
Литература

1. Valery P. Didenko Metoda szacowania możliwości zapłonu przez wyładowanie w obwodach iskrobezpiecznych // Innowacyjne I bezpieczne systemy mechanizacyjne do eksploatacji surowców mineralnych: KOMAG, Zakopane; 14-16. 11. 2006 r. – Tom 2. – S. 5-9.
2. ГОСТ 22782.5-78. Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь». Технические требования и методы испытаний; Введ. с 01.01.80. – М.: Стандартиздат, 1979. – 70 с.
3. Диденко В. П. Современные подходы к оценке и обеспечению искробезопасности электрических цепей // Уголь Украины. – 2007. – №9. – С. 39-42.
4. ГОСТ Р 51330.10-99 Электрооборудование взрывозащищенное. – Ч. 11. – Искробезопасная электрическая цепь «i»; Введ. 01.01.2001. – М.: Госстандарт России, 2000. – 118 с.
5. IEC 60079-11 Ed. 5.0: Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety «i».

*Статья рекомендована к публикации
докт. техн. наук А.Г.Мнухиным*

УДК 622.33:622.268.1:622.232.7:622.23.054

Шабает О.Е., канд. техн. наук,
Семенченко А.К., докт. техн. наук, проф.,
Хиценко Н.В., канд. техн. наук, **Степаненко Е.Ю.**, аспирант
(ДонНТУ)

МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ МОДУЛЕМ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ КОНТУРА ВЫРАБОТКИ

Запропонована мехатронна система управління подачею виконавчого органа прохідницького комбайна, що дозволяє виключити перебір породи, обумовлений інерційністю підсистеми

«виконавчий орган». Розроблені математична модель і алгоритм функціонування інтелектуального модуля відтворення заданого контуру виробки.

Предложена мехатронная система управления подачей исполнительного органа проходческого комбайна, позволяющая исключить перебор породы, обусловленный инерционностью подсистемы «исполнительный орган». Разработаны математическая модель и алгоритм функционирования интеллектуального модуля воспроизведения заданного контура выработки.

Proposed the mechatronic control system of feed the actuating mechanism of roadheader which makes it possible to eliminate the excess of rock as a result of lag effect of subsystem «actuating mechanism». Developed the mathematical model and the operation algorithm of intelligent module of reproduction the final required profile roadway.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Важнейшим звеном в технологическом процессе горнодобывающего предприятия является проведение подготовительных горных выработок. От темпов их прохождения и качества в значительной мере зависит эффективная работа всего добывающего комплекса. Характерной особенностью работы существующих проходческих комбайнов являются невозможность точного воспроизведения заданного профиля выработки и, как следствие, значительные переборы породы. Объем рабочих операций по проведению подготовительных выработок в значительной мере определяется поверхностью забоя, формируемой при работе исполнительного органа, точностью контура выработки. Поэтому одним из основных требований для

проходческих комбайнов нового технического уровня является требование к точности профиля выработки и качеству ее поверхности.

Анализ исследований и публикаций. Согласно данным [1] перебор по контуру выработки даже при автоматизированном управлении составляет до 20% от сечения выработки вчерне (коэффициент перебора породы $k_s=1,2$). Переборы делают практически невозможной механизацию возведения крепи, приводят к непроизводительным расходам электроэнергии и ресурса комбайна, снижают срок службы выработки и увеличивают затраты на ее поддержание, а также требуют дополнительных затрат на забутовку при креплении выработки. При обеспечении высокой точности образуемого контура выработки снижается объем разрушаемой исполнительным органом породы, что позволяет снизить время и затраты энергии на прохождение 1 км выработки, повысить ее устойчивость, а также исключить или значительно снизить объемы работ, выполняемые с использованием физического труда (подготовка поверхности забоя к установке крепи, забутовка пустот за крепью и т.д.) [2].

Существенное влияние на величину переборов породы оказывают следующие факторы:

- ▶ форма режущего органа (коронки);
- ▶ устойчивость машины;
- ▶ вывалы боковых пород выработки;
- ▶ инерционность подсистемы «исполнительный орган» проходческого комбайна.

