

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ГОРНОГО КОМБАЙНА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СКАЛЬНЫХ ПОРОД ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

И. М. Влащук, студ., В. Д. Воробьев, докт. техн. наук, А. И. Крючков, канд. техн. наук (НТУУ «КПИ»), Р. М. Сидор, инж. (ОАО «Николаевцемент»)

Наведено результати випробувань комбайна Wirtgen 2200 SM на вапняковому кар'єрі ВАТ «Миколаївцемент». Встановлено залежності зміни фракційного складу гірничої маси від режиму роботи комбайна і потужності шару порід, що фрезерується.

Ключові слова: гірничий комбайн, гранулометричний склад, вапняк, кар'єр, режим роботи, екологічна оцінка, ефективність.

Приведены результаты испытаний комбайна Wirtgen 2200 SM на известняковом карьере ОАО «Николаевцемент». Установлены зависимости изменения фракционного состава горной массы от режима работы комбайна и мощности фрезеруемого слоя пород.

Ключевые слова: горный комбайн, гранулометрический состав, известняк, карьер, режим работы, экологическая оценка, эффективность.

Surface miner Wirtgen 2200 SM testing results at the limestone quarry of PC "Nikolaevcement" are given. The dependence of changes in fractional composition of the rock mass on the operating mode of coal miner and the thickness of rock layer being cut is set.

Key words: coal miner, fractional composition, limestone, quarry, operation mode, environmental assessment, effectiveness.

Введение. Разрушение скальных пород на открытых и подземных разработках месторождений полезных ископаемых с помощью буровзрывных работ (БВР) до сих пор остается в ряду важнейших проблем горной науки. На открытых горных работах (карьерах, разрезах) БВР практически полностью обеспечивают проектные объемы получения горной массы. На угольных шахтах при проведении горизонтальных и наклонных выработок на долю БВР приходится 54,5 %, при проходке вертикальных стволов и скважин большого диаметра – 99 % [1]. Эта технология является практически единственной высокоэффективной и остается доминирующей в ближайшей перспективе [2]. Однако, несмотря на достигнутые в последнее время положительные результаты использования взрывного способа разрушения пород, он оказывает серьезное негативное влияние на рабочую зону горнодобывающих предприятий и состояние окружающей среды. Достоинства и недостатки этого способа хорошо известны [3]. Попытки научного обоснования и создания на этой основе высокоэффективных альтернативных способов разрушения скальных пород, исключающих присущие взрывному способу недостатки, в достаточной степени еще не разработаны и не реализованы в практике.

Если для проходки подземных горных выработок создан типоразмерный ряд комбайнов нового технического уровня типов КПД, КПУ, КПЛ, КПр, КПА [4], то для открытой разработки скальных пород механический способ их разрушения находится в стадии зарождения и пока что не получил широкого распространения. Причиной этого, как справедливо указывает проф. Г. Г. Литвинский [5], являются «не экономические трудности, а накопившиеся острые

технические противоречия в традиционной технике и технологии, которые многими специалистами не только не решаются, но даже до сих пор не осознаны». Для преодоления технических противоречий, как отмечается далее в работе [5], необходимо отказаться от привычных, традиционных подходов, искать новые решения, что позволит ставить актуальные задачи для разработки новых перспективных направлений в различных отраслях горнодобывающей промышленности. Разработка и внедрение горных машин для механического разрушения скальных пород на открытых горных работах позволит значительно повысить эффективность и безопасность работы карьеров и разрезов.

В качестве альтернативы традиционному буровзрывному способу разрушения массивов скальных пород немецкой компанией Wirtgen GmbH создана технология Surface Mining с использованием горных комбайнов [6]. В самых различных условиях применения этих комбайнов установлены их преимущества в отношении производительности, экономичности и охраны окружающей среды.

Поэтому внедрение нового механического способа разрушения скальных пород с обоснованием параметров системы разработки и ее элементов представляет важную научно-практическую задачу горной промышленности.

