

**МАШИННАЯ ДОБЫЧА ПРИРОДНОГО ГИПСА НА КАРЬЕРЕ**

Викладені результати промислових досліджень машинної відбійки гіпса на кар'єрі

**THE MACHINE MINING OF GYPSUM ON QUARRY**

Results of the industrial studies of the machine cutting of gypsum on quarry are stated.

Решение задач, направленных на повышение качества добываемого сырья, рациональное природопользование, улучшение экологической среды, является актуальным при открытой разработке гипсовых месторождений. Так, на гипсовых месторождениях, которые представлены сложноструктурными толщами применение традиционной буровзрывной отбойки приводит к снижению качества получаемого сырья. Кроме того, сейсмическое влияние взрыва не позволяет обрабатывать участки карьерного поля, расположенные в непосредственной близости от промышленных и гражданских объектов. Все это обусловило необходимость обоснования сейсмобезопасной технологии добычи гипса на месторождениях, разрабатываемых открытым способом.

Отечественный и зарубежный опыт безвзрывной технологии разработки нерудных строительных материалов позволил определить направление совершенствования технологии.

В широком диапазоне горно-геологических условий применяется механическое разрушение пород с использованием различных типовых комбайнов. Хорошие показатели работы достигнуты на калийных рудах комбайнами ПК-8М. Средняя месячная производительность этих комбайнов, в зависимости от условий, изменяется в пределах 12-20 тыс. тонн, среднегодовая добыча на комбайн составляет 250-300 тыс. тонн. Успешно применяется комбайновая отбойка при добыче гипса. На Артемовской гипсовой шахте по гипсам прочностью, не превышающей 40,0 МПа, сопротивляемостью резанию – 5,0 кН/см, комбайнами «Урал-20КС» достигнута годовая производительность 130 тыс. тонн, комбайнами ПК-8М – 110 тыс. тонн [1].

Из зарубежной практики интересным представляется использование комбайнов фирмы «ЮНИМАТИК» (США). При мощности двигателей комбайна 912 кВт производительность по битоминозному углю составила 1911 м<sup>3</sup>/ч. При этом высота забоя равна 3,1 м, ширина – 3,1 м.

Заслуживает внимания опыт применения комбайнов на гусеничном ходу для открытых разработок фирмы «Виртген» (ФРГ), предназначенных для мелко-слоевой выемки. Комбайном модели 2600 SM в Испании на карьере по добыче известняка средней крепости достигнута производительность 1200-1500 т/смену. При разработке сложноструктурной пачки полезного ископаемого на угольном карьере в Австралии комбайном модели 3000 SM достигнута производительность 350-400 т/ч по углю и 250-300 м<sup>3</sup>/ч по породе [2]. Технические характеристики комбайнов фирмы «Виртген» приведенные в табл. 1, показы-

вают большие их возможности для добычи нерудных полезных ископаемых, в том числе и природного гипса.

Таблица 1 – Техническая характеристика комбайнов фрезерного типа фирмы «Виртген» (ФРГ)

Модель комбайна	1900 VC	1900 SM	2000 VC	2600 VC	3000 SM	3500 SM	4200 C «Vario»	2100 VC	4200 SM - 1600
Тип первичного двигателя (дизель)	BF10 513	3406D1-TA	3406D1-TA	3412PC-TA	3412PC-TA	КТА38С-T200	3412PC-TA	3408D1-TA	ТА855-С400 КТА38С-1200
Мощность, кВт (л.с.)	250 (340)	298 (405)	298 (405)	559 (761)	559 (761)	895 (1217)	559 (761)	375	895 (1217) + 298 (405)
Потребление топлива, л/час	65	57	76,9	152,3	152,3		152,3	98	
Электросистема, В	24 и 12	24 и 12	24 и 12	24					
Топливный бак, л	600	975	1500	1100	1500	1800	1100	1500	1800
Бак гидравлической жидкости, л	4500	660	450	1000	1000	1200	1000	300	800
Бак с водой, л	1800	2930	3500	3000	3000	7000	1500 + (2×800)	4050	
Диаметр барабана с инструментом, мм	855	806	855	850	1160	1400	850	1080	2100
Диаметр барабана без инструмента, мм	555	576	555	555			555		710
Количество резцов, шт. (с интервалом, мм)	168 (15)	66 (29)	186 (15)	218 (15)			394 (15)	148 (17,5)	Переменно
Ширина барабана, мм	1920 480	1930	2100 340	2600 100	3000	3500	2200 (гл.) + 2×1100	2000	4200
Глубина реза, мм	0-150	0-150	0-150	0-400	0-500	0-150	0-250	0-600	

Таблица 1 (продолжение)

