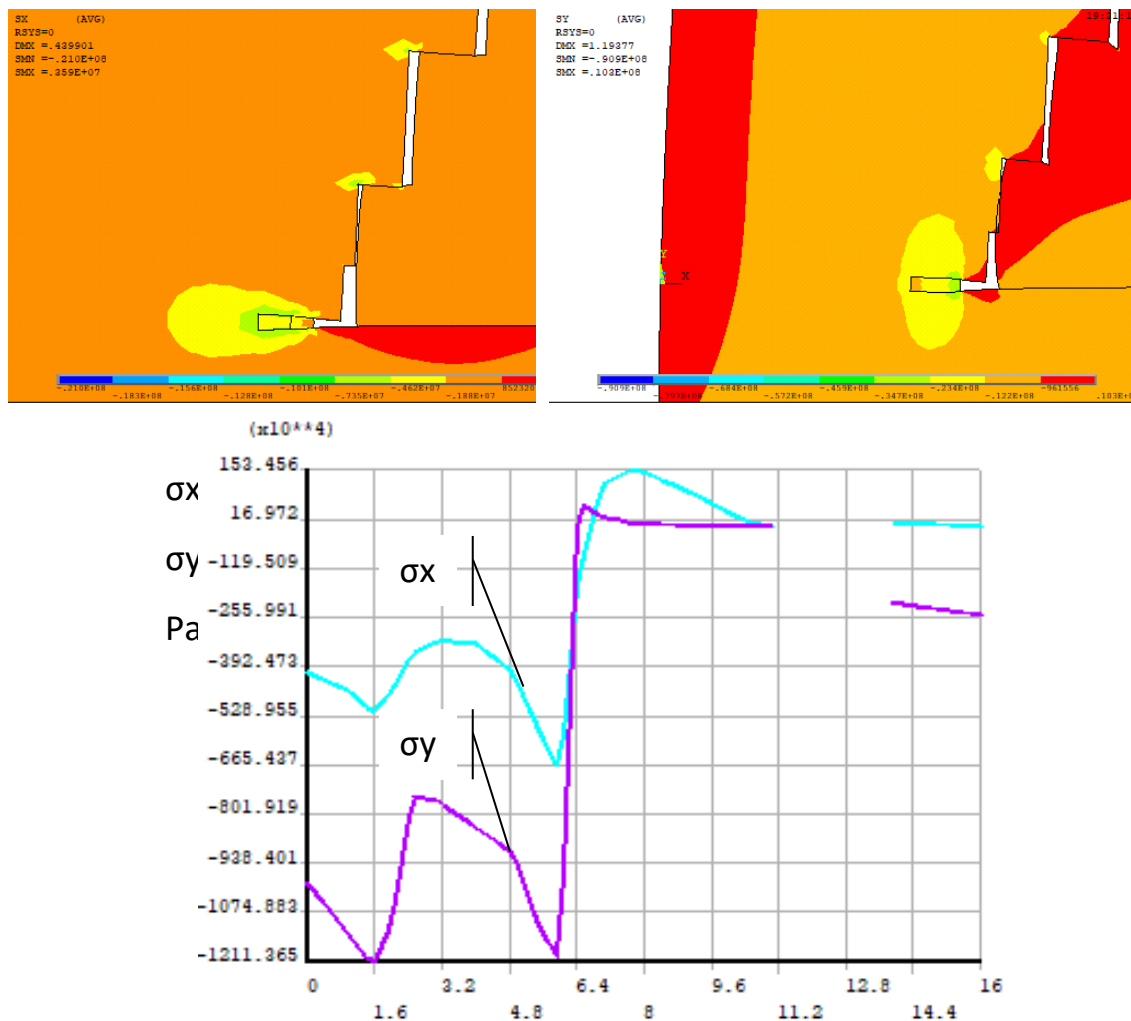


Рисунок 2. Напряжения, характеризующие нагружение крепи при ступенчатой структуре пород кровли с поддержкой ступеней обрушенными породами
Примечание – составлено авторами на основе программирования на языке psys APDL

В соответствии с методологией (Акижанова и др., 2024), увеличение давления приведет к удлинению зоны опорного давления и возрастанию опасности газодинамических явлений, а это потребует и пропорционального увеличения сопротивления крепи. Программа расчета сформирована так, что она позволяет изменять степень поддержки ступеней обрушенными породами за счет коэффициента разубоживания пород и модуля их деформации, а также условиями формирования зон дезинтеграции пласта у забоя. А это также позволяет сформировать многовариантные сценарии обрушения. При этом в условиях лавы схема расположения пород за забоем визуально наблюдается в зазоры между секциями, особенно в случаях, когда мелкораздробленная порода не перекрывает все выработанное пространство над ними. При предельном состоянии призабойной зоны шириной около 1,5 м её модуль деформации имеет значение, близкое к модулю обрушенных пород, поддерживающих ступени, и их влияние на смещение кровли минимально, что подтверждено и расчетом. Новая технология должна строиться не только разработкой её конструкции, но и созданием уточненной методики расчета давления на пласт и крепь, а также аппарата технико-экономического обоснования – эффективности (Э). Сравнение технологии обычно производится с традиционными. Лавы имеют длину

