

УДК 62-133.2

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФРЕЗЕРНОГО БАРАБАНА  
И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ  
КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА В РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**Ч. Кумар<sup>1</sup>, В. М. С. Р. Мурти<sup>1</sup>, Л. А. Кумарасвамидхас<sup>1</sup>, А. Пракаш<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Индийский институт технологии (Индийская школа горного дела),  
E-mail: raa.swa@gmail.com, 826004, г. Дханбад, Индия

<sup>2</sup>Центральный институт горного дела и исследования топлива, 826015, г. Дханбад, Индия

Карьерные комбайны используются на карьерных разработках благодаря их способности выборочно выполнять выемку грунта тонкими слоями. Даже незначительные изменения в неповрежденном породном массиве могут негативно сказаться на работе карьерного комбайна с точки зрения объемов добычи и расхода зубков врубовой машины. Чтобы добиться подходящей скорости зарубки и глубины вруба, учтено энергетическое потребление как при вращательном движении фрезерного барабана, так и при прямолинейном движении карьерного комбайна. Скорость карьерного комбайна, сила резания, достигаемые каждым отдельным зубком, и количество активных зубков, находящихся в контакте с горной породой на определенной глубине вруба при различных значениях предела прочности на растяжение, могут быть определены посредством этих исследований. Важно оптимизировать эксплуатационные параметры машины (скорость резания и глубину врубки) для конкретных условий горного массива при возможной мощности машины. Исследование проводилось на карьерных комбайнах с фрезерным барабаном шириной 2.2 м. Заданная мощность на узлы машины распределялась в соответствии с техническими особенностями каждого узла, учитывая потерю мощности при нарушении работы приводного ремня.

*Карьерный комбайн, ширина барабана, глубина вруба, скорость зарубки, сила резания, предел прочности на растяжение, мощность резания*

DOI: 10.15372/FTPRPI20180408

Карьерный комбайн является одной из механических врубовых машин для добычи скальных пород, включая выемку, дробление и погрузку материала. Карьерные комбайны широко применяются на различных месторождениях угля, известняка, гипса, лигнита, соли, фосфорита, боксита и на разработках железорудных месторождений. В Индии они впервые начали применяться в начале 90-х годов XX в.

Особенность работы карьерных комбайнов заключается в отсутствии необходимости буровзрывных работ, отдельной выемки, разубоживания горной массы, последующего дробления и т. д. В настоящее время карьерные комбайны задействованы во многих проектах по добыче полезных ископаемых во всем мире, в частности в США, России, Австралии, Боснии, Индии. Около 422 карьерных комбайнов производства “Wirtgen” успешно используются при добыче различных горных пород, их применение на месторождениях полезных ископаемых показано на рис. 1.

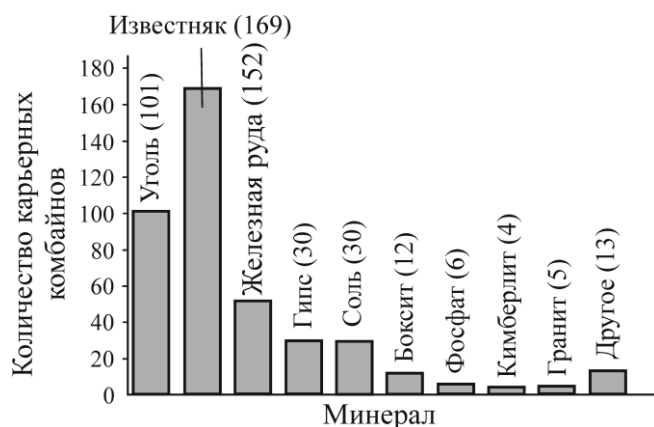


Рис. 1. Применение карьерных комбайнов в добыче различных горных пород

Из общего числа карьерных комбайнов 114 находятся в работе на месторождениях Индии [1]. Карьерные комбайны различных моделей задействованы преимущественно на угольных и известняковых шахтах Индии. В целом эксплуатационные параметры карьерного комбайна устанавливаются в соответствии с производственной задачей, без учета влияния свойств горных пород. Важной задачей является выбор оптимальных эксплуатационных параметров машины после доводки в соответствии с различными свойствами горных пород. Наибольшее распространение получили карьерные комбайны с шириной фрезерного барабана 2.2 м и мощностью 597 кВт. Оптимизация эксплуатационных параметров, в частности скорости зарубки и глубины вруба, необходима для нормального производства и снижения вероятности поломок и ремонтных работ. Сила резания зубков — ключевой фактор конечной добычи. Свойства горных пород влияют на механический процесс машинной разработки и, как следствие, на производительность [2]. Таким образом, исследование эксплуатационных параметров карьерного комбайна с учетом технических характеристик машины и свойств горных пород имеет большое значение для эффективного производства.