Модель комбайна	1900 VC	1900 SM	2000 VC	2600 VC	3000 SM	3500 SM	4200 C «Vario»	2100 VC	4200 SM - 1600
Точность резания, мм	±2	±10	±2	±2	±10	±10	±2	±2	
Наклон барабана, град.	5	5	5	5	5	8		5	Прод.20 попер.8
Рабочая скорость, м/мин	0-33	0-18	0-40	0-26	0-21	0-26	0-26	0-27	0-27
Скорость транспортирования, км/ч	0-7	0-6	0-4,5	0-6	0-3,5	0-4,2	0-6	0-5,5	0-3
Масса, включая топливо и воду, кг	23400	27400	29400	42000	50000	118800	46000	39250	175000
Габариты, ВхНхL, м	2,5×,78×12,05	2,3×2,95×13,25	2,5×2,96×14,23	2,95×3,15×15,9	3,2×5,5×21,2	4,5×5×25,3	2,75×3,1×17,6	2,5×2,9×14,5	5,4×5,3×29,9
Расчетная производительность по антрациту, м <sup>3</sup> /ч		170		390	720	1050			1500

Учитывая положительный опыт использования различных типов комбайнов, нами на гипсовом месторождении Сауреша был выполнен комплекс исследований, позволяющих установить возможность использования механического способа отбойки гипса комбайном «Виртген 2100 VC». В связи с этим определены показатели прочностных и механических свойств гипса, результаты которых приведены в табл. 2.

Данные таблицы показывают, что наиболее прочный гипс 30 пласта, для которого среднее значение предела прочности на одноосное сжатие составляет 31,8 МПа, наименее слабые породы 27 пласта, преимущественно сложенные доломатизированными мергелистыми глинами, предел прочности которых составляет 12,8 МПа. Наибольшие показатели прочности получены при испытании образцов доломитового пропластка, которые составили 160,5-228,3 МПа, при среднем значении 193,0 МПа.

Скорость распространения продольной волны в гипсах и вмещающих породах изменяется от 1980 до 4850 м/с.

Выполнены определения усилий резания гипса в режиме единичного скола на устройстве, разработанном в СКТЬ ИГТМ АН Украины.

Таблица 2 – Результаты определения показателей физико-механических свойств гипсоносных пород

№ пласта	№ образца	Литологическая разновидность	Предел прочности на одноосное сжатие, $\sigma_{сж}$ , МПа	Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие, $\sigma_{сж}$ ср., МПа	Скорость распространения продольной волны, $V_p$ , м/с	Среднее значение скорости распространения продольной волны, $V_p$ , ср., м/с
23	1	Гипс-селенит	15,0	14,2	4050	3991
	2		14,0		3574	
	3		15,5		4340	
	4		12,4		4000	
	1	Доломит	160,5	193,0	4050	
	2		228,3		4850	
	3		215,8		4640	
	4		167,4		4852	
27	1	Доломитизированная мергелистая глина	14,1	12,8	2356	2256
	2		12,5		2415	
	3		13,2		2273	
	4		11,4		1980	
30	1	Гипс	31,3		3750	3495
	2		29,1		3214	
	3		36,5		3538	
	4		30,2		3480	
36	1	Гипс	27,9	26,8	4238	4181
	2		27,0		4236	
	3		26,6		4506	
	4		25,7		3745	

Конструктивная особенность данного устройства состоит в том, что усилие резания воспринимается чувствительным элементом (тензодатчик), сигнал которого передается на стрелочный индикатор, либо на двухкоординатный самопишущий потенциометр, позволяющий записать характеристику усилия резания в координатах  $X$ -перемещение резца,  $Z$  – усилие резания. Кинематическая схема устройства построена таким образом, что на чувствительный элемент поступает лишь усилие резания, а конструкция привода на сигнал чувствительного элемента не влияет.

В отличие от известных аналогичных устройств это устройство позволяет исследовать процесс резания, как в лабораторных условиях, так и в натуральных непосредственно в забое.

С использованием вышеупомянутого устройства в лабораторных условиях были получены характеристики усилий резания гипса. Характерные кривые процесса резания по 23, 30 и 36 пластикам представлены соответственно на рис. 1, 2, 3.

Анализ данных графиков показывает, что наиболее вязким является гипс 36 пласта. Усилие резания составило по 36 пласту 4,2 кН/см. Соответственно для 30 и 23 пластов усилие резания составило 3,4 кН/см, 3,1 кН/см. Малая скорость подачи режущего инструмента обуславливает пиковые значения кривых процесса резания в режиме статистического нагружения.

Сопоставление полученных результатов с аналогичными показателями для тех месторождений, на которых применяется комбайновая отбойка гипса, свидетельствует о возможности использования механического способа разрушения гипса на исследуемом месторождении.