200-300 м. Их Э зависит от времени отработки одной стружки. Ширина секции 1,5 м, шаг передвижки $lp = 0,5$. При $Ll = 200$ м в лаве размещаются $n = Ll/bc$ секций, т.е. около 133 шт. Самым медленным звеном забоя считаются связанные гидродомкратами конвейер и секции крепи, поэтому при расчете производительности в первую очередь учитывают время их передвижки. В расчеты включают время на заполнение поршневой и штоковой полости домкратов, так как при прямом и обратном ходе их поршни со штоками передвигают конвейер, а затем секции, одна за другой, подтягиваются к его борту. Учитывают и время на переключение распределителей t_{ras} , снятия с распора секции, а затем и её повторный распор $Tsrr$, время на управление боковыми зазорами между секциями $Tbu(L)$. Учитывают и операции сопряжения, связанные с передвижкой привода скребкового конвейера, перекрепления сопряжений t_{sopl} , t_{sopp} . Во время выемки стружки учитывают и время выполнения постепенной зарубки комбайна в пласт угля за счет непрерывной подачи конвейера домкратами перемещения. При разворотах лав особенно следует учитывать боковое выравнивание секций, которые «разбегаются» из-за ручной передвижки. Для сложнозалегающих участков эти недостатки преодолевались камерной выемкой. Кроме того, камеры в случае необходимости легко локализовать скважинами, уменьшая выбороопасность вредных газов в атмосферу, упрощая использование в их забоях робототехники (Łukasz Bołoz1a, 2022; Edward et al., 2022).

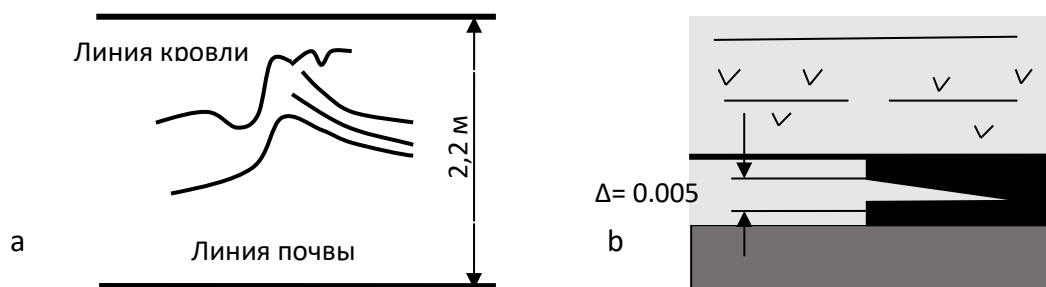


Рисунок 3. Нарушения и аномалии в лавах на ш. Кировской:

а – волнообразная слоистость, б – подъем передней части забоя

Примечание – составлено авторами на основе данных шахты Кировской

Сложность условий разработки угольных пластов обычно определяется разрывными нарушениями вдоль лавы (это сдвиг, когда одна часть смещается относительно другой по «сместителю» или происходит резкое изменение направлений слоистости в виде выпуклости, которое длится на участках длиной 3-7 м и продолжается в глубину пласта до 10 - 15 м (рис. 3). На ш. Кировской в лаве длиной 120 м в среднем по длине располагалось около 4 крупных нарушений (рис. 3, а), что приводило к обрушению кровли и возникновению протяженных неподдерживаемых полостей, которые крепились вручную, а также возникала необходимость отбойки твердых включений, на что затрачивается время $T_{ки}$. Аномалии типа (рис. 3, б) наблюдались при пересечении лавой старого штрека, проходящего через выемочный столб лавы. При этом разрушение пород и пласта резко усиливалось, сдерживая работы в забое. В расчетах также учитываются данные (Meshkov et al., 2021; Акижанова и др., 2023; Андреева, 2021), поэтому для расчета длительности цикла выемки одной полосы угля добавлено выражение:

$$T_{kn} = (Ll / Ln) * Nn, \quad (3)$$

где Ln – средняя протяженность лавы без крупных нарушений (25 м);

Nn – время крепления в сек.

Эти данные помещаются в ЭТ, и выражения записывают через ссылки на ячейки. На сопряжении лавы в процессе передвижки необходимо переустанавливать крепь (обычно это гидравлические или индивидуальные стойки, поддерживающие деревянные верхняки). Эти дополнительные операции легко осуществляются в ЭТ (Арский, 2021; Feliks Mun, 2024; Новоселов, 2021) и снижают эффективность лав по сравнению с камерной выемкой. По такой же методике расчета длительности цикла можно рассчитывать и время операций для камерного агрегата с погрузчиком и крепью с учетом его поворотов (рис. 4). При ширине камеры до 20 м нарушения маловероятны, или они будут обойдены, а роботизировать такой забой за счет дополнительного визуального контроля рабочих процессов оператором гораздо проще. Выбор ЭТ для ИС объясняется тем, что программирование задач в них облегчено за счет встроенных средств в ячейки таблиц, изменение данных которых легко наблюдаемы. При этом ЭТ обладает большими ресурсами памяти для данных и макросов, которые могут записываться в авторежиме. Рассмотрен разворот с углом α , обеспечивающий шаг 1-й секции в 0,5 м (рисунки 4-6).

