

**Practical implications.** The conformities to the law allow to expect indexes of quality of band conveyers on the level of vibration and reliability indexes depending on external environments.

**Keywords:** *quality, an index is reliability, foundations, ceiling, ergonomics, recommendations, exploitation, drive, experimental researches, selection, coefficient of difficulty of exploitation*

УДК 622.232

© В.В Русских, А.В Яворский, Е.А. Яворская, А.Н. Корольчук

**РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО  
КОМБАЙНА CLS450 В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ “СТЕПНАЯ”  
ЧАО “ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ”**

© V. Russkikh, A. Yavorskyi, E. Yavorskaya, A. Korolchuk

**CALCULATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF SHEARER  
CLS450 IN CONDITIONS OF “STEPNAYA” MINE  
PJSC “DTEK PAVLOGRADUGOL”**

Выполнены расчеты относительно применения очистного комбайна CLS450 нового технического уровня в условиях шахты «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Проведен анализ влияния сопротивляемости угля резанию на скорость подачи, производительность и объем добычи комбайна. Установлено, что расчетная нагрузка на очистной забой составит 3000 т / сут.

Виконані розрахунки щодо застосування очисного комбайна CLS450 нового технічного рівня в умовах шахти «Степова» ПАТ «ДТЕК Павлоградугілля». Проведено аналіз впливу опірності вугілля різанню на швидкість подачі, продуктивність і обсяг видобутку комбайна. Встановлено, що розрахункове навантаження на очисний вибій становитиме 3000 т / добу.

**Введение.** В составе очистного механизированного комплекса уровень нагрузок определяет очистной комбайн. Мировой опыт производства комбайнов свидетельствует, что за последние 10–15 лет многие ведущие фирмы, такие как «JOY» (США), «DBT» (Германия), «FAMUR» (Польша) перешли на выпуск комбайнов с электрической системой подачи на базе частотно-регулируемого привода, резко сократив или полностью отказавшись от производства комбайнов с гидроприводом [1]. Это увеличило производительность очистных комбайнов, повысило их надежность и ресурс. Решая задачу создания очистных комбайнов с электрической системой подачи, взамен морально устаревших комбайнов с цепной и гидравлической подачей, инженеры Comum Group, изготовили очистной комбайн нового технического уровня CLS450 (рис. 1) для отработки пластов тонких и средней мощности с изменяющейся гипсометрией от 1,05 до 2,4 м.

Основными конкурентами новой техники на рынках Украины и Таможенного союза являются польские, чешские и немецкие машиностроительные компании, при этом украинский комбайн более эффективный по ТСО (совокупная стоимость владения).



Рис. 1. Очистной комбайн CLS450

Для компании это первый комбайн с механизмом подачи на базе встроенного электрического привода с частотным регулированием, установленном на борту изготовленный на заводе ПАО «Свет Шахтера» г. Харьков. Он имеет более высокие параметры по энерговооруженности и ресурсу, чем выпускаемые ранее модели, и заменит устаревшие комбайны: 1К101У, КШ1КГУ, РКУ10, 1ГШ68Б.

Комбайн очистной CLS450 предназначен для механизированной добычи угля в составе очистных комплексов с различными типами крепей, скребковых конвейеров, оборудованных реечной системой подачи «Айкотрак» в высокопроизводительных очистных забоях пологих и наклонных пластов мощностью 1,05...2,4 м, подвигающихся по простиранию с углами падения до 35°, а также по восстанию и падению с углами до 10°, при сопротивляемости угля резанию до 360 кН/м.

Ключевыми особенностями комбайна являются:

- увеличение энерговооруженности привода резания до 400 кВт;
- использование отдельного привода резания и подачи;
- дистанционное управление;
- плавное регулирование скорости подачи за счет применения электрического частотно-регулируемого привода системы подачи;
- применение системы диагностики и контроля состояния основных узлов, индикации на дисплее технологической и диагностической информации;
- возможность обслуживания очистных забоев длиной до 350 м;
- применение электроблока и комплектующих зарубежного производства;
- применение приложения программного обеспечения, позволяющего контролировать загрузку приводов резания и подачу с последующим автоматическим выбором скорости подачи.