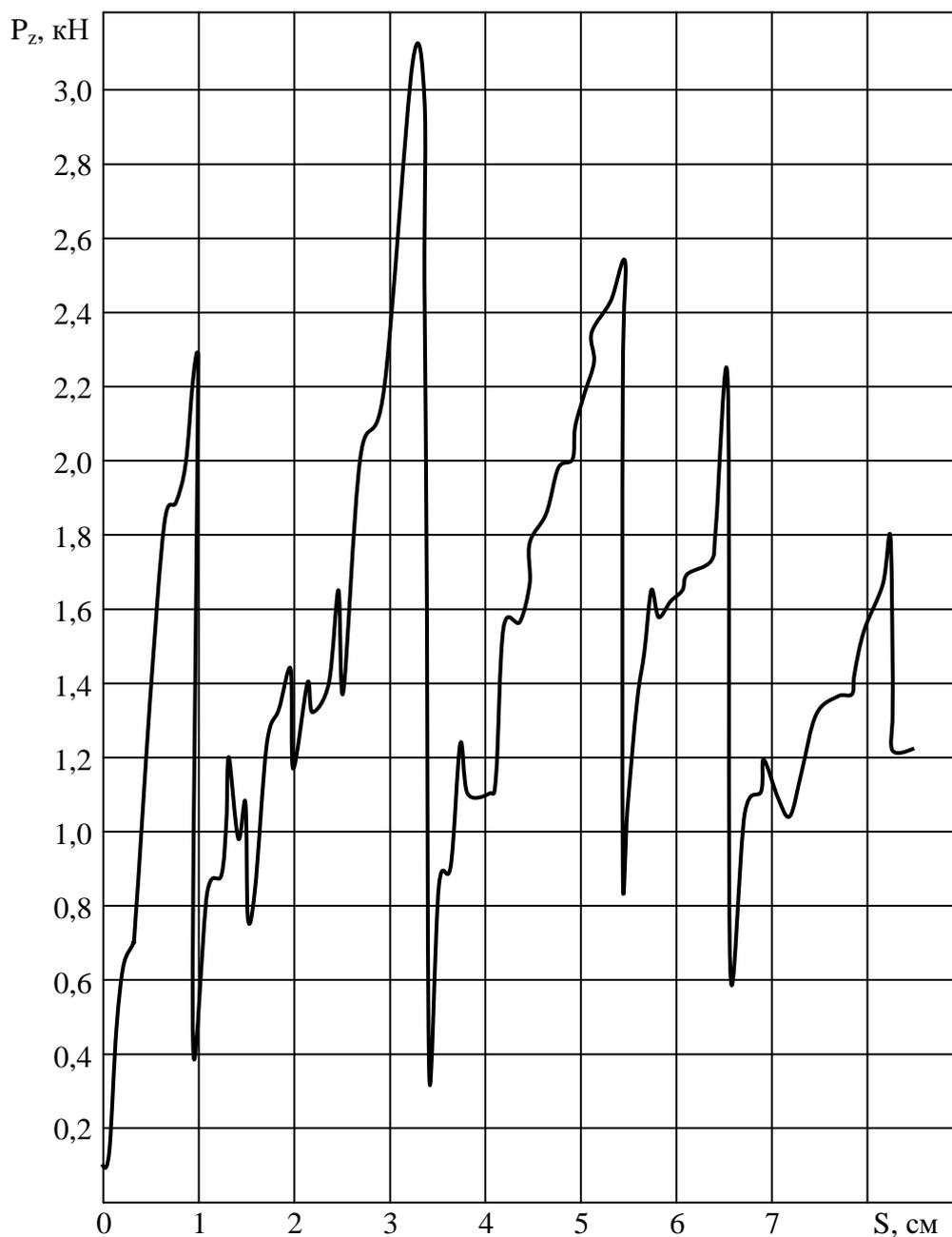


Рис. 1 – Кривая процесса резания гипса 23 пласта.