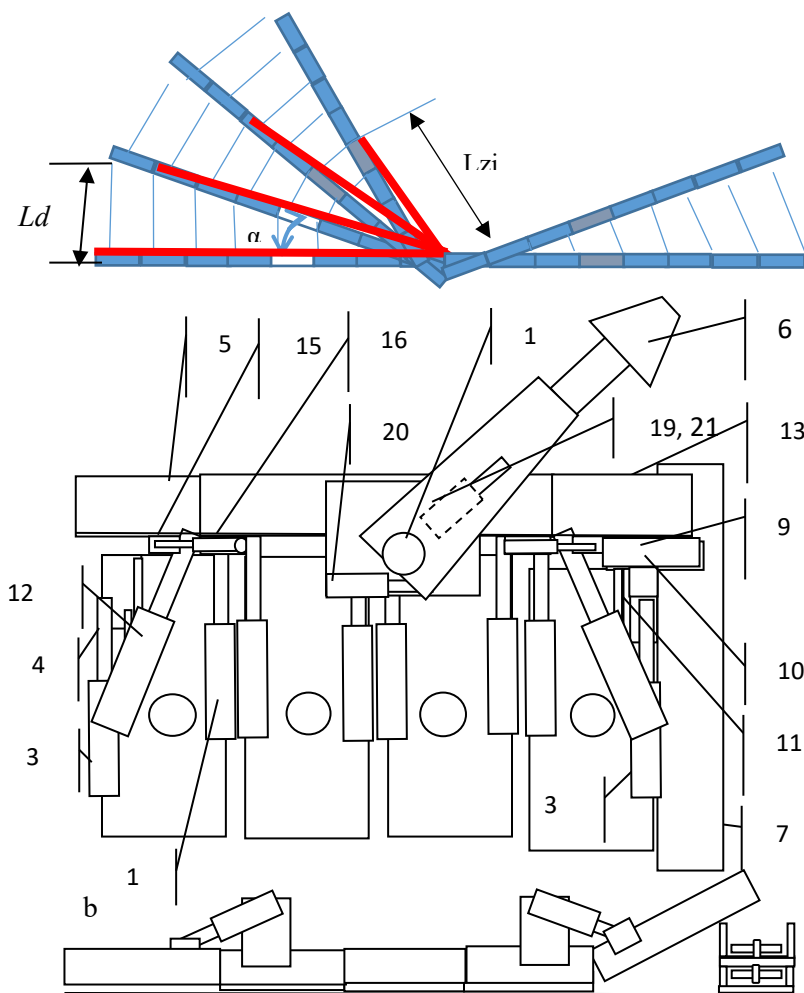


Рисунок 4. Манипуляции погрузчика и агрегата при развороте камеры

Примечание – составлено авторами на основе евразийского патента № 034478

В ИС созданы и дополнительные таблицы для управления передвижением секций – роботов. Конструкция агрегата (рис. 4, b), а также содержание евразийского патента №. 034478 показывают, что такая технология разворотов вполне осуществима для типового

стреловидного комбайна. Заметим также, что в КарТУ имеется и опыт его применения с базы скребкового конвейера в условиях ш. Долинской. Для аналитического описания вначале рассматриваем разворот на угол α , например, в $1,435^\circ$, при котором шаг передвижки крайней секции равен стандартному захвату лавного комбайна 0,5 м, затем ситуацию повторяем до полного поворота на 180° , табл. 1. Шаг возможной передвижки секции, отстоящей от центра разворота на расстояние $Dy_i = Lzi * \sin \alpha$, по мере приближения к центру будет уменьшаться. Здесь Lzi – длина участка при развороте агрегата малыми углами α , для которого определяется шаг передвижения секции с номером i . Но передвижка осуществляется при условии, когда величина шага станет больше или равной стандартному 0,5 м (рис. 2). Расчетные шаги фиксируются в процессоре ЭТ (рис. 5), а команда на включение передвижки выдается в момент достижения установленной величины, и в ячейку, где это произошло, вставляется 1, например, в ячейку AD8, отмеченную прямоугольником.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	ход домкрата	диаметр поршня	диаметр штока	площадь поршня	площадь штока	коэффициент полезного действия	производительность н.с. СНЕ	производительность н.с. ЕНР	количество секций до рассматриваемой	Длина лавы	время включения распределителей	время на снятие и распор гидростоек	ширина секции и крепи	Длина заходки	Ширина
2	Ld	Dp	Dst	Sp	Sst	1 Q CHE	2 Q EHP	3 Q EHP	4 Q EHP	LI	tras		b	55	L
3	0,5	0,16	0,1	0	0,015	0,003	0,00515	0,00515	0,00515	200	1,5	10	1,5	55	7,5
4	М	М	М	М ²	М ²	проц	проц	проц	проц	М	сек	сек	М	М	5,2
5															
7	время движения поршня при выдвигании, сек, н.с. 1, $t_{вд}$					3,34933333	1,951068	1				14,4			
8	время движения поршня при втягивании, сек, н.с. 1, $t_{вт}$					2,512	1,463301	2				9900			
9	время движения домкрата, сек, н.с. 1					5,86133333	3,4143689	3				2000			
a	время движения домкрата, и распор											суммарная добыча с			

Lzi	20	$t_{влш} = (S4/S4M4)*G10 + (J4/25)*60 = \text{колич. Секций} * t_{п1} + \text{время на крепление нарушений (норматив на одно 60 сек)}$ $Q_{нс1} = J54*B54*3*3/J11 \text{ (вес добычи за 1 шар) } / t_{влш}$													
7,5,1	5:20	разворот в пределах 20 гр. Порциями через 4 гр. проекция на вертик. ось длины от ц. поворота до передвижаемой секцию, включая её саму, почти шаг передви. 0,5006 1,00121 1,50181 2,00241 2,50302 1 0,46306 0,92583 1,06601 1,53118 1,98896 3 0,42551 0,85076 0,97957 1,40703 1,82769													
		$-S0S4*\sin(S56*3,14/180)$ 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1													