Анализ состояния проблемы. Анализ отечественных и зарубежных достижений науки и практики в области механического разрушения скальных пород с помощью горных комбайнов в условиях открытой разработки полезных ископаемых в настоящее время сопровождается известными трудностями. Имеется ряд публикаций общего характера [7–10], отражающих результаты испытаний на карьерах по добыче известняка, угля, гипса, железной руды и в особых случаях – соли, гранита, бокситов, фосфатов и горючих сланцев (табл. 1).

Опытно-промышленные испытания комбайнов проводились в Индии, Турции, США, России, Австралии, Японии, Гвинее, Эстонии и Украине.

Компания Wirtgen GmbH разрабатывает и производит комбайны с 70-х годов прошлого века и за эти годы стала известным во всем мире лидером в технологии Surface Mining. На сегодняшний день более 280 таких комбайнов работают на многих континентах [10] (см. табл. 1).

Комбайн 2200 SM с передним расположением конвейера имеет рабочую ширину от 2,20 до 3,80 м и может использоваться для разработки различных горных пород крепостью до 50 МПа. Его можно применять для добычи гипса, мягкого известняка, угля. Специальный фрезерный агрегат с рабочей шириной 3,80 м обеспечивает максимально эффективную разработку мягких пород, таких как уголь.

Комбайн 2500 SM с расположенным спереди конвейером рассчитан на добычу пород средней и высокой крепости с прочностью на сжатие до 80 МПа при ширине фрезерования 2,50 м, на глубину до 60 см. Для специального применения 2500 SM может быть соответственно усилен, что позволяет с его помощью разрабатывать породы крепостью 120 МПа и более. Комбайн может использоваться при селективной выемке полезных ископаемых.

Таблица 1. Основные показатели при испытаниях комбайнов Wirtgen

Модель	Ширина резания, мм	Глубина резания, мм	Мощность двигателя, кВт	Рабочая масса, даН (кг)	Место испытаний
2200 SM	2200	0–300	708	49080	Рудник Дебеле и Фрия (Гвинея); карьеры Лакханпур, Бхаратпур, Лайнгрей и Аданакуручи (Индия); Джегутинский карьер ОАО «Кавказцемент», Восточно-Бейское и Пятовское месторождения (РФ); разрез Kivioli (Эстония).
2500 SM	2500	0–600	783	100500	Карьеры Foreman (США), Лакханпур, Бхаратпур, Лайнгрей, Аданакуручи (Индия); разрез Kivioli (Эстония); рудник Фрия (Гвинея); карьеры Eurocement Group Holding, Джегутинский ОАО "Кавказцемент", ОАО «Липецкцемент» и ЗАО «Михайловцемент» (РФ).
4200 SM	4200	0–650	1194	208300	Карьеры Сан Мигуэль, Atascosa Mining Co. (США), Маунт Талей (Австралия).

Комбайн 4200 SM выпускается в двух исполнениях. Для мягких пород, например для угля или фосфатов с прочностью на сжатие до 50 МПа, глубина фрезерования может составлять до 83 см. При необходимости разработки пород средней и высокой крепости с прочностью на сжатие 120 МПа и более фрезерование ведется на глубину до 60 см [6].

В Украине в 2008 г. опытно-промышленные испытания комбайна Wirtgen 2200 SM были проведены на Добрянском месторождении известняка ОАО «Николаевцемент» (г. Николаев Львовской обл.) [11].

Целью работы является анализ результатов испытания горного комбайна при отработке скальных уступов в карьере, обеспечивающего исключение буровзрывных работ, экскавацию и механическое дробление горной массы на 1-ой стадии дробления на дробильно-сортировочном заводе.

Изложение основного материала. Добрянское месторождение известняка является сырьевой базой Николаевского цементного завода. Месторождение разрабатывается Добрянским карьером и имеет крупноблочное строение известняка с механической прочностью 20...35 МПа, естественной влажностью 9,2...11,5 %, объемной массой 2,2 г/см³.

Технология механической тонкослоевой разработки известняка комбайном Wirtgen 2200 SM с характеристиками, приведенными в табл. 2, была испытана на северо-восточном (гор. 276,1...273,8 м) и юго-восточном (гор. 306,73...305,7 м) участках карьера.

Размеры рабочей площадки при фрезеровании известняка изменялись: по ширине от 15 до 40 м, по длине от 60 до 150 м.