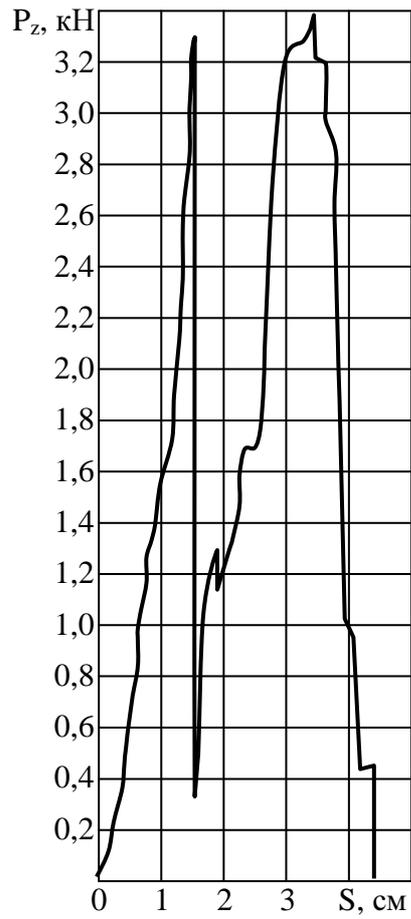


Рис. 2 – Кривая процесса резания гипса 30 пласта

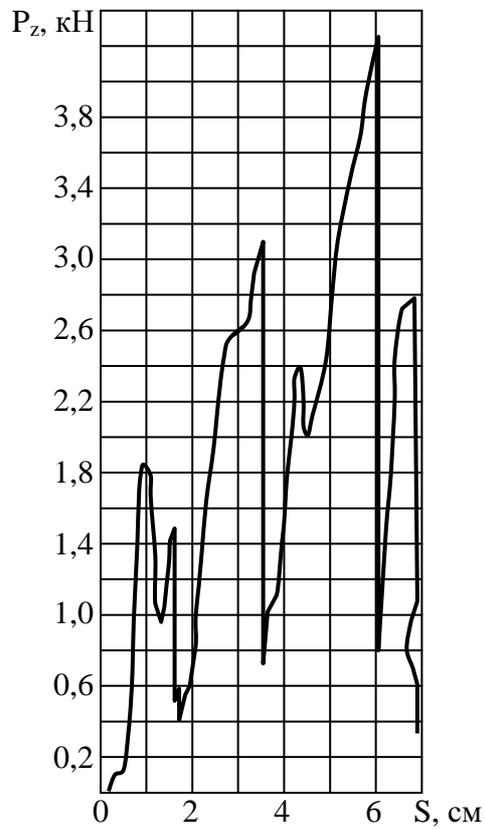


Рис. 3 – Кривая процесса резания гипса 36 пласта.

Геологическая особенность месторождения, характеризующегося переслаиванием тонких пластов гипса и вмещающих пород мощностью 0,1-1,6 м, обусловила мелкослоевую выемку отработки карьерного поля. Именно в этой связи был опробован комбайн фрезерного типа «Виртген 2100 VC», позволяющий проводить отработку залежи слоями мощностью менее 25 мм.

Применение указанного комбайна обусловило комплексную разработку организационных и технико-технологических решений по обеспечению машинной добычи гипса.

Отбойку гипса комбайном проводили на горизонтальных участках протяженностью до 120 м и шириной до 40 м. Комбайн работал в технологической цепи с автосамосвалами марки КрАЗ, КамАЗ, МАЗ.

Результаты комбайновой отбойки приведены в табл. 3. Как показывают приведенные данные, производительность комбайна изменялась от 3,8 т/мин по прочным гипсам 30 пласта до 5,5 т/мин по ослабленным породам 27 пласта. Среднесменная производительность составила соответственно по 30 пласту 750 т, по 27 пласту 900 т. При этом среднее значение коэффициента использования машинного времени составило 0,41 по 30 пласту и 0,34 по 27 пласту.

Таблица 3 – Средние значения хронометражных измерений экспериментальной отбойки гипса

Нумерация пласта	Время отбойки и погрузки в автосамосвал горной масс. с	Скорость подачи комбайна, м/мин	Производительность, т/мин	Затраты времени, мин / %						Потери времени по организационным причинам	Коэффициент использования машинного времени, К
				машинное в смену, Т <sub>М</sub>	маневровые операции, Т <sub>М.О</sub>	замена инструмента, Т <sub>З</sub>	концевые операции, Т <sub>К.О</sub>	устранение отказов, Т <sub>У</sub>	простой из-за отсутствия транспорта		
23	173	5,6	4,2	158,8/33	18,9/4	18,2/4	13,9/3	136,9/28	45,9/10	87,4/18	0,33
27	133	6,3	5,5	163,0/34	22,0/5	8,4/2	11,6/2	52,7/11	92,5/19	129,8/27	0,34
30	187	4,0	3,8	197,5/41	17,9/4	–	7,2/2	13,6/3	64,7/13	178,9/37	0,41
36	154	4,8	4,8	196,3/41	19,0/4	–	17,0/4	23,0/5	64,2/13	160,4/33	0,41

Наилучшие результаты отбойки достигнуты при глубине реза 0,18-0,20 м. При глубине реза свыше 0,20 м по прочным гипсам увеличивались динамические нагрузки на двигатель, уменьшалась производительность. С глубиной реза менее 0,18 м увеличивался пробег комбайна, что на малых площадках приводило к увеличению времени на маневровые операции, снижению машинного времени в смену. Зависимость потерь рабочего времени на маневровые операции от протяженности разрабатываемого участка приведена на рис. 4.