Рисунок 5. Фрагменты состояния электронной таблицы при расчете эффективности камерной технологии и сравнении с лавой в сложных условиях: а – левая часть с исходными данными и результатами, б – правая часть (смещена вниз) для управления передвижкой

Примечание – составлено авторами на основе программирования в MS Excel

Таким образом при развороте лишних операций по додвижке секций не возникает и его осуществление мало чем отличается от линейной передвижки. Ячейки таблицы содержат формулы для расчета проекции на ось нормальную к оси погрузчика, равную расстоянию L_{zi} от передвигаемой секции до центра поворота для каждого из его положений. Шаги по величине α выбраны так, чтобы для первой секции слева величина $Dy1 = Ld$ была равна установленному шагу передвижки. Включение домкрата наступает в момент, когда логическим оператором анализа состояния величины передвижения в ячейку будет сброшена 1, что происходит при условии «ЕСЛИ ($T12\text{-СУММ}(AC12:AG12)*B4 \geq B4; 1; 0$)».

Из всех возможных вариантов расчета критерий начала передвижки секции крепи принят как разница между суммарным ходом поршня домкрата (функция $\text{СУММ}(AC12:AG12)$) и величиной, определяемой количеством реальных передвижек, уже совершенным этим домкратом ($\text{СУММ}(AC12:AG12)$), умноженным на B , при условии, что он станет больше или равным шагу передвижки. Получив 1, процессор переключит шток домкрата на втягивание, но предварительно секция вначале будет снята с распора, а после вновь расперта. В остающихся неподвижными секциях вслед за перемещающимся погрузчиком происходит вытягивание штоков, что должно быть учтено в работе электрогидравлической роботизированной системы, проектируемой на основе ф. Магсо. В камерах и на сопряжениях лавы имеем операции с крепями штреков для создания в выработанном пространстве транспортной выработки. Их количество и порядок возведения рассчитываются из (рис. 6). Для создания алгоритмов расчета показана последовательность выемки заходок, поворотов агрегата типа 10, где представлены и перецепления поворотного конвейера при пересечениях основного штрека.

По мере перемещения забоя из блока А и Б к выработке конец конвейера должен переместиться по стрелке 13 вправо за время t_{oc} , чтобы освободить проход агрегату в заходку В, затем поворотный конвейер 5, после перецепления с погрузчиком, вводится за агрегатом по стрелке 4 ($t_{прц}$). После отработки блока В с разворотом в блок Г поворотный конвейер по направлениям 6, 7 вновь выводится на основной штрек с перецеплением с погрузчиком для выемки очередного блока Д, а конвейер основного предварительно смещается вправо на L_{zl} .

Смещения конвейера основного штрека показаны тонкими прямыми, а развороты камеры дугообразными стрелками, направления отработки блоков показаны контурными стрелками. Далее работы проводятся аналогично. Расчет потерь минерала (они выделены в виде треугольников) между прежним и новым выемочным полем 9 дает величину в 2,3 %. Эти криволинейные целики служат дополнительной охраной для забоя. Два целика типа 11 у забоя сохраняют целостность, а затем в положении 12 при перемещении забоя обрушаются. Порядок формирования в выработанном пространстве транспортных выработок, закрепленных стационарно-переносной крепью (СПК) типа 14 и 8, с учетом (Zholmagambetov, et. al., 2023) позволяет оценить и интенсивность использования конвейеров. Работа агрегата (рисунки 4 и 6) производится так: с основного штрека агрегат с комбайном 6, погрузчиком 5 и секциями крепи внедряется в стенку и вынимает заходку А, за агрегатом, связанный с погрузчиком 5, движется поворотный конвейер 7, и отбитый минерал погрузчиком 5 грузится на конвейер 7, а с него на конвейер основного штрека. Если он установлен справа от заходок, то по мере выемки заходки он должен перемещаться на шаг заходки вправо. Возведение СПК, если это требуется, начинается сразу же с отбойкой минерала в блоке, далее штоки домкратов 4 и 12, расположенных по бокам секций, втягиваются, и секции, предварительно снятые с распора, с разворотом «причаливают» к погрузчику, и т.д. На концевых секциях и рештках 5 и 13 погрузчика

имеются специальные устройства 10 и 32 перецепления, проушины и домкраты подъёма 15, 16.