Таблица 2. Техническая характеристика комбайна Wirtgen 2200 SM

Наименование показателей	Значение показателей
Фрезерный барабан	
Ширина фрезерования, мм	2200
Глубина фрезерования/при укладке материала в «валок», мм	0...300/0...250
Линейное расстояние между резцами, мм	38
Количество резцов, шт.	76
Диаметр окружности резания, мм	1115
Максимальный угол наклона, град.	5
Двигатель	
Изготовитель	Caterpillar
Тип	3412E
Охлаждение	Жидкостное
Число цилиндров, шт.	12
Мощность, кВт /л.с.	671/913
Частота вращения, мин ⁻¹	2100
Рабочий объем, см ³	27000
Расход топлива при полной нагрузке, л/ч	165
Расход топлива при 2/3 нагрузки, л/ч	110
Ходовые характеристики	
Скорость движения, м/мин (км/ч)	0...84 (0...5)
Теоретически преодолеваемый подъем, %	90
Дорожный просвет, мм	370
Весовые характеристики	
Нагрузка на передний мост при полной заправке, даН (кг)	25430...26105
Нагрузка на задний мост при полной заправке, даН (кг)	25350...26025
Собственная масса, даН (кг)	44500...45850
Рабочая масса по СЕ, даН (кг)	47730...49080
Рабочая масса при полной заправке, даН (кг)	50780...52130
Заправочные емкости	
Топливный бак, л	1500
Бак гидромасла, л	500
Водяной бак, л	5000
Конвейер	
Ширина ленты приемного конвейера, мм	1100
Ширина ленты разгрузочного конвейера, мм	1100
Теоретическая производительность конвейера, м ³ /ч	668
Размеры и масса при перевозке	
Машина (Д×Ш×В), мм	9600×2800×3000
Разгрузочный конвейер (Д×Ш×В), мм	8700×1700×1300
Верхняя часть кабины (Д×Ш×В), мм	2550×3300×1500
Усиливающая конструкция (Д×Ш×В), мм	4350×2250×1700
Масса машины, даН (кг)	41700

Анализ представленного опыта использования комбайнов Wirtgen позволяет выделить две основные схемы ведения выемочно-погрузочных и последующих транспортных работ:

- боковая отсыпка отфрезерованной горной массы в штабеля, которая может осуществляться при отработке комбайном нескольких параллельных полос с размещением сырья для целей усреднения в одном штабеле. Последующая отгрузка сырья из штабеля комплексом погрузочное средство–автосамосвал;

- выпуск материала сзади по ходу движения комбайна из рабочей камеры фрезерного барабана с образованием так называемых «валков» (схема «windrows»). Последующее штабелирование материала бульдозером и отгрузка сырья комплексом погрузочное средство–автосамосвал.

При разработке вскрышных пород первую схему удобно применять при проходке траншей или съездов с размещением пород на борту траншеи или за контуром карьера, а также при недостатке транспортных средств из-за небольшого грузопотока. Комбайн работает непрерывно, следовательно, нет потерь времени на ожидание автосамосвалов.

При ведении добычных работ по первой или второй схемам имеется возможность создания склада в карьере и действенного управления качеством сырья перед подачей на переработку. Необходимо учитывать, что применение этих схем требует переэкскавации горной массы и использования дополнительного погрузочного средства.

За время испытаний на карьере было добыто около 8,5 тыс. т известняка, из которых 71 % отправлено на завод и 29 % – на специально созданный склад. При указанных параметрах комбайна установлено, что свыше 87 % горной массы имеет фракционный состав менее 30 мм (табл. 3).

При фрезеровании известняка размеры рабочей площадки изменялись: по длине от 60 до 150 м, по ширине от 15 до 40 м. Погрузка горной массы производилась в автосамосвалы БелАЗ 7540 В при следующих паспортных данных горных работ (рис. 1):

угол откоса рабочего уступа, град.....	63...68;
угол устойчивого откоса рабочего уступа, град.....	70;
угол откоса уступа в погашении, град.....	50;
ширина заходки горного комбайна, м.....	2,5;
мощность фрезеруемого слоя пород, м.....	0...0,6;
ширина ступени между заходками, м.....	0,2...0,25;
скорость фрезерования породы, м/мин.....	8;
минимальный радиус поворота при фрезерования, м.....	50;
ширина обочины от предыдущей заходки, м.....	1,5.