Карьерные комбайны различаются расположением фрезерного барабана и особенностями конструкции дробилки, черпального колеса, выемочные комбайны — регулируемым по высоте барабаном [3]. В данной работе рассматриваются комбайны типа дробилки; 10 единиц карьерных комбайнов модели 2200 SM, произведенных компанией “Wirtgen”, задействованы на шахте Гевра, Чхаттисгарх, но кроме угольных шахт они широко используются на известковых шахтах. Модели комбайнов 2200SM и KSM223 — наиболее распространены в Индии на открытых выработках угля [4]. Ключевые особенности этих моделей представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики карьерных комбайнов с шириной фрезерного барабана 2.2 м

Параметр	Модель машины	
	2200SM	KSM223
Ширина вруба, мм	2200	2200
Глубина вруба, мм	0–350	0–350
Расстояние между зубками, мм	38	38
Количество резцов	76	76
Диаметр барабана, мм	1120	1120
Номинальная мощность, кВт	597	597

Для определения силы резания использовался предел прочности на растяжение в качестве свойства горной породы. В модели, представленной в [5], предел прочности на растяжение являлся главным критерием, широко принятым для расчета силы резания в хрупких горных породах. В [6] использован предел прочности как одна из характеристик горной породы для расчета буримости. В [7] применен предел прочности на растяжение для оценки режущей способности проходческого комбайна. Согласно [8], предел прочности горной породы играет роль в определении скорости резания и скорости износа втулок на станке для резки алмазной проволокой. Свойства горной породы влияют на машинную выработку и на конечную добычу, так как при разработке прочных горных пород изменяются эксплуатационные параметры машины, приводящие к снижению скорости зарубки и уменьшению глубины вруба [9].

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗАРУБКИ

Выделяют два эксплуатационных параметра карьерного комбайна — скорость зарубки и глубина вруба. Свойства горного массива и технические характеристики машины — ключевые факторы при определении эксплуатационных параметров карьерного комбайна для требуемой добычи с минимальными поломками. В [10–12] определено соотношение скорости зарубки и скорости карьерного комбайна, зависящее от мощности машины и сопротивляемости резанию горных пород:

$$v = \frac{30P_c \eta K_{ct}}{(f_1 + f_2)P + S_{av} D n_{scb} K_\alpha K_b K_{bd} K_{bs}},$$

где  $P_c$  — мощность привода барабана, кВт;  $\eta$  — эффективность редуктора барабана;  $K_{ct}$  — фактор продолжительности работы режущего инструмента;  $D$  — диаметр барабана, м;  $n_{scb}$  — количество одновременно режущих зубков;  $f_1$  — коэффициент сцепления между гусеницами комбайна и горизонтальной поверхностью открытой разработки;  $f_2$  — коэффициент сопротивления рабочей поверхности забоя к сжатию и резанию поверхности фрезерного барабана;  $P$  — вес карьерного комбайна, кН;  $K_\alpha$ ,  $K_b$ ,  $K_{bd}$ ,  $K_{bs}$  — коэффициент угла резания, ширины зубка, затупления зубка и формы зубка соответственно;  $S_{av}$  — средняя сопротивляемость резанию горной породы, кН/м.

Карьерные комбайны с меньшей шириной фрезерного барабана имеют меньшее количество зубков, взаимодействующих с породой, следовательно, испытывают увеличенную нагрузку на зубец. Количество зубков зависит от глубины вруба и твердости горной породы. Таким образом, скорость зарубки и глубина вруба должны быть сопоставлены для более продуктивного процесса, с минимумом аварийных ситуаций. Влияние этих параметров детально описано в настоящей работе.