Конструктивными особенностями комбайна являются:

- корпус комбайна выполнен в виде силовой рамы коробчатой формы;

- основные узлы комбайна выполнены в виде блочной конструкции;
- преобразователь частоты регулируемого электропривода механизма подачи установлен на комбайне;
- расчетная долговечность силовых элементов редукторной группы 10000 часов.

Преимущества электрической системы подачи по сравнению с гидравлической следующие:

- лучшая тяговая характеристика – тяговое усилие больше на 20%, скорость – на 50%;
- выше КПД и энергоэффективность;
- простота в эксплуатации, отсутствуют изнашиваемые и загрязняющиеся элементы, элементы, требующие периодической настройки, нет необходимости в периодическом техническом обслуживании;
- возможность работы в аварийном режиме без преобразователя частоты;
- высокой уровень технической диагностики, настройка для конкретных условий.

Таблица 1

Горно-геологические условия применения комбайна

1 Длина лавы, м	300
2 Геологическая мощность пласта, м	0,86
3 Вынимаемая мощность пласта, м	1,05 м
4 Угол падения пласта, градусов	0-5 <sup>0</sup>
5 Система разработки	Столбовая с повторным использованием выемочного штрека
6 Марка угля	Г
7 Плотность горной массы, т/м	1,46
8 Сопrotивляемость угля резанию, кН/см	2,4-4,9
9 Крепость угля по шкале М.М. Протоdjяконова	2-4
10 Абразивность угля, мг/км	60-165
11 Длина выемочного поля, м	1900
12 Промышленные запасы выемочного поля, тыс. т	800
13 Наличие включений в пласте	Песчаника, пирита, глиносидеритовых почек
14 Характеристика вмещающих пород:	
- кровля	Аргиллит, алевролит и песчаник А <sub>1</sub> А <sub>2</sub> Б <sub>1</sub> Б <sub>2</sub> Б <sub>3</sub>
- почва	Аргиллит и песчаник П <sub>1</sub> П <sub>2</sub> П <sub>3</sub>
15 Содержание породы в горной массе, %	20-25
16 Способ управления кровлей	Полное обрушение
17 Глубина залегания, м	490
18 Гипсометрия пласта, градусов ±	4
19 Водообильность, м <sup>3</sup> /час	До 10м <sup>3</sup> /час из выработанного пространства

**Основная часть.** Сотрудниками Государственного ВУЗ «Национальный горный университет» совместно с инженерами компании Comum Group были определены технологические параметры работы комбайна для горно-геологических условий шахты «Степная» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь». В таблице 1 приведены горно-геологические условия применения комбайна на шахте «Степная».

### Расчет производительности комбайна CLS450

#### Расчет скорости подачи комбайна

Скорость подачи комбайна определяется по трем факторам: сопротивляемости угля резанию, газовому фактору и скорости крепления лавы.

#### 1. Расчет скорости подачи комбайна по сопротивляемости угля резанию:

Допустимое значение силы резания на резцах:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{102 \cdot P_{\text{уст}} \cdot \eta_{\text{и.о.}}}{v_p \cdot n_{\text{р.р.}}} = \frac{102 \cdot 200 \cdot 0,886}{2,8 \cdot 18} = 358 \text{ кг}$$

$P_{\text{уст}} = 200$  кВт – мощность, устойчиво развиваемая двигателем в условиях реальной сети;

$\eta_{\text{и.о.}} = 0,886$  – КПД исполнительного органа;

$v_p$  – скорость резания, м/с.

$$v_p = \pi \cdot D \cdot \frac{n}{60} = 3,14 \cdot 1 \cdot \frac{53,3}{60} = 2,8 \text{ м/с.}$$

$n = 53,3$  – частота вращения исполнительного органа, об/мин;

$n_{\text{р.р.}}$  – количество одновременно режущих резцов, шт. (задний шнек не задействован).

$$n_{\text{р.р.}} = \frac{N_u}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ шт.}$$

$N_u = 36$  шт – число резцов, установленных на исполнительном органе комбайна.