Учитывая ограниченную длину рабочей площадки, фронтальные проходы длиной около 60...90 м комбайн выполнял по челноковой схеме, которая предусматривала после прохода возвращение комбайна обратным холостым ходом с последующим заездом на новую полосу – забой и фрезерование [11].

На основе хронометражных наблюдений в процессе испытаний комбайна фиксировались затраты времени на различные операции, определяющие его

Таблица 3. Фракционный состав горной массы при фрезеровании известняка

Глубина фрезерования, м	Рабочая скорость комбайна, м/мин									
	5					8			10	
0,20	Выход различных классов									
	Размер фракции, мм	масса, кг	доля, %	нарастающим итогом, %	масса, кг	доля, %	нарастающим итогом, %	масса, кг	доля, %	нарастающим итогом, %
	> 100	45,5	5,2	5,2	48,3	9,3	9,3	62,7	12,2	12,2
	+80...100	20,5	2,3	7,5	10,3	2,0	11,3	37,0	7,2	19,4
	+50...80	43,8	5,0	12,5	32,8	6,3	17,6	52,9	10,2	29,6
	< 50	770,8	87,5	100,0	427,1	82,4	100,0	363,3	70,4	100,0
	Всего	880,6	100,0	–	518,5	100,0	–	515,9	100,0	–
0,25	> 100	88,9	12,4	12,4	90,1	12,6	12,6	Фрезерование не проводилось		
	+80–100	40,3	5,6	18,0	47,7	6,7	19,3			
	+50–80	69,5	9,8	27,8	52,0	7,3	26,6			
	< 50	516,9	72,2	100,0	525,1	73,4	100,0			
	Всего	715,6	100,0	–	714,9	100,0	–			

производительность (рис. 2). К таким затратам относится время работы при фрезеровании, на маневры и замену автосамосвалов при их загрузке, простоев по разным причинам, заправку дизельным топливом и др. На рис. 2 указаны данные о длине рабочей площадки: 110...150 м при средней производительности 244 т/ч, и максимальной – 305,4 т/ч.