### ОЦЕНКА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ЗУБКОВ

В [13–15] разработаны соотношения для определения силы резания конических зубков для различных видов неповрежденных горных пород и глубины их проникновения:

$$F_c = \frac{16\pi d^2 \sigma_t^2}{\cos^2\left(\frac{\varphi}{2}\right) \sigma_c}, \quad F_c = \frac{16\pi \sigma_c d^2 \sigma_t^2}{2\sigma_t + \left(\sigma_c \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) \left(\frac{1 + \tan\psi}{\tan(\psi/2)}\right)^2}, \quad F_c = \frac{4\pi \sigma_t d^2 \sin^2\left(\frac{\varphi}{2} + \psi\right)}{\cos\left(\frac{\varphi}{2} + \psi\right)},$$

где  $F_c$  — максимальная сила резания, Кн;  $\sigma_t$ ,  $\sigma_c$  — предел прочности на растяжение и при одноосном сжатии, МПа;  $d$  — глубина погружения зубка, мм;  $\varphi$  — угол при вершине зубка, град;  $\alpha$ ,  $\beta$  — передний и задний угол зубка, град;  $\gamma$ ,  $\psi$  — угол атаки и угол трения между инструментом и горной породой, град.

Геометрия движений при резании с использованием точки приложения зубка показана на рис. 2 ( $F_N$  — максимальная сила нормальной реакции опоры).

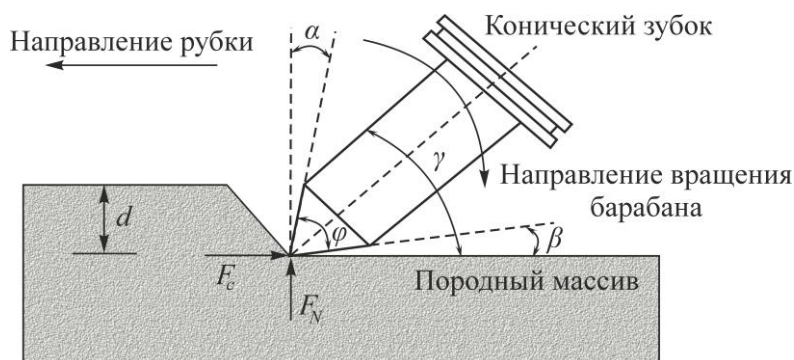


Рис. 2. Геометрия движений при резании с использованием точки приложения зубка

В [16], основываясь на результатах эксперимента, получено уравнение вычисления силы резания:

$$F_c = \frac{12\pi\sigma_t d^2 \sin^2 \left[ \frac{1}{2}(90 - \alpha) + \psi \right]}{\cos \left[ \frac{1}{2}(90 - \alpha) + \psi \right]},$$

которое взято и для настоящего исследования.

Глубина погружения зубка находится по следующему уравнению:

$$d = \frac{2v}{\pi n n_1},$$

здесь  $v$  — скорость зарубки, м/мин;  $n$  — скорость вращения барабана, об./мин;  $n_1$  — количество зубков в одном ряду. Зубки подвержены таким воздействиям, как износ и повреждение вершины, если превышена нагрузочная способность материала.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В КАРЬЕРНОМ КОМБАЙНЕ

Карьерные комбайны имеют широкий диапазон мощностей для разных моделей в зависимости от требуемого объема выработки. В конструкции карьерного комбайна находятся различные узлы. Энергия, поступающая к фрезерному барабану, идет по V-образному ременному приводу, как показано на рис. 3. Для оценки эксплуатационного качества карьерного комбайна необходимо знать фактическую передаваемую мощность на фрезерный барабан. Распределение энергии оценивалось в зависимости от характеристик каждого элемента конструкции. Фактическая мощность модели 2200SM, передаваемая на фрезерный барабан в режиме отсыпки материала валами, установлена путем вычитания суммированных мощностей, потребляемых различными узлами машины, такими как гусеничный привод, вентилятор системы охлаждения, система водоснабжения, цилиндр, шестерня, система кондиционирования, из номинальной мощности машины (табл. 2).