При этом наиболее изучено влияние первых трех факторов. Так, например, в работе [2] отмечается, что для получения высокой точности обработки контура выработки целесообразно обеспечить такую конструкцию исполнительного органа разрушения, чтобы образующая линия его поверхности, формирующей профиль выработки, совпадала бы с требуемыми образующими линиями стенок и почвы выработки. В связи с этим применение поперечно-

осевых коронок для такого исполнительного органа нежелательно. Возможным представляется применение продольно-осевых коронок, а также шнековых либо барабанных органов разрушения.

Вместе с тем влияние инерционности подсистемы «исполнительный орган» проходческого комбайна на величину переборов породы в настоящее время изучено недостаточно.

Снижение величины коэффициента перебора породы k_S может быть обеспечено на основе повышения качества реализации сложных и точных движений исполнительного органа за счет интеллектуального управления его подачей. Т.е. проходческий комбайн необходимо рассматривать как мехатронный объект.

Постановка задачи. Цель работы – снижение величины перебора породы, обусловленного инерционностью подсистемы «исполнительный орган» проходческого комбайна, за счет применения интеллектуальной системы управления его рабочим процессом.

Изложение материала и результаты. На сегодняшний день точность воспроизведения заданного профиля является важным параметром для успешной проходки подготовительных выработок. Чтобы снизить себестоимость проходческих работ, крайне важно их производить как можно ближе к линии проекта продольного профиля выработки. График, приведенный на рис.1, демонстрирует пример увеличения себестоимости, вызванной перебором породы (50, 100 и 150 мм) по контуру выработки со следующими параметрами: длина – 2000 м, диаметр – 10 м [3].

Как было отмечено выше, одним из основных факторов, определяющих величину перебора породы, является инерционность подсистемы «исполнительный орган» проходческого комбайна. Учет запаздывания в отработке управляющих сигналов может быть реализован при оснащении комбайна интеллектуальной системой управления, позволяющей предсказывать момент подхода коронки к проектному контуру выработки и останавливать ее подачу с

некоторым опережением, при этом проходческий комбайн должен рассматриваться как мехатронный объект [4].

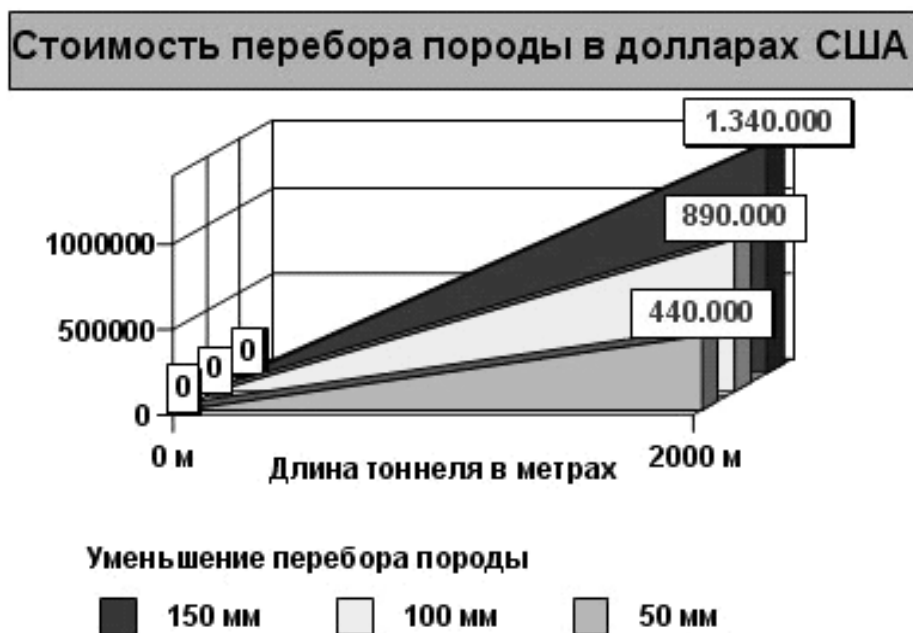


Рис. 1. Зависимость себестоимости проходческих работ от величины перебора породы

Структура мехатронной системы подачи ИО ПК с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки, позволяющим исключить перебор породы по контуру выработки, обусловленный инерционностью подсистемы «исполнительный орган», приведена на рис. 2.