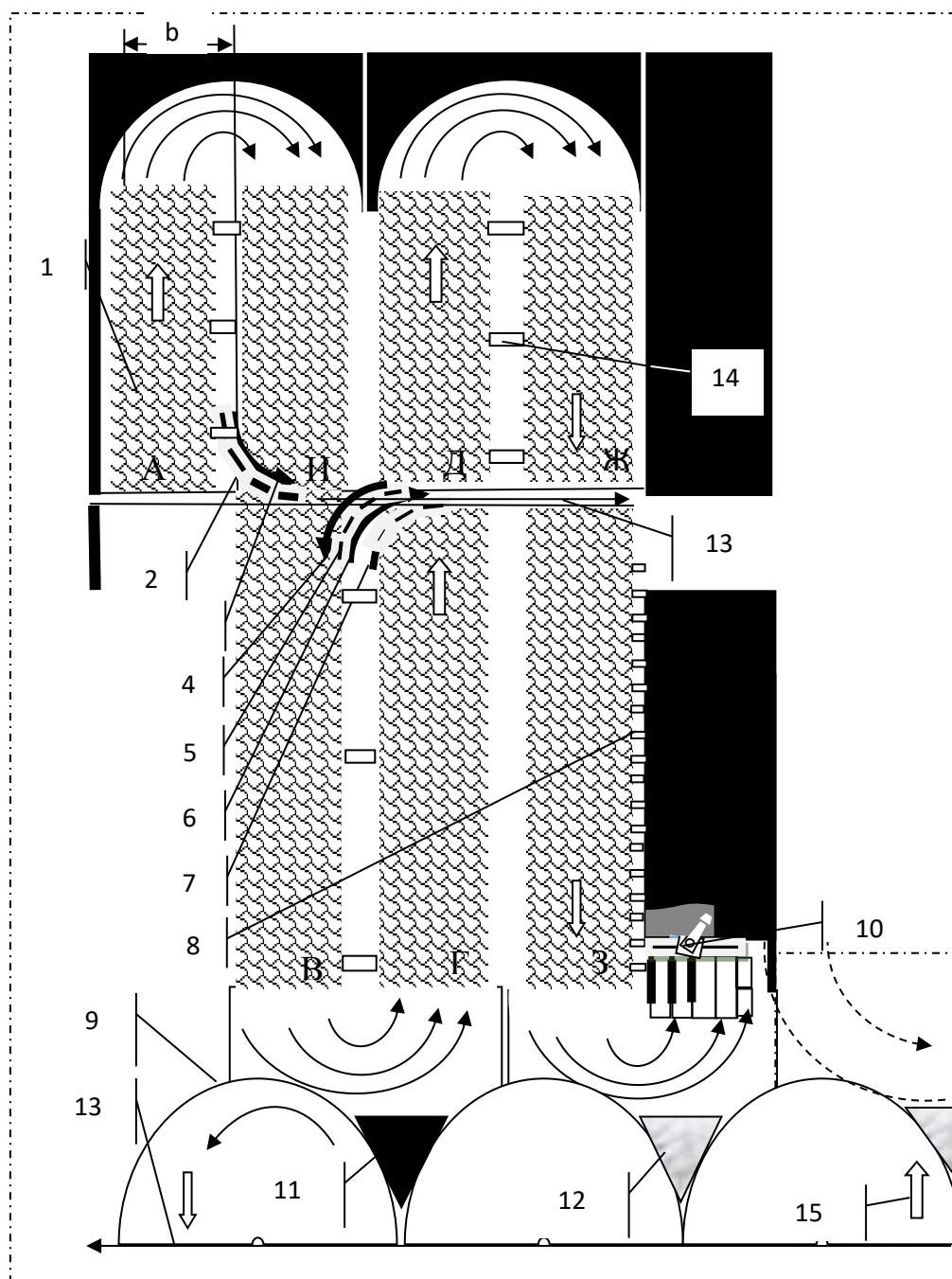


Рисунок 6. Схема движения камер

Примечание – составлено авторами на основе евразийского патента № 034478

Технология защищена патентами ЕАПО, и её можно применять для наклонных и крутых пластов, поскольку управление устойчивостью секций при выемке по простиранию пласта облегчено за счет их малого количества и наличия на секциях выдвигающих бортов и погружных контуров с возможностями их распора в бока соседних секций и внедрения в почву пласта. Причем факт менее производительной работы

стреловидного комбайна 10 по сравнению с лавным шнековым преодолевается возможностью безопасной подрубки пласта (Акижанова и др., 2023; Ройтер и др., 2021). Для камеры коэффициент машинного времени стреловидного комбайна существенно больше, чем в лаве, и он реализует свою производительность практически полностью, а в лаве она сдерживается недостаточной скоростью движения системы конвейер – крепь, особенно при наличии нарушений. Учтено и время перекрепления сопряжений и возведения крепи транспортной выработки T_{ks} . Поэтому в ЭТ внедрено дополнение (расчеты для насосных станций двух типов СНЕ и ЕНР):

$$T_{ks} = (T_d + n * T_{gs} + T_{zr}) * L_k / t_{spk}, \quad (4)$$

где T_d , n , T_{gs} , T_{zr} , L_k , t_{spk} – время на доставку СПК к зоне установки – 20 с; количество гидростоек и время раздвижки одной, время на подготовительно-заключительные работы; длина камеры – заходки, шаг установки СПК. Время раздвижки гидростойки:

$$T_{gs} = (3,14 * D_n^2 / 4) * L_{zc} / Q_{che} + t_{ras}, \quad (5)$$

где D_n , L_{zc} , Q_{che} – диаметр поршня, величина выдвигания, производительность насосной станции.

Исходя из диаграмм на рисунке 7 и данных на рисунке 8, суточная производительность практически не изменяется для длин лав от 100 до 200 м.