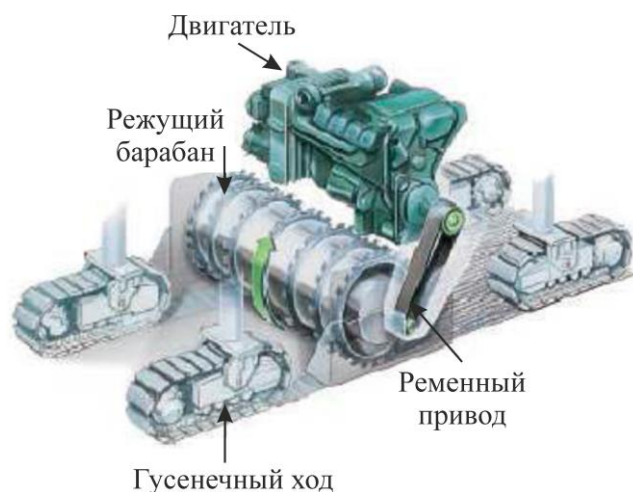


Рис. 3. Средний ряд зубков фрезерного барабана с механическим приводом

ТАБЛИЦА 2. Распределение мощности в различных узлах комбайна модели 2200SM

Узел машины	Объемная производительность насоса $D_p$ , см <sup>3</sup> /об.	Давление $P$ , бар	Расход $Q \cdot 10^{-6}$ , м <sup>3</sup> /с	Мощность узла машины $P_c$ , кВт	Питание, %
Гусеничный привод	105	175	2843	50	8.37
Вентилятор системы охлаждения	45	165	1219	20	3.35
Система водоснабжения	12.5	40	338.54	1.4	0.23
Система управления цилиндром	45	180	1219	22	3.68
Система охлаждения коробки передач	4	50	109	0.5	0.08
Привод системы кондиционирования 1	11	110	298	3.3	0.55
Привод системы кондиционирования 2	11	110	298	3.3	0.55
Фрезерный барабан	—	—	—	497	83.00

Примечание.  $P_m = 597$  кВт — мощность машины;  $i = 0.77$  — передаточное число;  $n_b = 2100$  об./мин — частота вращения вала

Из табл. 2 видно, что мощность фрезерного барабана составляет 83 % от номинальной мощности (597 кВт) комбайна, т. е. 497 кВт. В ременных приводах потери мощности возникают по причине потери скорости и крутящего момента [17]. При изучении конкретного примера выяснилось, что эффективная передача мощности по V-образному ременному приводу снижена на 20 % ввиду износа деталей и снижения функциональности [18]. Учитывая потерю мощности из-за пробуксовки ременных шкивов, мощность фрезерного барабана составляет 397 кВт (66 % от номинальной мощности машины). Распределение мощности в карьерном комбайне с шириной барабана 2.2 м с номинальной мощностью 597 кВт показано на рис. 4.

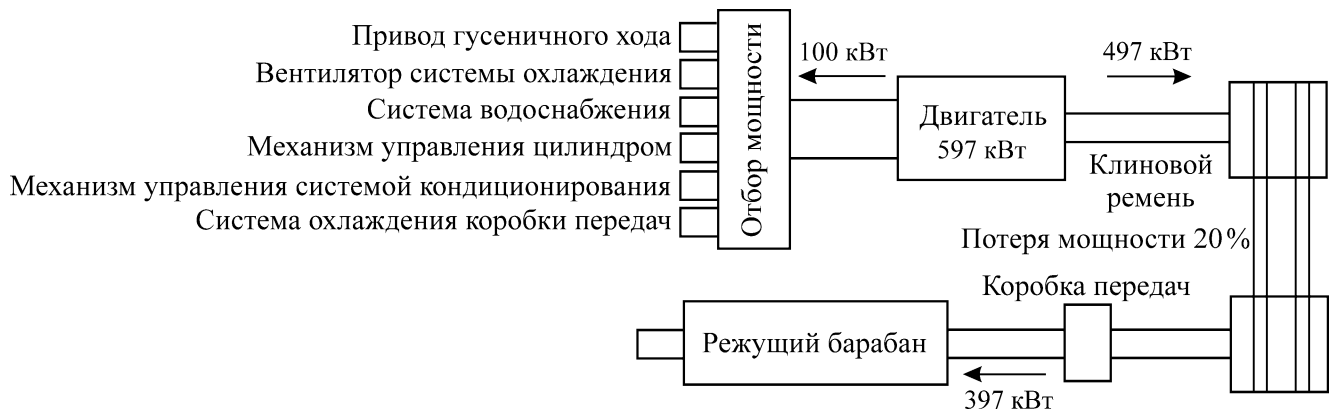


Рис. 4. Схема распределения мощности в карьерном комбайне

### МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАРАБАНА И НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА

Часть барабана вступает в контакт с горной породой во время фрезерования. Длина дуги, оставляемой в породе, зависит от радиуса барабана и глубины вруба (рис. 5) и вычисляется по формуле:  $L_a = 2\pi R \cos^{-1}[(R - h / R)] / 360$ , где  $L_a$  — длина активной линии зацепления или длина дуги, оставляемой в породе при прохождении барабана, м;  $R$ ,  $W$  — радиус и ширина фрезерного барабана, м;  $h$  — глубина вруба, м. Данное соотношение подходит для глубины вруба меньше, чем радиус барабана. Количество зубков, взаимодействующих с породой, зависит от длины арки. Барабан карьерного комбайна модели 2200SM имеет 76 зубков. Количество зубков, взаимодействующих с породой, рассчитывается по формуле:  $n_2 = [\cos^{-1}(R - h / R) \cdot 76] / 360$ .

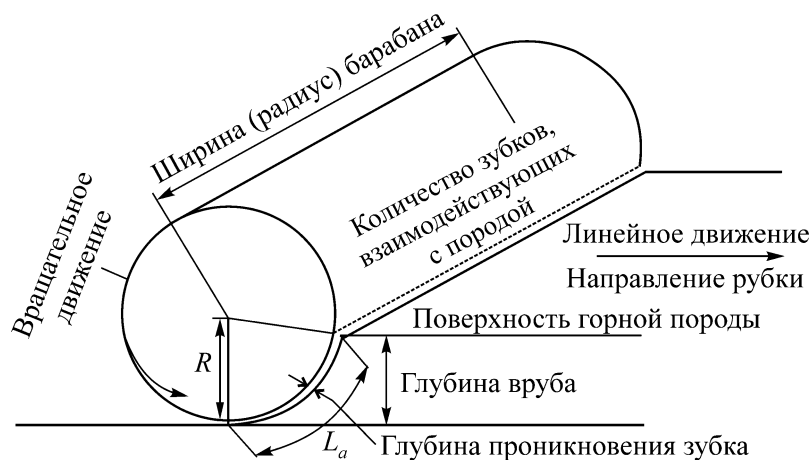


Рис. 5. Длина арки, оставленной барабаном при взаимодействии с породой во время фрезерования

В [9] пришли к выводу, что выемка породы происходит путем прямолинейного движения карьерного комбайна и вращательного движения фрезерного барабана, поэтому энергия расходуется в обоих случаях. Следующее уравнение выведено для определения силы резания карьерного комбайна:

$$P_c = P_{rot} + P_{lin}, \quad P_{rot} = Mn = (n_2 R F_c) n, \quad P_{lin} = n_2 F_c v, \quad P_c = n_2 F_c (Rn + v),$$

где  $P_c$ ,  $P_{rot}$  — потребляемая мощность резания и мощность вращения барабана, кВт;  $P_{lin}$  — мощность потребляемая при прямолинейном движении комбайна, кВт;  $M$  — крутящий момент, кН/м;  $n_2$  — количество контактируемых с породой зубков;  $R$  — радиус фрезерного барабана, м;  $F_c$  — сила резания, кН;  $n$  — скорость вращения барабана, об./мин;  $v$  — скорость зарубки, м/мин.

Скорость зарубки карьерного комбайна рассчитывается на основе вышеуказанных уравнений и может быть представлена формулой:  $v = (P_c / n_2 F_c) - nR$ .

#### РАЗРАБОТКА ОБЪЕДИНЕННОГО ГРАФИКА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

График на рис. 6 является примером для расчетов произвольной функции. С одной стороны, он позволяет проводить повседневные расчеты, с другой — понять взаимосвязь различных величин, их обозначение, пределы и последовательность [19].