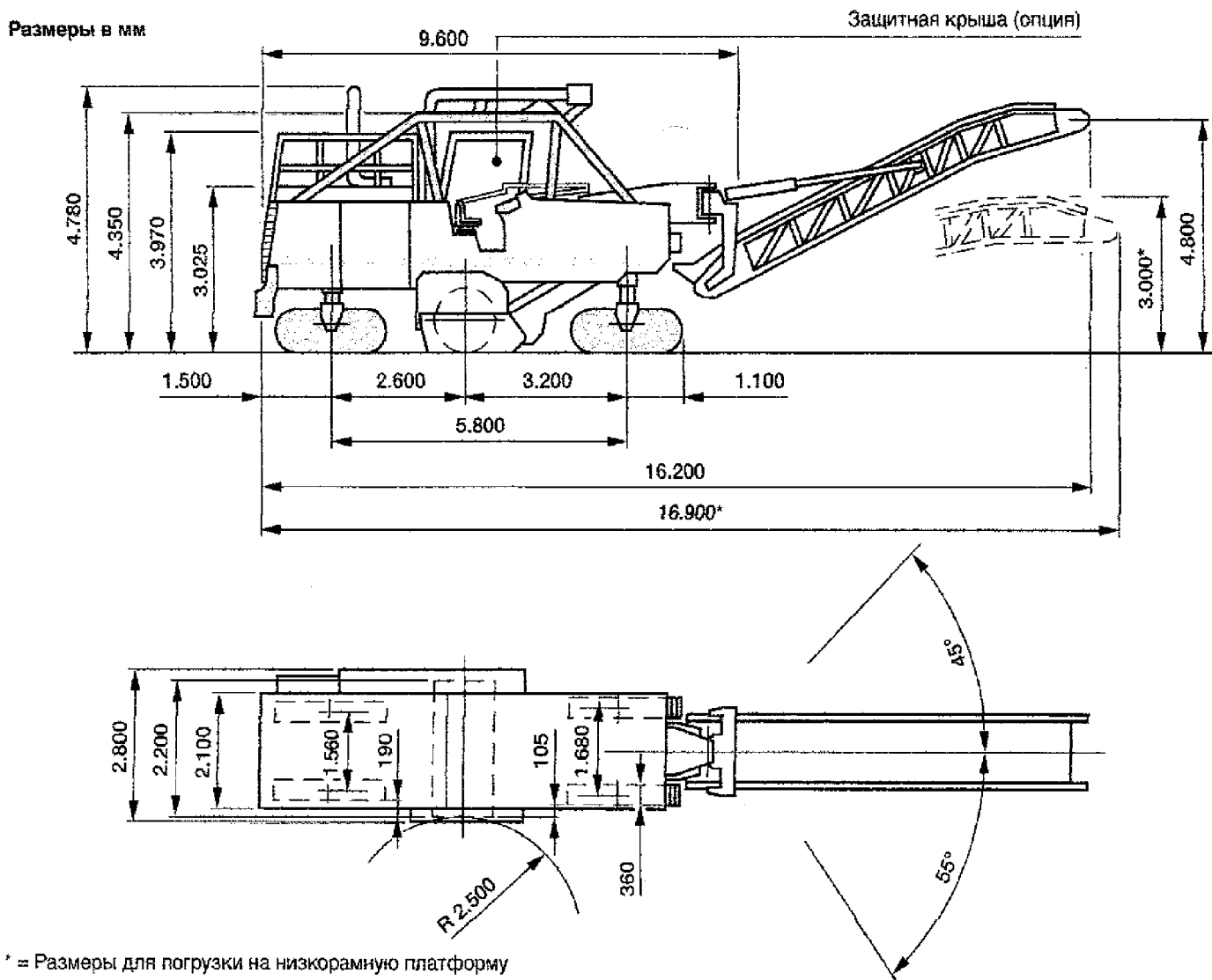


Рис. 1. Габаритные размеры комбайна Wirtgen 2200 SM

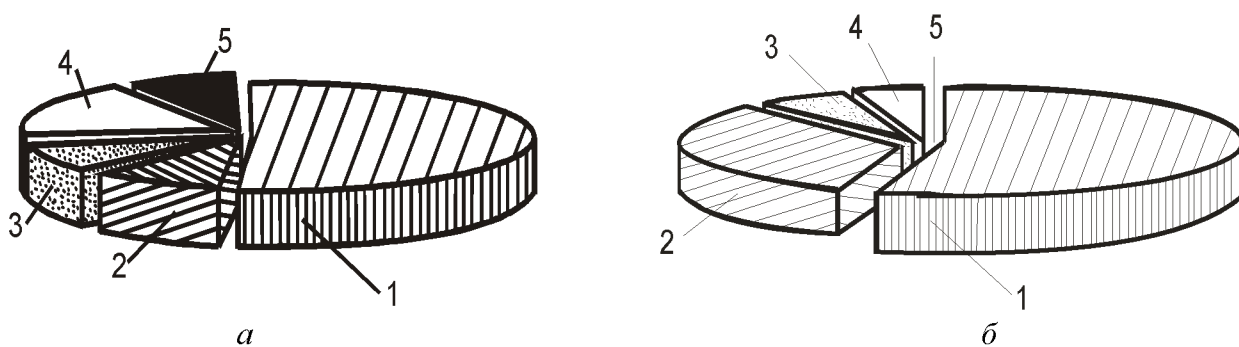


Рис. 2. Затраты рабочего времени при фрезеровании и погрузке горной массы при средней (а) и максимальной (б) производительности по операциям: 1 – фрезерование и погрузка – 52 и 65 %; 2 – маневрирование – 15 и 17 %; 3 – замена самосвала – 6 и 8 %; 4 – ожидание самосвала – 12 и 10 %; 5 – техническое обслуживание и обеспечение – 15 и 0 %

На рис. 3 показано изменение производительности фрезерования (П) известняка карьерным комбайном в течение 9 рабочих дней (Др).