Для успешной реализации поставленной цели алгоритм функционирования интеллектуального модуля воспроизведения контура выработки должен учитывать следующие особенности:

- ▶ случайный характер и автокорреляцию физико-механических свойств разрушаемого массива;
- ▶ «послойную» обработку забоя с различными для каждого шага фрезерования условиями контакта ИО с забоем в зонах образования контура выработки;
- ▶ совместную работу с интеллектуальным модулем регулирования нагрузки привода исполнительного органа [4].

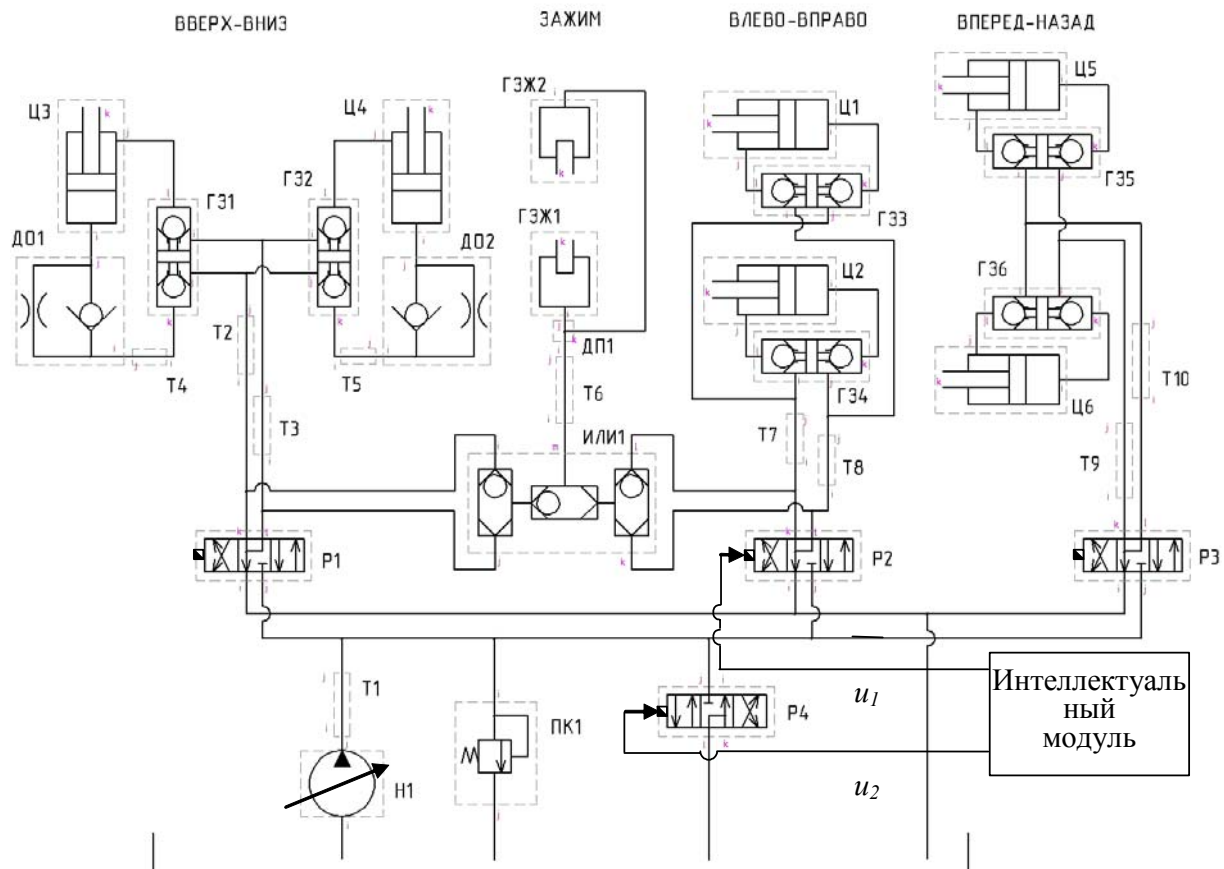


Рис. 2. Структура мехатронной системы подачи ИО ПК с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки

Алгоритм функционирования интеллектуального модуля воспроизведения контура выработки (рис. 3) предусматривает выполнение следующих этапов.

1. Задание требуемого контура выработки в виде массива $\bar{r}^{Vi,j}$ координат положений ИО, при которых образуются участки контура выработки при выполнении j -тых шагов фрезерования в i -том цикле обработки забоя.