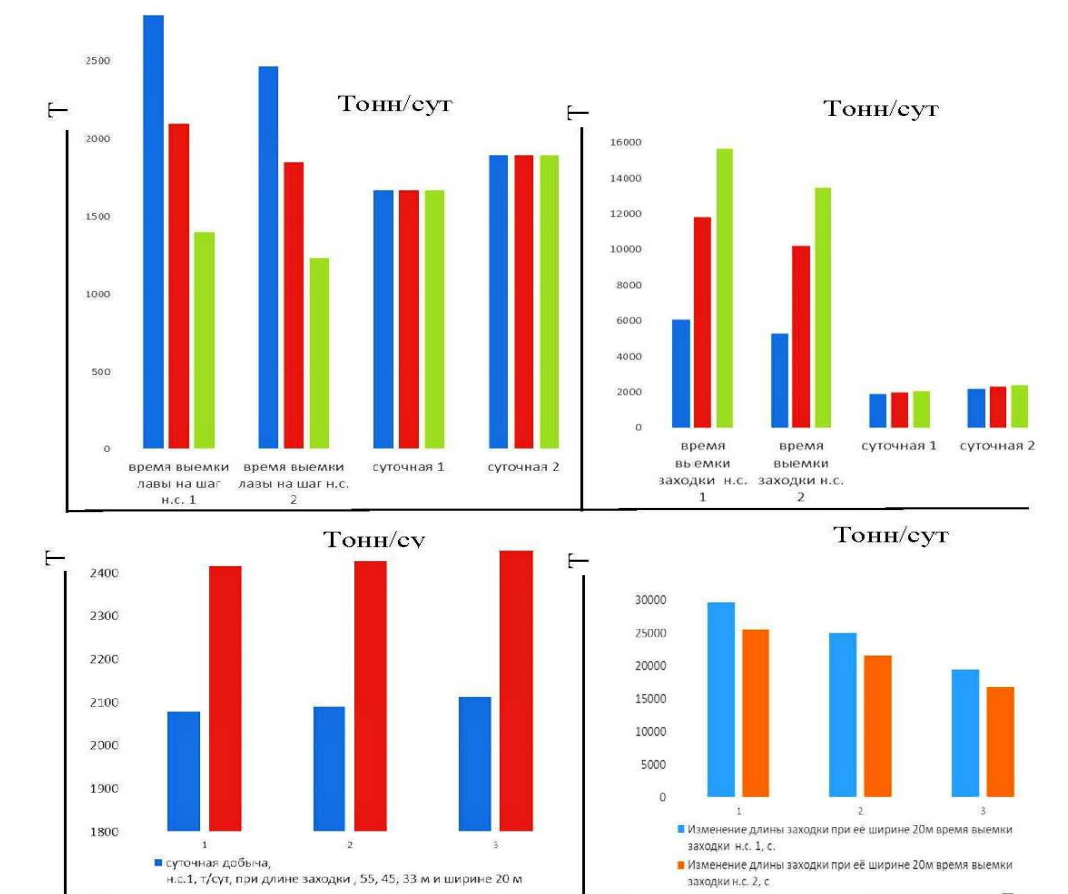


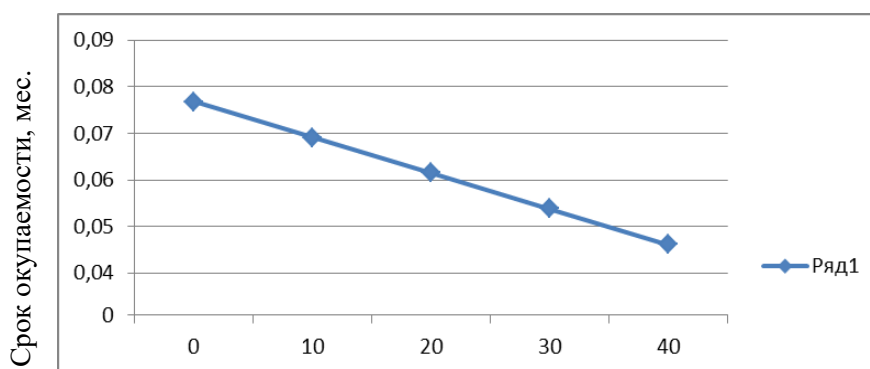
Рисунок 7. Диаграммы зависимости суточной добычи для сложнозалегающих месторождений

Примечание – составлено авторами (MS Excel, 2010)

Уменьшение длины лавы в сложных условиях компенсируется уменьшением количества нарушений. В соответствии с расчетом суточная добыча с камер выше на 11-12 %. С увеличением ширины камеры показатели улучшаются незначительно, что объясняется и соответствующим повышением радиуса разворота. Показатели на одного рабочего очистного забоя в камере еще выше, чем в лаве из-за уменьшения обслуживающего персонала и оборудования. Эти данные подтверждаются и опытом разработок США. Потери же минералов не более чем для лав. Уменьшается и количество оборудования в забое. Если ранее применялось 133 секции крепи шириной 1,5 м на лаву длиной 200 м, то в камере их количество можно сократить при ширине заходки 20 м в 10 раз, а вес каждой секции составляет до 7 тонн, и на ней 6-7 дорогостоящих гидроцилиндров. При этом работы по выемке можно начать при капитальных вложениях, в несколько раз меньших. Таким образом, длительность цикла позволяет простыми и точными методами определить эффективность и перспективные направления технологий.

Важным дополнением к нему является экономический анализ, позволяющий определить эффективность и срок окупаемости технологий, рис. 8. Такая методика также внедрена в ИС ЭТ и позволяет оценить любой сценарий для комплекса оборудования.