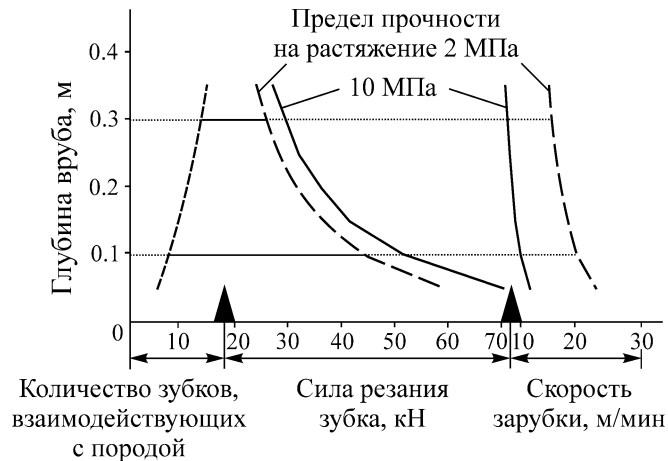


Рис. 6. График, отражающий скорость зарубки, силу резания и количество зубков для установленной глубины вруба

График разработан для определения необходимой скорости резания карьерного комбайна, силы резания для отдельного зубка и количества взаимодействующих с породой зубков относительно глубины вруба для заданного предела прочности породы. Например, при глубине вруба 0.1 м меньшее количество зубков (около 8) будет взаимодействовать с породой. Чем меньше количество зубков взаимодействует с породой, тем больше будет сила резания для каждого зубка, значение которой зависит от предела прочности на растяжение отдельно взятой породы (43.57 кН при пределе прочности 2 МПа). Установлено, что при глубине вруба 0.1 м и пределе прочности на растяжение 2 МПа необходимая скорость зарубки составляет около 20 м/мин. Такая скорость подтверждена данными натурных исследований на шахтах Индии, а процентная погрешность равна 0 – 10.17 %.

Сопоставление фактической и теоретической скорости резания карьерного комбайна приведено в табл. 3. Фактическая скорость резания карьерного комбайна изучалась на открытых разработках Индии [4]. Производительность резания карьерных комбайнов 2200SM и KSM223 рассматривалась в данной работе. Оба комбайна имеют одинаковые технические характеристики. Среднее отклонение в фактической и теоретической скорости резания составляет 5.8 %. Таким образом, разработанный график имеет хорошее приближение к данным полевых условий.

Перегрузка и недогрузка машины при различных значениях предела прочности породы представлены на рис. 7. Различие в значениях скорости зарубки указывает на различные условия нагружения. Для предела прочности 1.82 МПа рассчитанная скорость зарубки составляет 18.1 м/мин, а фактическая скорость 19 м/мин. Это означает, что машина находится в перегруженном состоянии. Рассчитанная скорость зарубки выше фактической при значении предела прочности 4 МПа указывает на условия недостаточной загруженности машины.

ТАБЛИЦА 3. Пример отличия фактической скорости резания от теоретической

Шахта	Машина	Порода	Предел прочности на растяжение, МПа	Глубина вруба, м	Скорость зарубки, м/мин		Погрешность, %
					фактическая	теоретическая	
Лингарадж	KSM223	Уголь	1.82	0.20	19	18.1	4.73
Лингарадж	KSM223		2.02	0.20	16	17.4	8.04
Сонпурбазари	2200SM		3.43	0.15	19	20.0	5.00
Лингарадж	KSM223		3.74	0.20	14	13.1	6.42
Сонпурбазари	2200SM		3.80	0.18	15	16.7	10.17
Лингарадж	KSM223		3.96	0.20	12	10.0	6.25
Лингарадж	KSM223		4.50	0.20	12	12.0	0

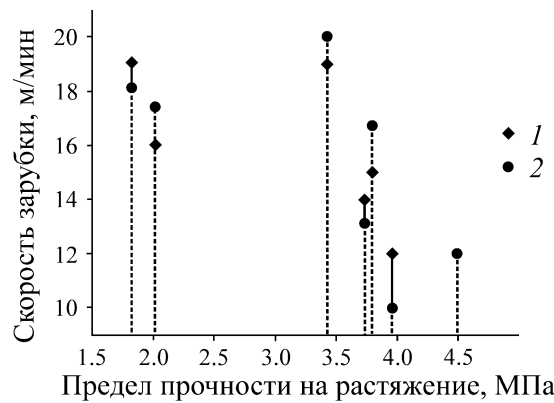


Рис. 7. Фактическая (1) и теоретическая (2) скорость зарубки при различных значениях предела прочности на растяжение