2. Определение инерционности подсистемы «исполнительный орган» путем фиксации значений переборов породы по контуру выработки $\Delta y_{0,j}$ и средних скоростей подачи ИО при подходе к контуру $V_{0,j}$ на каждом j -том шаге фрезерования («нулевой» цикл обработки забоя – $i=0$). Значение перебора $\Delta y_{0,j}$ определяется как проекция разности фактических $\bar{r}_{ИО0,j}$ и требуемых $\bar{r}^{V0,j}$ координат

ИО на горизонтальную в поперечном сечении выработки ось Ox с учетом направления подачи ИО по зависимости:

$$\Delta y_{0,j} = (\bar{r}_{ИО0,j} - \bar{r}_{B0,j})_x \cdot \text{sign} V_{0,j}.$$

Величина $\Delta y_{0,j}$ соответствует пути остановки ИО при отключении подачи с учетом сопротивления внешней среды.

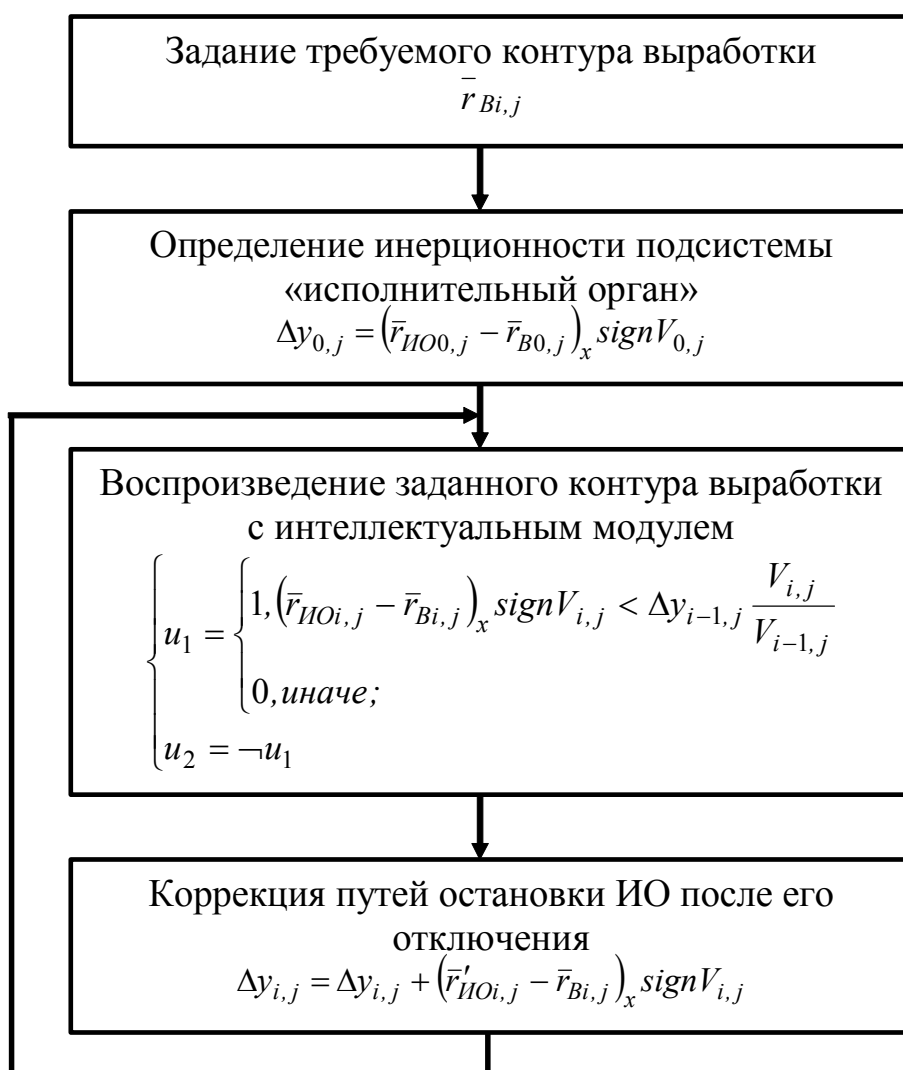


Рис. 3. Алгоритм функционирования интеллектуального модуля воспроизведения контура выработки

3. Воспроизведение заданного контура выработки с включенным интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки.