Определяем допустимое значение среза для вязких углей марки Г.

$$S_{\text{доп}} = \frac{Z_{\text{уст}} - 0,3 \cdot A - 7}{0,06A}, \text{ см}^2$$

$A$  – сопротивляемость угля резанию в зоне работы исполнительного органа, кН/м

$$A = A_p \cdot k_{\text{от}}, \text{ кН/м}$$

$k_{\text{от}}$  – коэффициент отжима

$$k_{\text{от}} = 0,48 + \frac{\frac{r}{m_{\text{вын}}} - 0,1}{\frac{r}{m_{\text{вын}}} + 1} = 0,48 + \frac{0,66}{1,76} = 0,86$$

$r = 0,8$  м ширина захвата комбайна;

$m_{\text{вын}} = 1,05$  м – вынимаемая мощность пласта;

Определение возможной скорости подачи комбайна при различной сопротивляемости угля резанию для комбайнов со шнековым исполнительным органом:

$$V_{n.\text{дон}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{л.р}} \cdot m \cdot n \cdot S_{\text{дон}}}{2 \cdot 10^4 \cdot r}, \text{ м/мин}$$

$n_{\text{л.р.}} = 2$  шт – число резцов в линии резания;

$m = 18$  – число линий резания;

$n = 53,3$  – частота вращения исполнительного органа, об/мин;

Результаты расчета скорости подачи комбайна при различных значениях сопротивляемости угля резанию:

$$V_{n.\text{дон}}^{280} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 53,3 \cdot 20,2}{2 \cdot 10^4 \cdot 0,8} = 7,7 \text{ м/мин}$$

$$V_{n.\text{дон}}^{365} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 53,3 \cdot 11,4}{2 \cdot 10^4 \cdot 0,8} = 4,4 \text{ м/мин}$$

$$V_{n.\text{дон}}^{490} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 53,3 \cdot 7,2}{2 \cdot 10^4 \cdot 0,8} = 2,7 \text{ м/мин}$$

Характер изменения расчетной скорости подачи комбайна в зависимости от сопротивляемости угля резанию представлен на рис. 2:

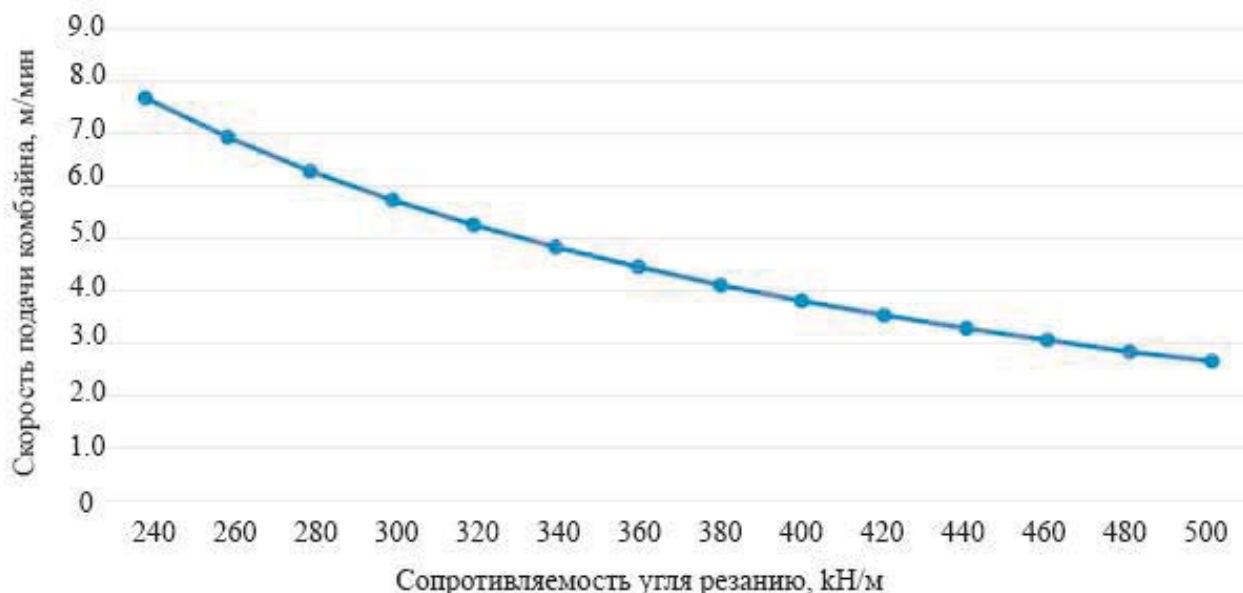


Рис. 2. Зависимость скорости подачи комбайна от сопротивляемости угля резанию

Из графика видно, что при увеличении сопротивляемости угля резанию от 280 кН/м до 490 кН/м, скорость подачи комбайна снижается в 2,8 раза.