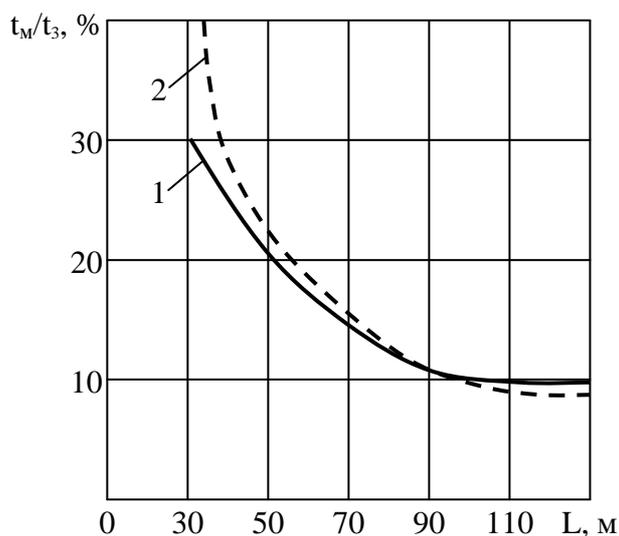
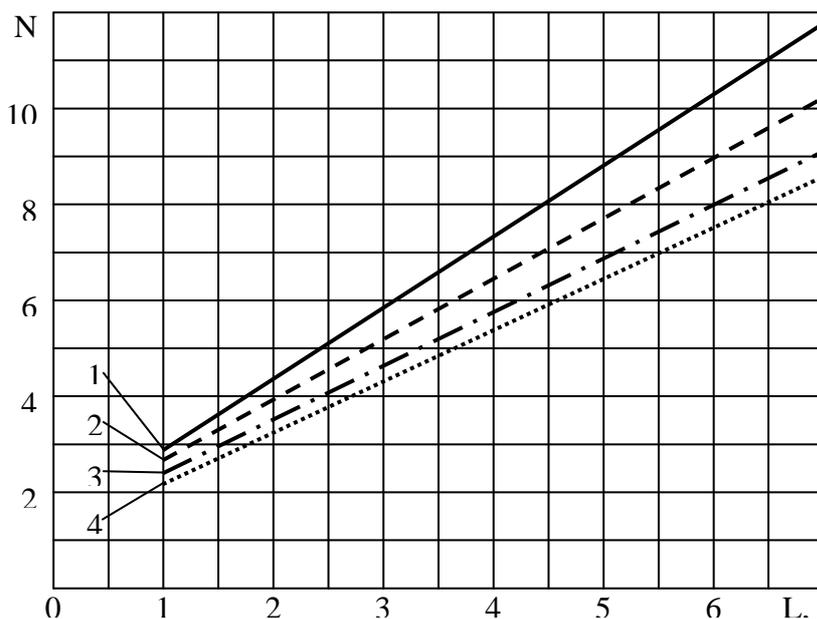


Рис. 4 – Зависимость затраченного времени на холостой пробег комбайна (1) и времени на разворот комбайна (2) от протяженности разрабатываемого участка.

По результатам хронометражных измерений установлено необходимое количество автосамосвалов марки КрАЗ, КамАЗ в зависимости от разрабатываемого пласта и протяженности транспортирования (рис. 5).



1 – зависимость по 27 пласту; 2 – зависимость по 36 пласту;  
3 – зависимость по 23 пласту; 4 – зависимость по 30 пласту.

Рис. 5 – Зависимость необходимого количества автосамосвалов от протяженности транспортирования.

Определения грансостава гипсового щебня позволили установить возможность его использования без предварительного рыхления в технологическом процессе гипсоварочного производства. Характер распределения фракционного состава гипсового щебня представлен на рис.6.

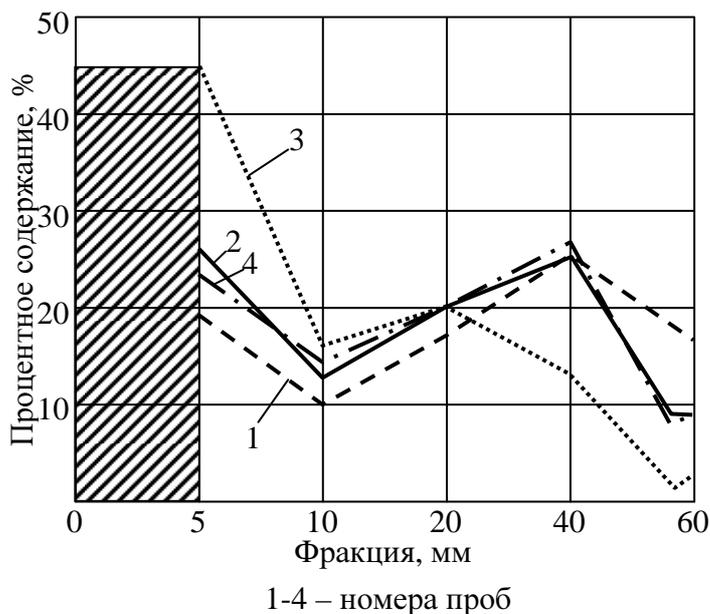


Рис. 6 – Распределение гранулометрического состава горной массы, отбитой комбайном «Виртген 2100 VC».

Графические данные грансостава гипсового щебня показывают о преимущественном содержании мелкой фракции 0-5 мм. Содержание фракции 0-5 мм в среднем составило 28%.

За время испытаний комбайна (четыре месяца) добыто при работе в 1 смену 59225 т. Обобщенные данные о гранулометрическом составе горной массы, приведены в табл.4.

Таблица 4 – Гранулометрический состав горной массы добытой комбайном за время его испытания

№ пласта	Масса просеиваемой пробы, кг	Фракции, мм											
		0 - 5		5 - 10		10 - 20		20 - 40		40 - 60		60	
		Масса пробы, кг	Процентное содержание, %										
23	150	28,5	19	15	10	24	16	36	24	24	16	122,5	15
27	150	37,5	25	19,5	13	30	20	36	24	13,5	9	13,5	9
30	150	67,5	45	24	16	30	20	21	14	3	2	4,5	3
36	150	34,5	23	22,5	15	30	20	37,5	25	12	8	13,5	9

При работе комбайна на ширину реза менее 2 м наблюдалось увеличение выхода крупной фракции свыше 60 мм.