В дальнейшем для понимания колебания значений скорости зарубки карьерных комбайнов и силы резания отдельного зубка были введены пределы прочности на растяжение (рис. 8). Скорость зарубки карьерного комбайна обратно пропорциональна пределу прочности породы (рис. 8а). Она определялась на различной глубине вруба при пределах прочности породы на растяжение от 1 до 10 МПа. При значении предела прочности до 6 МПа график имеет нелинейный характер, и практически линейный при значениях, превышающих 6 МПа. Скорость зарубки уменьшается стремительно при пределах прочности от 1 до 2 МПа и уменьшается постепенно при значениях от 2 до 6 МПа. Скорость зарубки незначительно изменяется в пределах от 6 до 10 МПа при различных значениях глубины вруба. Это свидетельствует о том, что скорость зарубки низкая при резании твердых горных пород и зависит от глубины вруба.

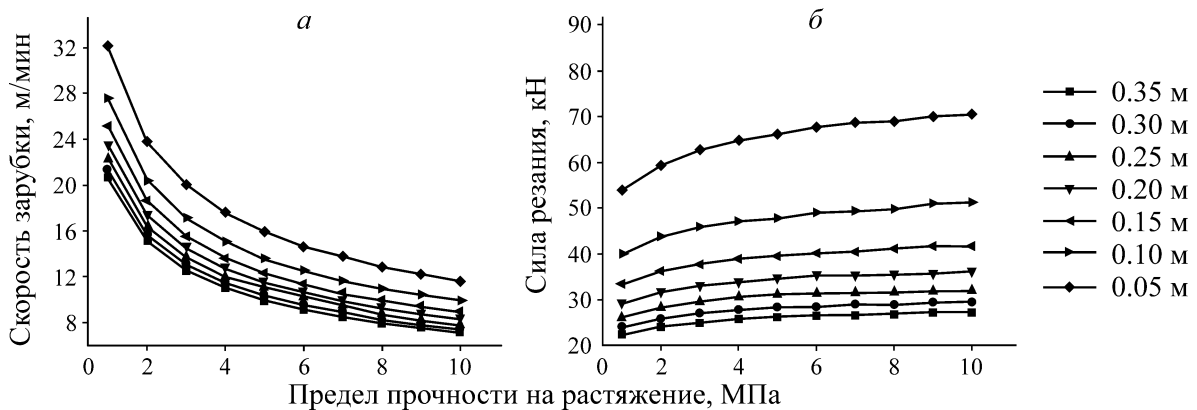


Рис. 8. Скорость зарубки с пределом прочности при различной глубине вруба (а) и сила резания с пределом прочности при различной глубине вруба (б)



На рис. 8б показана взаимосвязь между силой резания и пределом прочности породы на растяжение. Сила резания рассматривалась при различных значениях глубины вруба в широком диапазоне значений предела прочности на растяжение от 1 до 10 МПа. Показано, что сила резания для отдельного зубка увеличивается постепенно при значениях предела прочности от 1 до 6 МПа, а при значениях от 6 до 10 МПа увеличение происходит медленно. Чем выше предел прочности породы, тем больше сила резания зубка. Также на значение силы резания влияет глубина вруба — чем она больше, тем больше сила резания.

### ВЫВОДЫ

Исследование проводилось с использованием карьерного комбайна (с послыйным фрезерованием) с шириной фрезерного барабана 2.2 м. Определено и вычислено распределение мощности по узлам машины. Мощность фрезерного барабана составила 66 % от номинальной мощности машины. Комбайн совершает два типа движения: прямолинейное и вращательное. Найдена экспериментальная зависимость скорости зарубки от различных значений предела прочности породы и глубины вруба в соответствии с мощностью резания комбайна. Разработан график для расчета количества взаимодействующих с горной породой зубков, силы резания и скорости зарубки при различной глубине вруба и предела прочности породы. Выполненная работа определяет методологию проектирования фрезерного барабана в различных горно-геологических условиях. Предлагаемый подход в дальнейшем может дорабатываться в соответствии с реальными условиями.