2. Расчет скорости подачи комбайна по газовому фактору:

$$V_z = \frac{0.6 \cdot v \cdot m_{\text{вын}} \cdot b \cdot \varphi \cdot d \cdot k_{\text{ен}} \cdot k_{\text{д}}}{q \cdot r \cdot m_{\text{геол}} \cdot \gamma \cdot k_{\text{н}}}, \text{ м/мин}$$

где  $v = 4$  м/с – допустимая по Правилам безопасности в угольных шахтах (§161) скорость движения воздуха в лаве;

$m_{\text{вын}} = 1,05$  м – вынимаемая мощность пласта;

$\gamma = 1,46$  т/м<sup>3</sup> плотность горной массы;

$b = 5$  м – ширина призабойного пространства лавы;

$\varphi$  – коэффициент сужения воздушной струи ( $\varphi = 0,7 \dots 0,9$ );

$d = 1,3$  % - допустимый по ПБ (§194) [2] содержание метана в исходящей струе воздуха;

$k_{\text{ен}} = 1,4$  поправочный коэффициент на движение воздуха через выработанное пространство;

$k_{\text{д}} = 4,0$  – коэффициент дегазации с учетом прямоточной схемы проветривания и дегазации выработанного пространства;

$q = 10$  м<sup>3</sup>/т.с.д. – относительная газоносность пласта;

$m_{\text{геол}} = 0,86$  м – геологическая мощность пласта;

$k_{\text{н}} = 1,4$  – коэффициент неравномерности выделения метана в лаву [3].

$$V_z = \frac{0,6 \cdot 4 \cdot 1,05 \cdot 5 \cdot 0,9 \cdot 1,3 \cdot 1,4 \cdot 4,0}{10 \cdot 0,8 \cdot 0,86 \cdot 1,46 \cdot 1,4} = 6,2 \text{ м/мин}$$

3. Расчет скорости подачи комбайна по скорости крепления лавы:

$$v_{\text{кр}} = \frac{b_{\text{кр}}}{\sum t_{\text{кр}}} = \frac{1,5}{0,2} = 7,5 \text{ м/мин}$$

где  $b_{\text{кр}} = 1,5$  м – шаг установки секции крепи;

$\sum t_{\text{кр}} = 0,2$  мин (12 сек) – продолжительность цикла передвижки секции крепи.

Согласно расчетам скорость, подачи комбайна не должна превышать 6,2 м/мин, которая ограничивается газовым фактором. Данную скорость подачи комбайн не будет превышать при разрушении угля сопротивляемостью резания более 280 кН/м.

**Производительность комбайна** определяется по формуле:

$$Q = V_n \cdot m_g \cdot r \cdot \gamma, \text{ т/мин}$$

где  $V_n$  – скорость подачи комбайна, м/мин;

$m_g = 1,05$  м вынимаемая мощность пласта;

$\gamma = 1,46$  т/м<sup>3</sup> плотность горной массы;

Для трех значений сопротивляемости угля резанию была рассчитана производительность комбайна:

$$Q^{280} = 6,2 \cdot 1,05 \cdot 0,8 \cdot 1,46 = 7,6 \text{ т/мин};$$

$$Q^{365} = 4,4 \cdot 1,05 \cdot 0,8 \cdot 1,46 = 5,4 \text{ т/мин};$$

$$Q^{490} = 2,7 \cdot 1,05 \cdot 0,8 \cdot 1,46 = 3,3 \text{ т/мин};$$

Характер изменения производительности комбайна в зависимости от сопротивляемости угля резанию представлен на рис. 3:

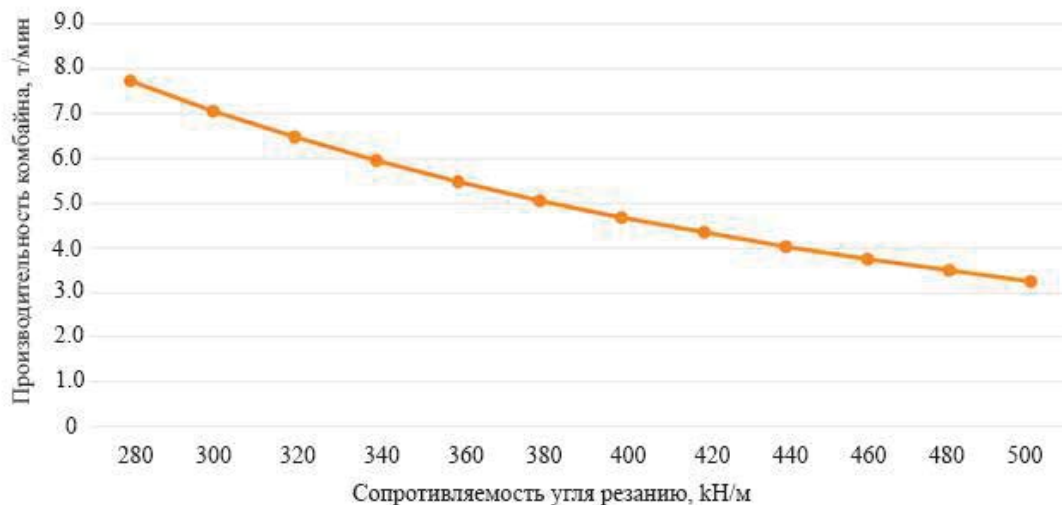


Рис. 3. Зависимость производительности комбайна от сопротивляемости угля резанию

Из графика видно, что при снижении сопротивляемости угля резанию от 490 кН/м до 280 кН/м, производительность комбайна увеличивается в 2,3 раза.

### Определение суточной нагрузки на очистной забой

Продолжительность цикла выемки угля:

$$t_u = (t_o + t_g) \cdot \sum k + t_z \cdot \sum k + t_k = 141 \cdot 1,1 + 27 = 182, \text{ мин}$$

$$t_u^{280} = (44 + 24) \cdot 1,1 + 27 = 102 \text{ мин}$$

$$t_u^{365} = (61 + 24) \cdot 1,1 + 27 = 120 \text{ мин}$$

$$t_u^{490} = (100 + 24) \cdot 1,1 + 27 = 163 \text{ мин}$$

где  $t_o$  – «чистое» время выемки угля комбайном, мин;

$$t_o = \frac{l_n - l_k}{V_n}, \text{ мин}$$

где  $l_n$  – длина лавы, м;

$l_k = 30$  м длина самозарубки комбайна м;

$V_n$  – расчетная скорость подачи комбайна, м/мин;

$t_g$  – продолжительность выполнения вспомогательных операций, мин;

$$t_o^{280} = \frac{300 - 30}{6,2} = 44 \text{ мин};$$

$$t_o^{365} = \frac{300 - 30}{4,4} = 61 \text{ мин};$$

$$t_o^{490} = \frac{300 - 30}{2,7} = 100 \text{ мин}.$$

$$t_g = 0,087(l_n - l_k) = 0,087(300 - 30) = 24, \text{ мин}$$

$\Sigma K$  – коефіцієнти для расчета цикла выемки:

$$\sum k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 = 1,1$$

где  $k_1 = 1,1$  – коэффициент отдыха;

$k_2 = 1$  – коэффициент, учитывающий степень обводненности лавы;

$k_3 = 1$  коэффициент, учитывающий категорию кровли;

$k_4 = 1$  коэффициент, учитывающий угол падения пласта;

$t_3 = 0$  время на зачистку лавы при односторонней схеме выемки;

$t_k$  – время выполнения концевых операций, мин;

Время на концевые операции способом косых заездов рассчитывается по формуле:

$$t_k = \frac{(2l_k + l_{\text{изг.кон}}) \cdot 2}{V_n} = \frac{(2 \cdot 8,1 + 15) \cdot 2}{2,3} = 27 \text{ мин}$$