	A	B	C	D	H	I
14		Себестоимость применяемого оборудования (1 единица шахтного самоходного вагона) и конвейера, тыс. тенге C1 и C2:		174755	$\Delta = \left[3_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{0,25 + E_n}{0,20 + E_n} + \frac{(I' - I'_2) - E_n \cdot (K'_2 - K'_1) + \Delta_{\text{кзс}}}{0,20 + E_n} - 3_2 \right] \cdot A_2$	
15		Стоимость производственных фондов на 1 тенге себестоимости товарной продукции для шахтного самоходного вагона, тенге (1), и предлагаемого скребкового конвейера, тенге a1, a2	1,05	1,065	Годовые размеры амортизационных исчислений нового оборудования, тыс. тенге	2628,8
16		Предпроизводственные капитальные затраты, тыс. тенге		570	Срок окупаемости	0,07677



Уменьшение себестоимости в %

Рисунок 8. Фрагмент системы расчета годового эффекта и изменение срока окупаемости поворотного конвейера за счет сокращения его себестоимости (длины камеры 33 м)

Примечание – составлено авторами (MS Excel 210)

Все формулы введены в столбцы D и I . Так, для схемы (рис. 4) определено изменение срока окупаемости поворотного конвейера при снижении его себестоимости. Его пропорциональное уменьшение отражает возможность устранить факторы, связанные с дополнительными затратами на новую технику, что вполне реально.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены данные о возможности существенного повышения нагрузки на секции у забоя лавы в сложных условиях. В этом случае камерные технологии с маневрированием агрегата (конструкция и технология работ защищены евразийскими патентами) позволяют вести эффективную разработку и сократить количество секций более чем в 10 раз и, соответственно, объемы капитальных вложений. Роботизация сокращает перерывы между операциями и особенно при разворотах секций, производя их перемещение при достижении стандартной величины шага передвижки (0,5 м). Длительность технологического цикла движения конвейеров и крепи в цикле выемки – основной момент эффективности технологий. Она определяется скоростью движения погрузчика и секций роботизированной крепи, которая отстает от выемки угля. При меньшей длине транспортирования длительность использования транспортного оборудования и крепления камер, пропорциональная объему добытого минерала, соответственно превышает лавную, что требует и соответствующих подходов к проектированию и повышению надежности оборудования и, в частности, обеспечения точности расчетов нагруженности забоя и секций крепи на основе предложенного метода конечных элементов. Эти данные подтверждаются и опытом разработки США, где специально для камер разработан ленточный поворотный конвейер. Процент же потерь минералов не превышает потери при лавной добыче. В разработанной ИС расчет эффективности легко выполняется при изменении любого основного параметра и для различных сценариев технологии работ, которые позволят вовлечь в добычу запасы с объемом не менее уже добытых.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Данная статья подготовлена в рамках проекта грантового финансирования научных исследований Министерством науки и образования по теме № АРН05134441 «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного конвейерного узла с поворотом потока груза под углом до 90 градусов в плоскости выработок для забойных и криволинейных горных работ».

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ: Все необходимые данные содержатся в статье.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность коллегам за методологическую поддержку и полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Edward, S. E., Idowu, I. O., John, O. O., & Abdulwahab, G. (2022). Modelling and simulation of an adsorption process using activated carbon from coconut shells. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 17(9), 932–946. <https://apastyle.apa.org/instructional-aids/reference-examples.pdf>
- Łukasz, B. (2022). Dynamic model of a longwall shearer with a chain haulage system. *Acta Montanistica Slovaca*, 27(3), 589–606.
- Meshkov, A.A., Kazanin, O.I., & Sidorenko, A.A. (2021). Improving the efficiency of the technology and organization of the longwall face move during the intensive flat-lying coal seams mining at the Kuzbass mines. *Journal of Mining Institute*, 5, 342–350. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.3>
- Mun, F. (2024). Excel formulas and functions. Independently Published. <https://dtf.ru/topraining/3264197-luchshie-knigi-po-excel-top-10-reiting>