Установлено, что на фракционный состав не влияет изменение глубины реза в интервале от 0,14 до 0,20 м.

Зафиксированы высокие показатели работоспособности породоразрушающего инструмента при отбойке гипса и вмещающих пород. Удельный расход резцов при отбойке гипса в среднем составил 0,0035 шт/т. По вмещающим породам средний удельный расход резцов составил 0,0105 шт/т.

При оценке работоспособности комбайна установлен расход дизельного топлива, который составил 56 л/ч. Это ниже технической характеристики расхода топлива, которая составляет: при полной нагрузке двигателя – 98 л/ч, при 2/3 нагрузки – 71 л/ч. В комбайне «Виртген 2100 VC» предусмотрено подавление пыли и охлаждение режущего инструмента орошением.

Таким образом, при разработке месторождений гипса с коэффициентом крепости 2 комбайн «Виртген 2100 VC» имеет стабильную среднюю производительность до 1000 т/смену. За счет сокращения потерь рабочего времени и доведения коэффициента машинного времени до 0,6-0,64 производительность комбайна может быть увеличена на 20-30 %. Наиболее благоприятные условия для работы комбайна – это отработка карьерных полей длинными полосами, что снижает затраты времени на маневровые операции и увеличивает нагрузку на комбайны при глубине реза 0,15-0,20 м (рис. 7). Обобщенный график зависимости производительности комбайна от прочности пород приведен на рис. 8.

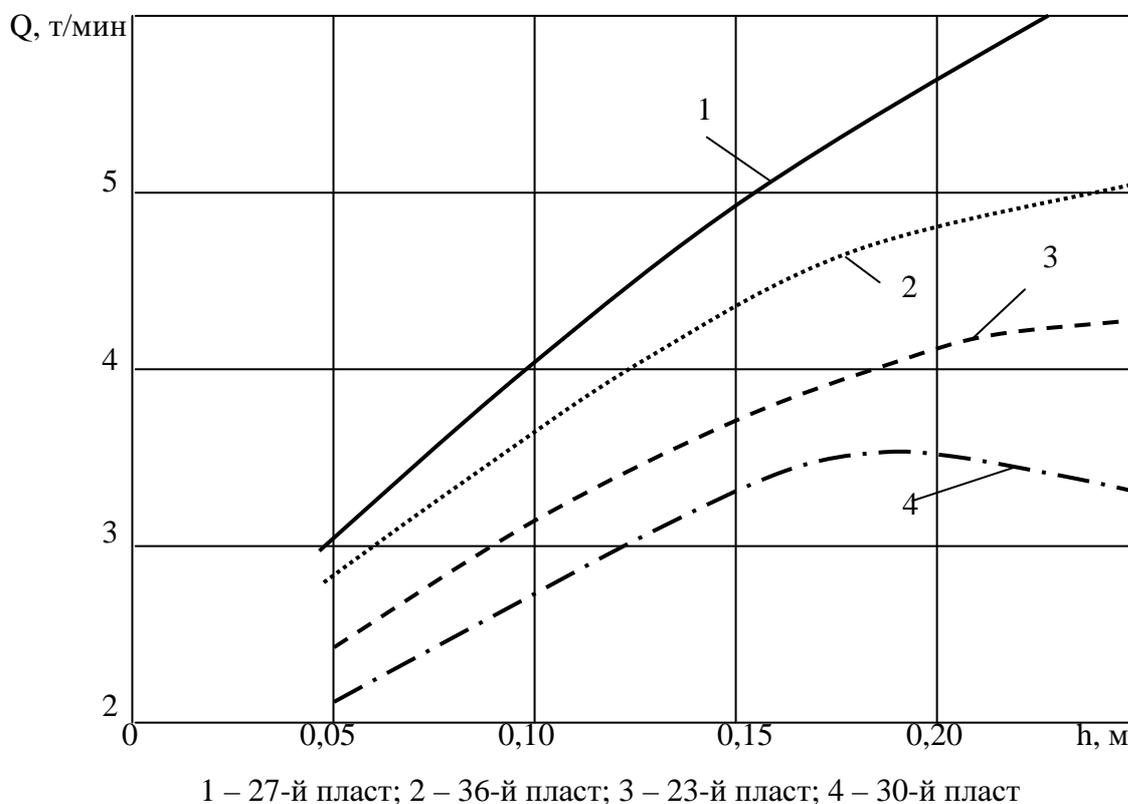


Рис. 7 – Зависимость производительности от глубины реза при постоянной загрузке привода отбойного органа (№ 3, 1990 СМ).