где  $l_k = 8,1$  м длина корпуса комбайна;

$l_{\text{изг.кон}} = 15$  м длина корпуса изгиба конвейера, м;

Количество выемочных циклов в сутки рассчитывается по формуле:

$$n_u = \frac{t_{\text{сут}} - t_{\text{рем}} - t_{\text{н.з.}} \cdot n}{t_u}, \text{ циклов}$$

где  $t_{\text{сут}} = 1440$  мин – продолжительность суток;

$t_{\text{рем}} = 360$  мин – продолжительность ремонтной смены;

$t_{\text{н.з.}} = 15$  мин продолжительность подготовительно-заключительных операций в смене;

$n = 3$  число смен по добыче угля

Количество циклов при разной сопротивляемости угля резанию равно:

$$n_u^{280} = \frac{1440 - 360 - 15 \cdot 3}{102} = 10$$

$$n_u^{365} = \frac{1440 - 360 - 15 \cdot 3}{120} = 8,6$$

$$n_u^{490} = \frac{1440 - 360 - 15 \cdot 3}{163} = 6,4$$

Суточная нагрузка на очистной забой составит

$$Q_{\text{сут}} = m_{\text{вын}} \cdot l_l \cdot r \cdot \gamma \cdot n_u \text{ т/сут}$$

$$Q_{\text{сут}}^{280} = 1,05 \cdot 300 \cdot 0,8 \cdot 1,46 \cdot 10 = 3679 \text{ т/сут}$$

$$Q_{\text{сут}}^{365} = 1,05 \cdot 300 \cdot 0,8 \cdot 1,46 \cdot 8,6 = 3164 \text{ т/сут}$$

$$Q_{\text{сут}}^{490} = 1,05 \cdot 300 \cdot 0,8 \cdot 1,46 \cdot 6,4 = 2355 \text{ т/сут}$$

Характер изменения суточной нагрузки на очистной забой в зависимости от сопротивляемости угля резанию представлен на рис. 4:



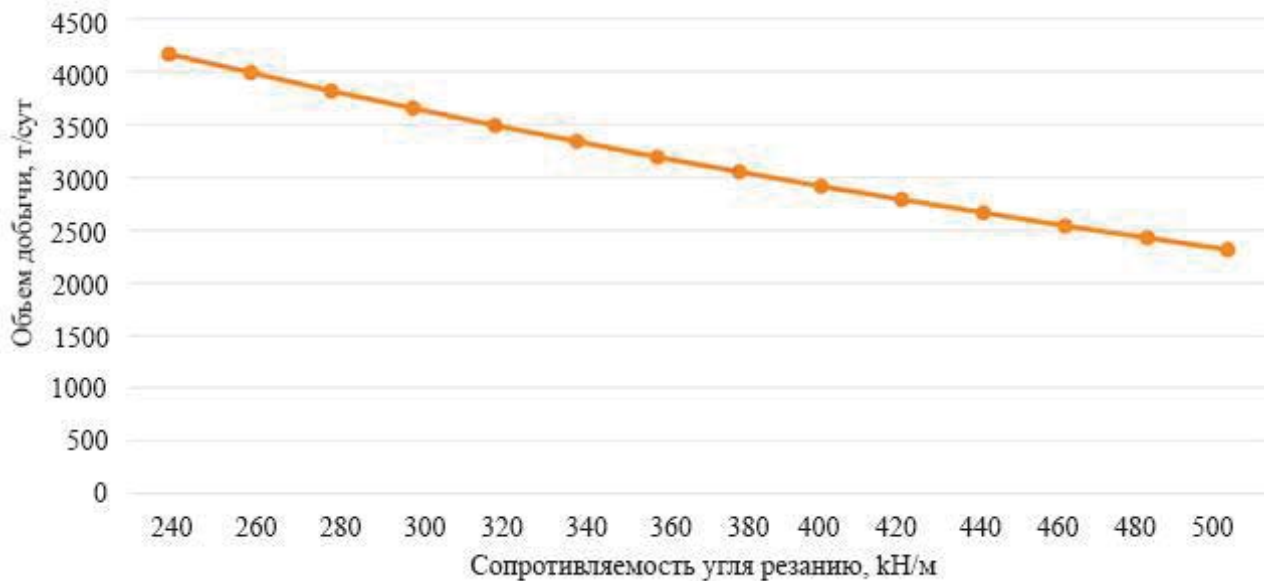


Рис. 4. Зависимость суточной нагрузки на очистной забой от сопротивляемости угля резанию

Из графика видно, что при снижении сопротивляемости угля резанию от 490 кН/м до 280 кН/м, объем суточной добычи увеличивается в 1,5 раза.