Авторы выражают признательность производителям техники, в частности L&T и “Wirtgen”, а также руководству шахт за предоставленную возможность познакомиться с выпускаемой продукцией, узнать ее технические и эксплуатационные характеристики. Мнение, представленное в данном исследовании, принадлежит авторам и может не совпадать с мнением организаций, которые они представляют.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Wirtgen surface** miners in Operation Around the Globe, Job Report, Website: [www.media.wirtgen-group.com](http://www.media.wirtgen-group.com), 2013.
2. **Kumar C., Murthy V. M. S. R., Kumaraswamidhas L. A., and Prakash A.** Influence of cutting drum specifications on the production performance of surface miner under varied rock strength — some investigations, *J. Min. Met. Fuels.*, 2016, Vol. 64. — P. 181–186.
3. **Prakash A., Murthy V. M. S. R., and Singh K. B.** Rock excavation using surface miners: An overview of some design and operational aspects, *Int. J. of Mining Science and Tech.*, 2013, Vol. 23. — P. 33–40.
4. **Prakash A.** A study into the influence of intact rock and rock mass properties on the performance of surface miners in Indian geo-mining conditions, PhD thesis, Indian School of Mines Dhanbad, 2013.
5. **Evans I.** A theory of the basic mechanics of coal ploughing, *Proc. of the Int. Symp. on Mining Research*, University of Missouri, Oxford, Pergamon Press, 1961, Vol. 2. — P. 761–768.
6. **Thuro K.** Drillability prediction- geological influences in hard rock drill and blast tunneling, *Geological Rundsch*, 1997, Vol. 86. — P. 426–438.
7. **Murthy V. M. S. R., Munshi B., and Kumar B.** Predicting roadheader performance from intact rock and rock mass properties- a case study, *Proc. of National Seminar on Rock-machine Interaction in Excavations*, Banaras Hindu University, Varanasi, 2008.

8. **Jain S. C. and Rathore S. S.** Role of physico- mechanical properties in cutting performance of diamond wire saw in marble quarrying operation, Proc. of Mine Planning and Equipment Selection, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 2010. — P. 179–190.
9. **Prakash A., Murthy V. M. S. R., and Singh K. B.** Performance simulation of surface miners with varied machine parameters and rock conditions: some investigations, J. Geol. Min. Res., 2013, Vol. 5. — P. 12–22.
10. **Ordin A. A. and Schwabenland E. E.** Evaluation of technological parameters for apatite extraction by surface miners, J. Min. Sci., 2016, Vol. 52, No. 2. — P. 293–299.
11. **Ordin A. A. and Metel'kov A. A.** Optimization of the fully-mechanized stoping face length and efficiency in a coal mine, J. Min. Sci., 2013, Vol. 49, No. 2. — P. 254–264.
12. **Schwabenland E. E.** Potential of surface miners, Rats. Osv. Nedr., 2014, No. 1. — P. 54–60.
13. **Evans I.** A theory of the cutting force for point-attack picks, Int. J. Min. Eng., 1984, Vol. 2. — P. 63–71.
14. **Roxborough F. F. and Liu Z. C.** Theoretical considerations on pick shape in rock and coal cutting, Golosinski TS, editor, Proc. of the 6<sup>th</sup> Underground Operator's Conf., Kalgoorlie, WA, Australia, 1995. — P. 189–193.
15. **Goktan R. M.** A suggested improvement on Evans cutting theory for conical bits, Proc. of the 4<sup>th</sup> Int. Symp. on Mine Mechanization and Automation, Queensland, 1997. — P. 457–461.
16. **Goktan R. M. and Gunes N.** A semi-empirical approach to cutting force prediction for point-attack picks, J. South Afr. Inst. Min. Metall., 2005, Vol. 105. — P. 257–263.
17. **Belta B., Sonmez O. F., and Cengiz A.** Speed losses in V-ribbed belt drives, Mechanism and Machine Theory, 2015, Vol. 86. — P. 1–14.
18. **Regal power** transmission solutions, a case study, Recapturing the lost efficiency of a V-belt drive, Website: [www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Brochures](http://www.regalpts.com/PowerTransmissionSolutions/Brochures), 2015.
19. **Prakash A., Murthy V. M. S. R., and Singh K. B.** A new rock cuttability index for predicting key performance indicators of surface miners, Int. J. of Rock. Mech. and Min. Sci., 2015, Vol. 77. — P. 339–347.

*Поступила в редакцию 2/III 2018*