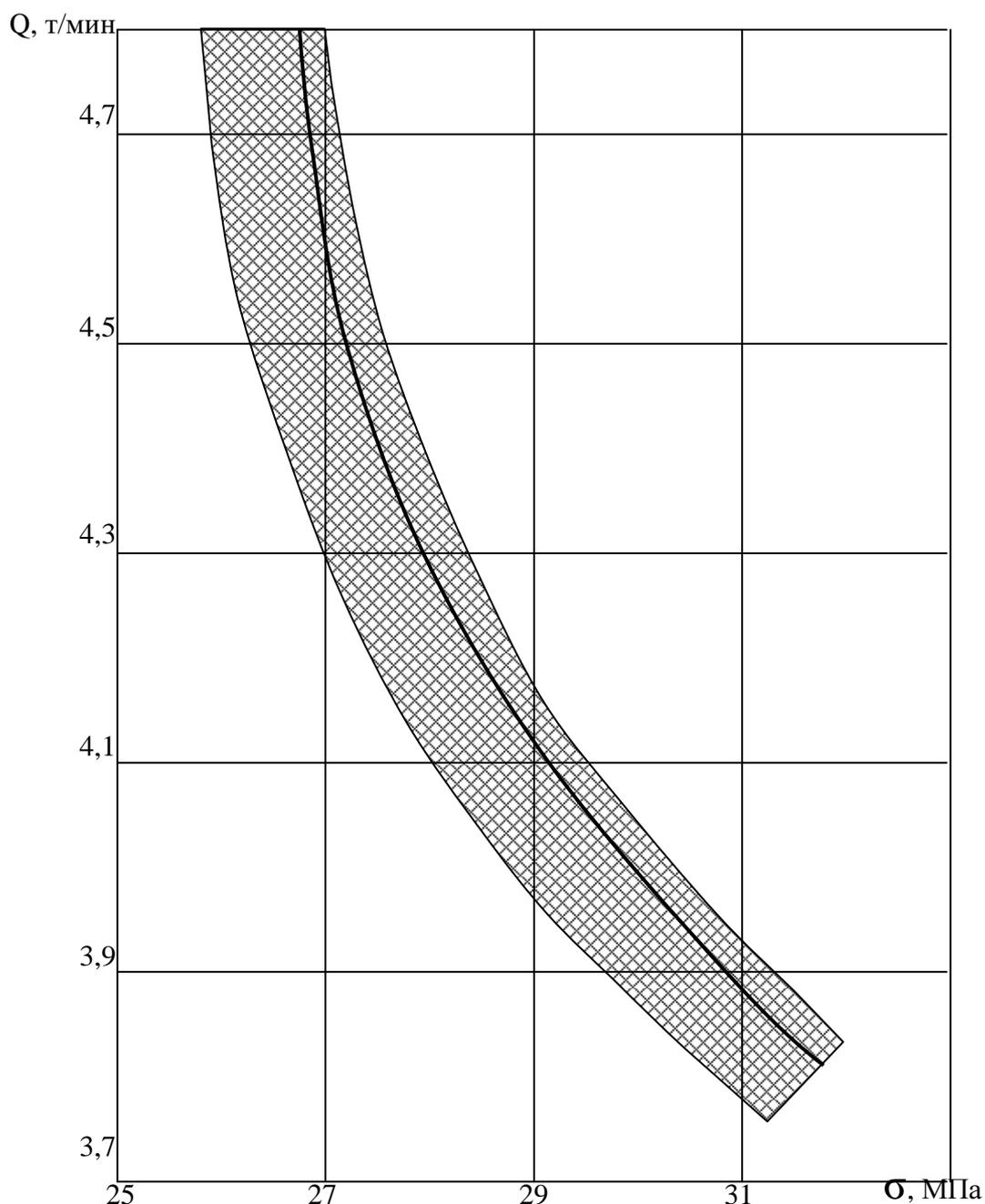
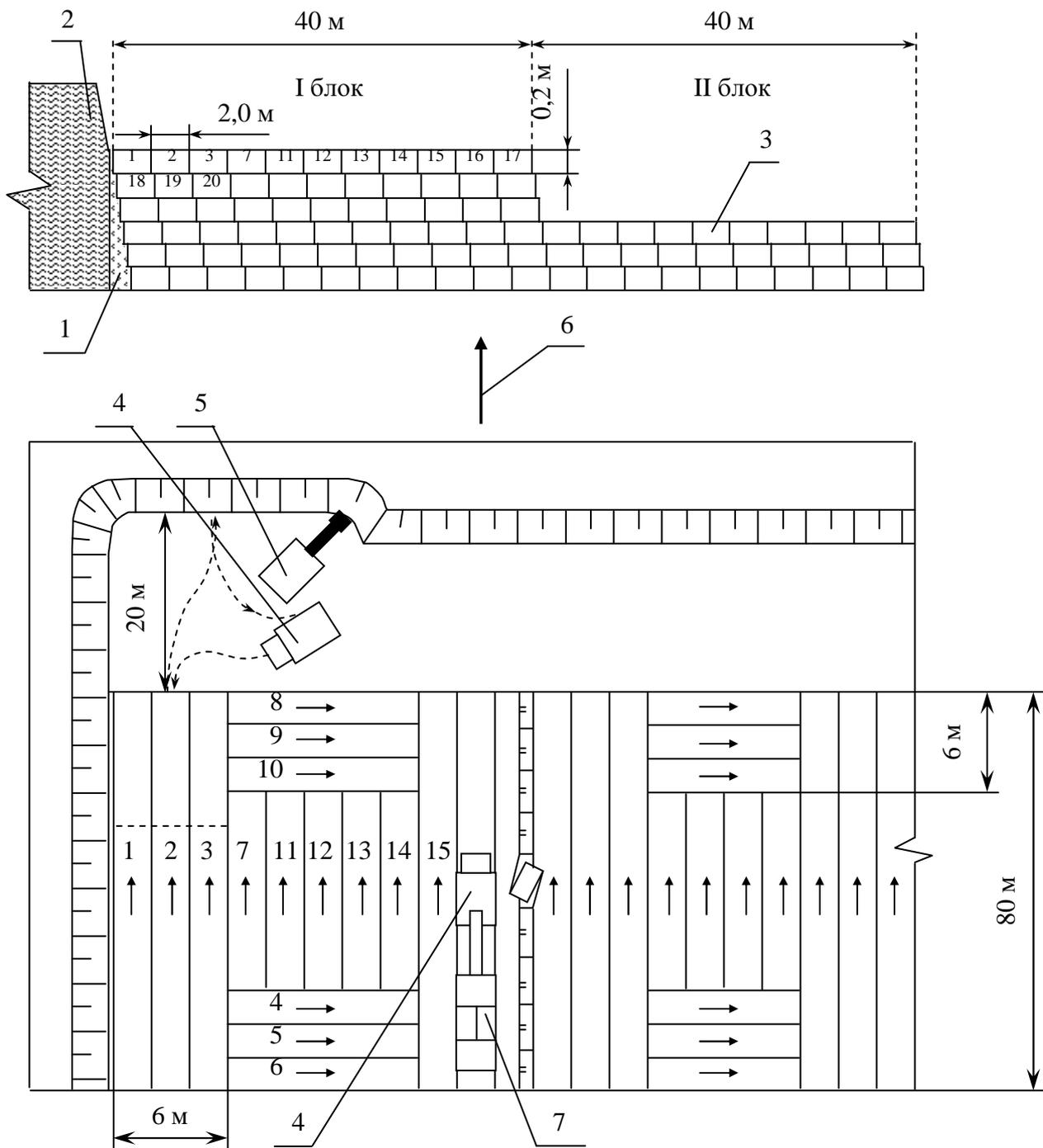