Машинное время работы комбайна за сутки составит:

$$T^{280} = \frac{3679}{60 \cdot 7,6} = 8,1 \text{ часа}$$

$$T^{365} = \frac{3164}{60 \cdot 5,4} = 9,8 \text{ часа}$$

$$T^{490} = \frac{2355}{60 \cdot 3,3} = 11,9 \text{ часа}$$

Средневзвешенная нагрузка на очистной забой в пределах заданной сопротивляемости угля резанию составит:

$$Q_{cp} = \frac{\sum A_n \cdot Q_n}{\sum A_n} = \frac{15756813}{5180} = 3042 \text{ т/сут}$$

**Выводы.** Расчет скорости подачи комбайна выполнен с учетом следующих ограничивающих факторов: мощности приводного электродвигателя, выделения метана в лаву, скорости крепления рабочего пространства.

Выполненный анализ влияния горно-геологических условий на расчетную скорость подачи комбайна показал что:

- средневзвешенная скорость подачи комбайна по мощности приводного электродвигателя составляет порядка 4,0 м/мин;
- ограничения скорости подачи комбайна по газовому фактору не должно превышать 6,2 м/мин;
- скорости крепления лавы составляет – 7,5 мин.

Таким образом, в условиях шахты «Степная» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», с обеспечением требований правил безопасности очистной комбайн CLS450 может эффективно и стабильно работать со следующими средневзвешенными значениями:

- скорость подачи – 4 м/мин при сопротивляемости угля резанию 380-400 кН/м;
- количество выемочных циклов за сутки – 8;
- нагрузка на очистной забой – 3000 т/сут;
- коэффициент машинного времени – 0,57 (10,3 часа).

#### Перечень ссылок

1. Косарев И.В., Рябченко А.С., Сергеев А.В., Бражинский С.С., Мешков В.М. Очистные комбайны УКД300, УКД400 для отработки тонких пластов // Уголь Украины. – 2011. – №1. с. 33 – 38.
2. 2. НПАОП 10.0-1.01-10. Правила безопасности в угольных шахтах [Текст]: НПАОП 10.0-1.01-10 / ред. комис.: С.А. Сторчак (пред.) [и др.]. – К.: Госгорпромнадзор Украины, 2010. – 432 с.
3. Нормативные нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных работ на шахтах: МУП, ГП Донецкий НИУИ, 2007. – 40 с.

#### ABSTRACT

**Purpose.** For the given mining-and-geological and mining conditions of the Stepnaya mine of PJSC DTEK Pavlogradugol perform the analysis for the use of the CLS450 shearer. Analyze the coal resistance to cutting on feed amount, capacity and shearer extraction volume.

**The methodology.** The feasibility study based on the methodology approved by the coal industry department was carried out. Analysis of the effect of the coal resistance to cutting on the shearer characteristics by an analytical method of research is performed.

**Findings.** For the given mining-and-geological and mining conditions, the main technological parameters of the shearer are calculated. The analysis of the effect of the coal resistance to cutting on feed amount, capacity and shearer extraction volume is performed.

**The originality.** Dependences of the coal resistance to cutting from the technical characteristics of the shearer allow to estimate efficiency of its operation for specific mining-and-geological conditions.

**Practical implications.** Adoption the national made shearer with a feeder based on the internal electric drive with frequency regulation in Ukrainian mines will increase the face output and the safety of miners. In particular, for the conditions of the "Stepnaya" mine of PJSC "DTEK Pavlogradugol" the estimated face output is 3000 tons per day.

**Keywords:** *shearer, coal resistance to cutting, capacity, electric drive, face output*