- Акижанова, Ж. Т., Жетесова, Г. С., Бейсембаев, К. М., Буялич, Г. Д., & Нокина, Ж. Н. (2023). К методике расчета горного давления у короткого забоя. Уголь, 7, 50–55. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-7-50-55> // Akizhanova, Zh. T., Zhetesova, G. S., Beisembaev, K. M., Buyalich, G. D., & Nokina, Zh. N. (2023). K metodike rascheta gornogo davleniya u korotkogo zaboya [On the method for calculating rock pressure at a short face]. Ugol', 7, 50–55. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-7-50-55> (In Russ.)
- Андреева, Л.И. (2021). Методический подход к оценке состояния горной техники и целесообразного срока ее эксплуатации. Горное оборудование и электромеханика, 6(158), 38–43. // Andreeva, L.I. (2021). Metodicheskiy podkhod k otsenke sostoyaniya gornoj tekhniki i tselesoobraznogo sroka ee ekspluatatsii [Methodological approach to assessing the condition of mining equipment and the appropriate period of its operation]. Gornoe oborudovanie i elektromekhanika, 6(158), 38–43. (In Russ.)
- Анферов, Б.А., & Кузнецова, Л.В. (2021). Разработка трудноизвлекаемых запасов угля крутых и крутонаклонных пластов. Вестник Кузбасского государственного технического университета, 5(147), 91–101. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-5-91-101> // Anferov, B. A., & Kuznetsova, L. V. (2021). Razrabotka trudnoizvlekaemykh zapasov uglya krutykh i krutonaklonnykh plastov [Development of hard-to-recover coal reserves in steep and steeply inclined seams]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 5(147), 91–101. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-5-91-101> (In Russ.)
- Арский, А. А. (2021). Повышение эффективности методики комплексного экономического анализа. Вестник МФЮА, 2, 7–11. https://doi.org/10.52210/2224669X_2021_2_7 // Arskiy, A. A. (2021). Povyshenie effektivnosti metodiki kompleksnogo ekonomicheskogo analiza [Improving the efficiency of the methodology for comprehensive economic analysis]. Vestnik MFYuA, 2, 7–11. https://doi.org/10.52210/2224669X_2021_2_7 (In Russ.)
- Айталиев, Ш.М., Алексеева, Л.А., Дильдабаев, Ш.А., & Жанбырбаев, Н.Б. (1992). Метод граничных интегральных уравнений в задачах динамики упругих многосвязных тел. Гылым // Aytaliev, Sh. M., Alekseeva, L.A., Dildabaev, Sh.A., & Zhanbyrbaev, N.B. (1992). Metod granichnykh integral'nykh uravneniy v zadachakh dinamiki uprugikh mnogosvyaznykh tel [The method of boundary integral equations in problems of dynamics of elastic multiply connected bodies]. Gylym. (In Russ.)
- Козлов, В.В. (2010). Анализ существующих классификаций технологических схем с разворотом лавы. Уголь, 3, 57–63. // Kozlov, V.V. (2010). Analiz sushchestvuyushchikh klassifikatsiy tekhnologicheskikh skhem s razvorotom lavy [Analysis of existing classifications of technological schemes with longwall face rotation]. Ugol', 3, 57–63. (In Russ.)
- Канлыбаева, Ж.М. (1965). Закономерности и методика изучения процесса сдвижения горных пород в массиве и некоторые вопросы подземных разработок: На примере Карагандинского бассейна [Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Институт горного дела им. А.А. Скочинского]. Москва. // Kanlybaeva, Zh.M. (1965). Zakonomernosti i metodika izucheniya protsessa sdvizheniya gornykh porod v massive i nekotorye voprosy podzemnykh razrabotok: Na primere Karagandinskogo basseyna [Patterns and methodology for studying the process of rock displacement in a massif and some issues of underground mining: Based on the Karaganda Basin] [Doctoral dissertation abstract, A.A. Skochinsky Institute of Mining]. Moscow. (In Russ.)
- Никонова, Т.Ю., Жетесова, Г.С., Бейсембаев, К.М., Абдугалиева, Г.Б., Жаркевич, О.М., & Скаскевич, А. А. (2024). Камерная выемка минералов в сложных горно-геологических условиях без выбросов углерода. Уголь, 2, 57–63. // Nikonova, T.Yu., Zhetesova, G.S., Beisembaev, K.M., Abdugalieva, G.B., Zharkevich, O.M., & Skaskevich, A.A. (2024). Kamernaya vyemka mineralov v slozhnykh gorno-geologicheskikh usloviyakh bez vybrosov ugleroda [Room mining of minerals in complex mining and geological conditions without carbon emissions]. Ugol', 2, 57–63. (In Russ.)
- Новоселов, С.В. (2021). Оптимизация производственного цикла в очистном забое сверхкатегорных угольных шахт. Уголь, 4, 40–42. // Novoselov, S.V. (2021). Optimizatsiya proizvodstvennogo tsikla v ochistnom zaboe sverkhkategornykh ugol'nykh

shakht [Optimization of the production cycle in a longwall face of extra-hazardous coal mines]. Ugol', 4, 40–42. (In Russ.)

Ройтер, М., Крах, М., Кислинг, У., & Векслер, Ю. А. (2021). Разработка метода сейсмоакустического мониторинга динамических явлений в очистных забоях угольных шахт. ФТПРПИ, 1, 28–35. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210104> // Royter, M., Krakh, M., Kisling, U., & Veksler, Yu. A. (2021). Razrabotka metoda seysmoakusticheskogo monitoringa dinamicheskikh yavleniy v ochistnykh zaboyakh ugol'nykh shakht [Development of a method for seismic-acoustic monitoring of dynamic phenomena in longwall faces of coal mines]. FTPRPI, 1, 28–35. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210104> (In Russ.)

Федунец, В.И., & Симонов, В. М. (1982). Эффективность отработки пологих пластов. Недра. <http://opac.skunb.ru/app/webroot/index.php?url=/notices/index/IdNotice:1331372/Source:default> // Fedunets, V.I., & Simonov, V.M. (1982). Effektivnost' otrabotki pologikh plastov [Efficiency of mining gently dipping seams]. Nedra. <http://opac.skunb.ru/app/webroot/index.php?url=/notices/index/IdNotice:1331372/Source:default> (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Жетесова Гульнара Сантаевна – техника ғылымдарының докторы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

Жетесова Гульнара Сантаевна – доктор технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Zhetesova Gulnara Santaevna – Doctor of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: zhetesova@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6504-3405>,



Бейсембаев Каким Манапович – техника ғылымдарының докторы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

Бейсембаев Каким Манапович – доктор технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Beisembayev Kakim Manapovich – Doctor of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: kakim1949@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0954-2936>



Нокина Жаннель Нуртаевна – PhD докторы, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

Нокина Жаннель Нуртаевна – доктор PhD, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Nokina Zhannel Nurtaevna – PhD, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail: zh.nokina@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0086-4293>



Абдугалиева Гульнур Баймурзаевна – техника ғылымдарының кандидаты, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

Абдугалиева Гульнур Баймурзаевна – кандидат технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Abdugaliyeva Gulnur Baimurzaevna – Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail: gulnura84@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3469-3901>.



Оразбеков Дархан – технологиялық машиналар және жабдықтар магистрі, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

Оразбеков Дархан – магистр в области технологических машин и оборудования, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Orazbekov Darkhan – Master's Degree in Technological Machinery and Equipment, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail: darik.krg@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1699-0676>