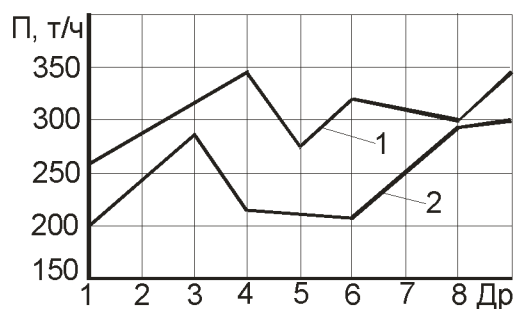


Рис. 3. Характер изменения эксплуатационной (1) и фактической (2) производительности при фрезеровании известняка комбайном на протяжении 9 рабочих дней

Среднее время погрузки горной массы в автосамосвалы грузоподъемностью 30 и 45 т находилось в пределах соответственно 3,75...4,2 и 5,1...5,4 мин. Маневрирование комбайна при длине фрезерования 90...150 м выполнялось за 6...10 мин, а холостой обратный ход – за 3...4 мин. Это обуславливает преимущество применения челноковой схемы с обратным холостым ходом и фрезерования в прямом направлении (рис. 4) [12].

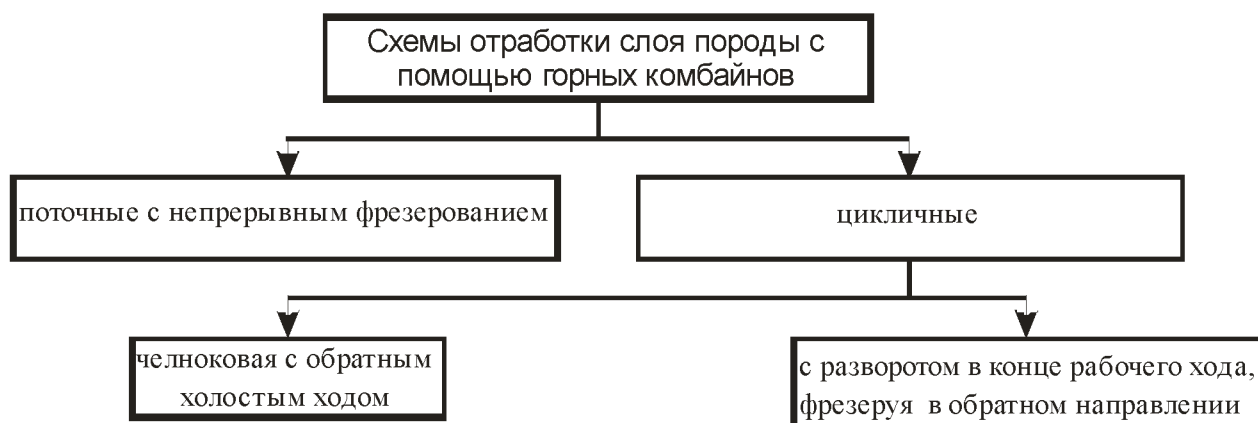


Рис. 4. Возможные схемы разработки месторождений полезных ископаемых с помощью горного комбайна

Минимальный радиус, при котором производится фрезерование, является критерием выбора одной из схем отработки. Для комбайна 2200 SM это значение составляет 13...17 м.

Для площадок шириной до 50 м целесообразно применять циклические схемы работы. Бермы и откосы уступов формируются автоматически в процессе работы комбайна при отработке каждого последующего слоя. В общем виде отработка слоя при этих схемах работы должна производиться из предварительно пройденных врубовых выработок, минимальная ширина которых определяется габаритами и рабочими параметрами комбайна.

Например, при челноковой схеме эта величина измеряется расстоянием от передней кромки рабочего органа до конца задней гусеницы плюс 1,5...2 м.

Очевидно, что при коротком фронте работ (100...150 м) предпочтительной является челноковая схема работы (рис. 5), поскольку время на поворот комбайна в конце рабочего хода больше, чем время обратного хода.