При этом математическая модель его рабочего процесса может быть представлена как

$$\begin{cases} u_1 = \begin{cases} 1, (\bar{r}_{ИОi,j} - \bar{r}_{Bi,j})_x \text{sign} V_{i,j} < \Delta y_{i,j} \\ 0, \text{иначе;} \end{cases} \\ u_2 = -u_1, \end{cases}$$

где u_1, u_2 – управляющие сигналы на гидрораспределители (1/0 – включение/выключение подачи ИО); $\Delta y_{i,j}$ – путь остановки ИО при отключении подачи на j -том шаге фрезерования в i -м цикле обработки забоя. Величина $\Delta y_{i,j}$ на каждом цикле обработки забоя корректируется с учетом предыдущего значения $\Delta y_{i-1,j}$ и изменений средних скоростей подачи ИО при подходе к контуру выработки, т.е.

$$\Delta y_{i,j} = \Delta y_{i-1,j} \frac{V_{i,j}}{V_{i-1,j}}.$$

Математическая модель интеллектуального модуля воспроизведения контура выработки как функционально законченного элемента

$$\bar{Y} = f(\bar{X}, \bar{P}),$$

где $\bar{Y}\{u_1, u_2\}$ – выходной вектор;
 $\bar{X}\{\bar{r}_{ИОi,j}, V_{i,j}\}$ – входной вектор;
 $\bar{P}\{\bar{r}_{Bi,j}\}$ – вектор параметров блока программного управления.

Скорость подачи $V_{i,j}$ определяется усреднением мгновенных значений скорости подачи на интервале движения ИО $\Delta y_{0,j}$ («скользящее среднее»). Величина $V_{i,j}$ зависит от параметров среза (B – глубина зарубки, ΔH – шаг фрезерования), мощности приводного двигателя резания, параметров гидросистемы, физико-механических свойств разрушаемой породы и системы управления подачи ИО.

Таким образом, пока выполняется условие $(\bar{r}_{ИОi,j} - \bar{r}_{Bi,j})_x \text{sign} V_{i,j} < \Delta y_{i,j}$, продолжается движение исполнительного органа в заданном режиме работы ПК. В противном случае происходит соответствующее переключение

позиций гидрораспределителей и отключение подачи жидкости в исполнительные гидроцилиндры, т.е. $Q_{ц} = 0$. Исполнительный орган продолжает свое движение за счет инерционности.

4. Коррекция путей остановки ИО по результатам i -го цикла обработки забоя для j -го шага фрезерования по формуле

$$\Delta y_{i,j} = \Delta y_{i,j} + (\bar{r}'_{ИОi,j} - \bar{r}_{Bi,j})_x \text{sign} V_{i,j},$$

где $\bar{r}'_{ИОi,j}$ – конечное положение ИО.

Таблица 1

План вычислительного эксперимента и его результаты

№ опыта	Режим разрушения					Результаты*			
	Вид режима	$B, \text{ м}$	$\Delta H, \text{ м}$	$p_{к}, \text{ МПа}$	Инт. модуль воспр-я контура выработки	$\Delta y, \text{ мм}$	$V_y, \text{ м/мин}$	$p, \text{ МПа}$	$P_d, \text{ кВт}$
1	боковой рез	0,7	0,3	100	-	52	7,6	11,7	88
2					+	0	7,6	11,7	88
3				200	-	54	6,8	14,5	156
4					+	0	6,8	14,5	156
5				500	-	37	3,7	15,5	215
6					+	0	3,7	15,5	215
7				1000	-	22	1,9	17,0	230
8					+	0	1,9	17,0	230

* В таблице приняты следующие обозначения измеряемых величин: Δy – перебор породы, мм; V_y – средняя скорость обработки забоя за интервал Δy , предшествующий переключению режимов работы гидрораспределителей, м/мин; p – максимальное среднее давление в гидроцилиндрах, МПа; P_d – средняя мощность двигателя, кВт.

Оценка эффективности мехатронной системы подачи ИО ПК с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки выполнялась методом вычислительного эксперимента. В качестве объекта исследований принят проходческий комбайн типа КПД. В табл.1 приведены план вычислительного эксперимента и его результаты. План вычислительного эксперимента предусматривает

реализацию режима бокового реза с наиболее характерными параметрами среза для различной контактной прочности p_k обрабатываемого забоя при наличии интеллектуального модуля воспроизведения контура выработки и без него.