Рис. 8 – Зависимость производительности комбайна от прочности пород (№ 1, 1991 МиГП ).

Проведенные исследования позволили отработать элементы технологии и обосновать технологические схемы отработки Саурешского участка Рижского месторождения гипса комбайновым способом. На рис. 9 приведена схема отработки участка карьерного поля блоками в зависимости от необходимости в добыче гипса и доломитизированных глин. Рекомендуемые параметры блоков минимальными размерами 80×40 м обусловлены технологическими особенностями разработки с применением комбайна «Виртген 2100 VC». При отработке участков протяженностью менее 80 м и шириной до 40 м значительно увеличивается потери времени на маневровые операции.



1 – гипсовый целик; 2 – вскрышные породы; 3 – гипсовый пласт; 4 – автомобиль; 5 – экскаватор; 6 – направление разработки; 7 – комбайн.

Рис. 9 – Схема обработки полезного ископаемого с применением комбайна «Виртген 2100 VC».

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) комбайн «Виртген 2100 VC» стабильно работает с глубиной реза до 0,2 м. При этом производительность по гипсовым пластам составляет 4,3 т/мин; сменная – 790 т, месячная – 1500 т.;

2) выход крупной фракции свыше 60 мм при шаге резания 30 мм не превышает 3% по 30 пласту и 9% - по 36 пласту, что позволяет исключить операции вторичного дробления;

3) применение машинной технологии на карьерах позволит вовлечь в отработку запасы гипса расположенные во взрывоопасной зоне, достигнуть экономической эффективности за счет снижения капитальных вложений, улучшить экологическую обстановку, повысить безопасность ведения работ на карьерах.

Применение машин такого типа позволит осуществить селективную выемку пластов слоями менее 25 мм, соединить технологические операции выемки, погрузки и первичной переработки гипсового камня в единый технологический процесс. Предварительные расчеты показывают, что при определенных режимах работы таких машин экономическая эффективность может быть достигнута за счет снижения капитальных вложений. Исключение взрывной отбойки при использовании подобных машин позволяет уменьшить негативные последствия разработки месторождений на окружающую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко Б.М. Геомеханика подземной добычи гипса. – Киев: Наук. думка, 1985. – 216 с.
2. Lurace Miner Boosts Coal Recovery in W.A. // Mining journal. – 1988. - № 7968. – p. 391.