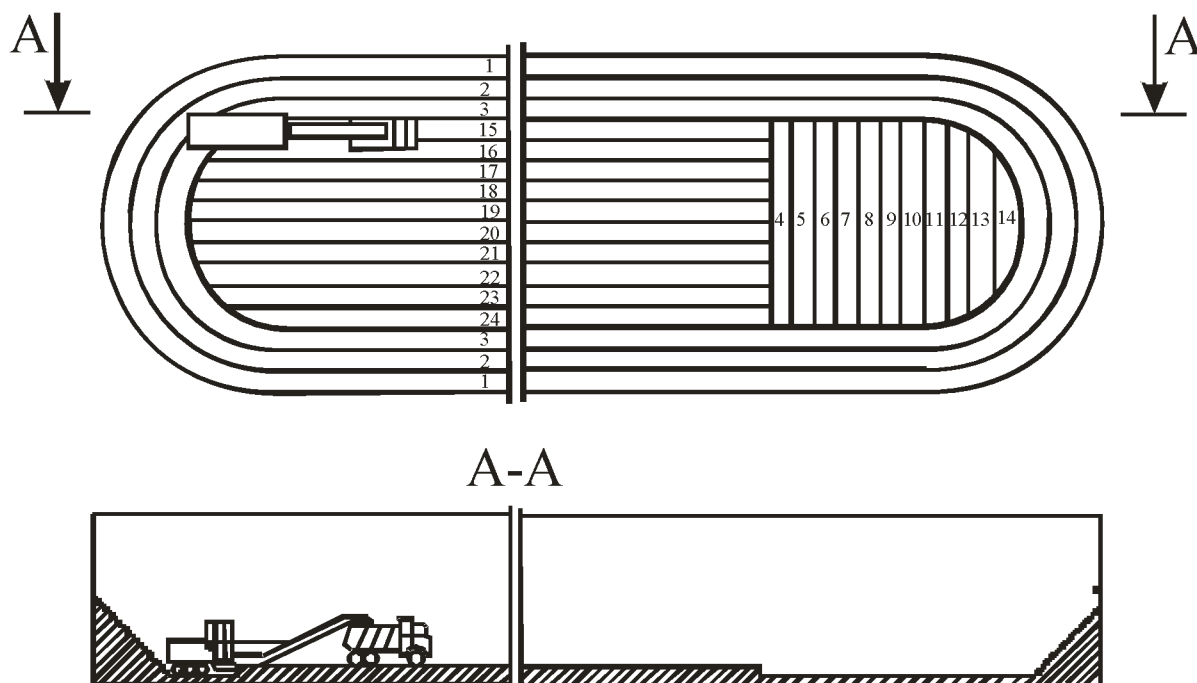


Рис. 5. Поочередность проходов комбайна при отработке слоя с длиной фронта работ до 150 м [12]

Рабочий цикл при отработке слоя включает:
заезд комбайна из врубовой выработки на полосу 15;
фрезерование этой полосы до въезда в противоположную врубовую выработку;
возвращение назад на транспортной скорости (40...50 м/мин) в исходное положение, после чего циклы повторяются.

При увеличении фронта горных работ целесообразна схема с разворотом и фрезерованием в обратном направлении. В этом случае ширина врубовых выработок должна обеспечивать безостановочный разворот комбайна при минимальном радиусе поворота [12].

При этом минимальная эксплуатационная производительность равнялась 260 т/ч, а максимальная – 350 т/ч, составляя в среднем 300 т/ч. Фактическая производительность при фрезеровании известняка изменялась в пределах от 200 до 300 т/ч. Эти показатели были достигнуты при фрезеровании слоя с толщиной 20 и 25 см и рабочей скорости комбайна около 10 м/мин [11].