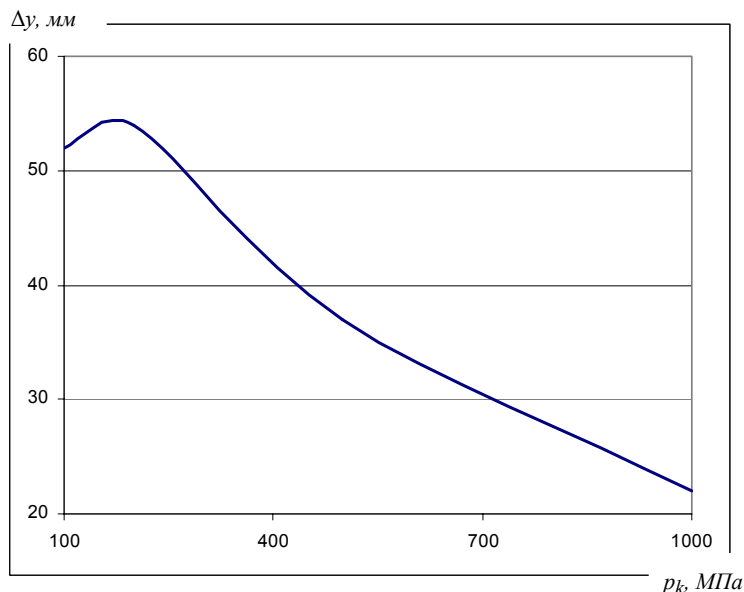


Рис. 4. Зависимость величины перебора от контактной прочности породы

По результатам модельного эксперимента установлено, что инерционность подсистемы «исполнительный орган» проходческого комбайна обуславливает переборы породы за проектный контур выработки величиной до 55 мм (рис.4). Величина перебора зависит от инерционности управляющей системы, инерционности самого комбайна и его исполнительного органа, а также от физико-механических свойств горного массива. Применение мехатронной системы подачи ИО ПК с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки позволяет свести перебор породы практически до нуля, что позволяет сократить непроизводительные расходы электроэнергии, ресурса комбайна и снизить себестоимость проходческих работ.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Процесс остановки исполнительного органа после подачи сигнала в систему его управления сопровождается дополнительными перемещениями исполнительного органа,

обусловленными инерционными свойствами системы его подачи. Для проходческого комбайна КПД величина этих перемещений составляет 20-55 мм в зависимости от контактной прочности разрушаемой породы (100-1000 МПа), с увеличением которой величина перебора породы уменьшается.

2. Учет запаздывания в отработке управляющих сигналов может быть произведен на основе оснащения проходческого комбайна мехатронной системой подачи ИО ПК с интеллектуальным модулем воспроизведения контура выработки, позволяющим предсказывать момент подхода коронки к проектному контуру выработки и останавливать ее подачу с некоторым опережением этого момента. Путем имитационного математического моделирования работы проходческого комбайна типа КПД установлено, что интеллектуальный модуль воспроизведения контура выработки позволяет свести перебор породы, обусловленный инерционными свойствами системы его подачи, практически до нуля.

Литература

1. Семенченко А.К., Шабаев О.Е., Семенченко Д.А., Хиценко Н.В. Перспективы развития проходческих комбайнов // Горная техника. – 2006: Каталог-справочник. – С-Пб: ООО «Славутич», 2006. – С. 8-15.
2. Семенченко А.К., Кравченко В.М., Шабаев О.Е. Теоретические основы анализа и синтеза горных машин и процесса их восстановления как динамических систем. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. – 302с.
3. TMS - система геодезического обеспечения подземного строительства (тоннелей) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gfk-leica.ru/tms/index.htm>.
4. Шабаев О.Е., Семенченко А.К., Степаненко Е.Ю., Хиценко Н.В. Оценка эффективности проходческого комбайна с интеллектуальной системой «управление-подача» исполнительного органа. // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський наук.-техн. журн. гірничого профілю. – №1. – 2009. – С. 207-218.

*Статья рекомендована к публикации
докт. техн. наук, проф. В.Г.Нечипаевым*