Результаты сравнения показателей по буровзрывному и механическому способам разработки известняка на Добрянском карьере горным комбайном приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты сравнения показателей при буровзрывном и механическом способах разработки известняка горным комбайном

Название показателей	С помощью БВР	С помощью горного комбайна
Годовая производительность карьера, тыс. т	1500,0	1500,0
Сметная стоимость расходов, (тыс. грн) на:		
горное оборудование	25250,0	24000,0
дополнительное оборудование	1544,5	–
общая	26794,5	24000,0
Удельные капиталовложения на 1 т известняка, грн	17,8	16,0
Списочная численность работающих, в том числе рабочих, чел.	26	15
Годовые расходы (тыс. грн) на:		
электроэнергию	330,0	–
БВР	3615,0	–
дизельного топлива на 1 т известняка	870,0	3750,0
Общий годовой фонд зарплаты рабочих, тыс. грн	382,4	226,8
Себестоимость 1 т известняка, грн	21,3	18,7
Рентабельность, %	98,6	98,8

Полученные данные свидетельствуют о том, что общий годовой фонд зарплаты рабочих и себестоимость 1 т известняка уменьшатся соответственно на 40,7 и 12,2 % [11].

Следует отметить, что основной технологической особенностью этого принципиально нового для открытого способа разработки оборудования, является то, что забоем служит не уступ (при традиционной технологии), а поверхность горизонтальной или слабонаклонной площадки, где осуществляется тонкослоевая выемка [12].

Выводы. Результаты испытания горного комбайна Wirtgen 2200 SM показали целесообразность его использования для добычи полезных ископаемых с прочностью на сжатие до 50 МПа. Преимущества такой безвзрывной технологии заключается в том, что исключаются следующие операции: буровые работы, в том числе и вторичное взрывание (дробление негабарита); экскаваторно-погрузочные работы; механическое дробление горной массы на 1-й стадии дробления; снижение вредного воздействия на окружающую среду. Выбор каждой схемы отработки уступов должен уточняться в каждом конкретном случае в зависимости от технологических параметров карьеров.

1. Шкуматов А. Н. Модернизация буровзрывной технологии строительства горных выработок / Шкуматов А. Н.: Матер. междунар. научн.-техн. конф. [«Новые технологии подземного строительства и добычи полезных ископаемых»], (Алчевск, 11–13 апреля 2008 г.) / М-во образования и науки Украины, ДонГТУ [и др.]. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – С. 140–146.

2. Ефремов Э. И. Разрушение горных пород энергией взрыва / [Э. И. Ефремов, В. С. Кравцов, Н. И. Мячина и др.]; под ред. Э. И. Ефремова. – К.: Наук. думка, 1987. – 264 с.

3. *Ефремов Э. И.* Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / [Э. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко и др.]; под ред. Э. И. Ефремова. – Дніпропетровськ: Січ, 1996. – 180 с.
4. *Мизин В. А.* Типовые комплексы для скоростного проведения выработок / В. А. Мизин, В. С. Пальчик, С. В. Филипенко, М. В. Демченко // Уголь Украины. – 2008. – № 5. – С. 3–6.
5. *Литвинский Г. Г.* Вступительное слово / Литвинский Г. Г.: Матер. междунар. научн.-техн. конф. [«Новые технологии подземного строительства и добычи полезных ископаемых»], (Алчевск, 11–13 апреля 2008 г.) / Министерство образования и науки Украины, Донбас. гос. техн. университет [и др.]. – Алчевск: ДонГТУ, 2008. – С. 3–4.
6. *Интернет ресурс:* project.wirtgen.ru/.../HIGHLIGHTSMINING.RU.
7. *Интернет ресурс:* www.wirtgen.ru/ru/products/wirtgen/surface-miners/.
8. *Интернет ресурс:* www.nedra2004.ru/article/activity/exhibition/2008/.
9. *Интернет ресурс:* www.wirtgen.ru/ru/news-and-media/press-releases.
10. *Интернет ресурс:* www.wirtgen.ua/ – официальный сайт компании Wirtgen International GmbH.
11. *Иль А.* Горный комбайн Wirtgen 2200SM на Николаевском цементном заводе / А. Иль, И. И. Огоновский, М. Ю. Панкевич, Ю. Б. Панкевич, М. Пихлер // Горная промышленность. – 2008. – № 6. – С. 48–52.
12. *Панкевич Ю. Б.* Технология и схемы ведения горных работ при использовании комбайнов 2100 и 2200 SM фирмы Wirtgen GmbH / Ю. Б. Панкевич, М. Пихлер // Горная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 13–21.