

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ

Ю.Н. Линник¹, В.Ю. Линник¹, А.Б. Жабин^{2,3}, А.В. Поляков^{2,3}

¹ Государственный университет управления, Москва, Россия, e-mail: yn_linnik@guu.ru

² Тульский государственный университет, Тула, Россия

³ Тульское региональное отделение межрегиональной общественной организации
Академия горных наук, Тула, Россия

Аннотация: Рассмотрены результаты исследований по комплексной оценке показателей свойств угольных пластов. Исследования проводились в рамках разработки программного обеспечения для нагруженности шнековых исполнительных органов и выбора рациональной схемы расстановки режущего инструмента. Установлено, что используемый в расчетах по выбору оптимальных параметров шнековых исполнительных органов для очистных комбайнов показатель сопротивления пласта резанию не в полной мере реагирует на содержание в угольных пластах крепких породных прослоек песчаников и алевролитов, а также крупных твердых включений. Последнее приводит к существенным ошибкам при проектировании исполнительных органов, особенно предназначенных для выемки пластов сложного строения. В этой связи проведены исследования для разработки такого показателя, который бы комплексно учитывал как удельное содержание в угольном пласте неоднородностей, так и их прочностные характеристики. С этой целью исследовалась корреляция между показателями, характеризующими эффективность процесса выемки угля и показателями прочностных свойств угольного пласта. На основании физических представлений о взаимодействии резцов с разрушаемым угольным массивом предложен показатель, дающий комплексную оценку прочностных свойств угольных пластов сложного строения. Обобщение данных о характеристиках разрушаемости угольных пластов позволило сформировать электронную базу данных о шахтопластах России, включающую все характеристики пластов, в том числе и качественные. Рекомендовано использовать разработанный комплексный показатель прочностных свойств пластов и базу данных в расчетах по определению усилий на резах и нагруженности исполнительных органов.

Ключевые слова: угольный пласт, сопротивление резанию, твердые включения, породные прослойки, крепость, интегральная оценка, разрушаемость.

Для цитирования: Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Поляков А. В. Комплексная оценка прочностных свойств угольных пластов сложного строения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С. 33–41. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-33-41.

Integrated estimation of strength properties of complex-structure coal seams

Yu.N. Linnik¹, V.Yu. Linnik¹, A.B. Zhabin^{2,3}, A.V. Polyakov^{2,3}

¹ State University of Management, Moscow, Russia, e-mail: yn_linnik@guu.ru

² Tula State University, Tula, Russia

³ Tula Regional Department of the Academy of Mining Sciences, Tula, Russia

Abstract: The article reports studies aimed at integrate estimation of coal seam properties. The studies were undertaken in the framework of software development for drum loading and pattern selection for attack picks. It is found that the index of coal seam cuttability, used in calculation of optimal parameters for shearer–loader drums, neglects content of hard sandstone and siltstone interbeds in coal seams, as well as large hard shots. As a result, considerable errors are possible in engineering cutting drum, especially for complex-structure seams. In this connection, the research was accomplished to find an index to integrate both specific content of discontinuities and their strength characteristics in coal seams. To this effect, the intercorrelation between characteristics between coal cutting efficiency and coal seam strength properties were studied. Based on the physical understanding of interaction between picks and coal, the index of integrated estimation of strength properties of complex-structure coal seams is proposed. Generalized data on breaking characteristics of coal seams are compiled into electronic data base on coal seams under mining in Russia, comprising all characteristics, including qualitative. It is recommended to use the developed integrated index of strength properties of coal seams as well as the data base in calculation of forces on picks and loads on drums of shearer–loaders.

Key words: coal seam, cuttability, hard shots, dirt bands, integral estimate, breaking characteristics.

For citation: Linnik Yu. N., Linnik V. Yu, Zhabin A. B., Polyakov A. V. Integrated estimation of strength properties of complex-structure coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(8):33-41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-08-0-33-41.

Введение

Различия в геологическом строении угольных пластов оказывают влияние на динамическую нагруженность и надежность элементов выемочных машин и должны учитываться в первую очередь при выборе параметров режущего инструмента, исполнительных органов и трансмиссий.

В силу изменчивости свойств угольного массива, обусловленной главным образом наличием в пластах неоднородностей (породных прослоек и твердых включений) и влиянием горного давления, описание пласта как объекта разрушения при помощи физических величин для решения инженерных задач оказалось несостоятельным. В настоящее время общепризнанным считается использование для этих целей технологических показателей, оценивающих прочностные свойства пластов угля и его компонентов. Основные представления о характеристиках разрушаемости угольных пластов как объектов разрушения резцами исполнительных органов изложены в работах [1–7].

Разработка комплексного показателя содержания и свойств неоднородностей в угольном пласте

Для инженерных расчетов принято использовать следующие характеристики разрушаемости пластов: сопротивляемость угля $A_{уг}$ и пласта $A_{пл}$ резанию (Н/мм); сопротивляемость резанию твердых включений $A_{вкл}$ (Н/мм) и породных прослоек $A_{п.п.}$ (Н/мм); удельное содержание в пласте твердых включений $S_{вкл}$ и породных прослоек $S_{п.п.}$ (%), абразивность пласта ρ (мг/км); показатель степени хрупкости B и способности угля к измельчению m , являющиеся безразмерными величинами.

Основным показателем, оценивающим прочность угольных пластов как объектов разрушения механическим способом, является сопротивляемость их резанию. Наиболее полно исследования в этой области изложены в монографии [1].

Под сопротивляемостью резанию понимается способность угольного массива противостоять механическим воздействиям при резании его резцовым

инструментом, имеющим стандартные геометрические параметры. В качестве показателя сопротивляемости резанию принят показатель A , который представляет собой приращение силы резания на 1 см толщины стружки при резании динамометром крупного скола (ДКС) объекта разрушения, оснащенного резцом с шириной режущей кромки 2 см в стандартизованном режиме

$$A = Z/h, \quad (1)$$

где A — показатель сопротивляемости резанию, Н/мм; Z — сила резания, Н; h — толщина стружки, мм.

Для угольных пластов, содержащих породные прослойки, Е.З. Позин предложил рассчитывать среднюю сопротивляемость пласта резанию по выражению [1]

$$A_{\text{пла}} = \frac{(\sum A_{\text{ур}} \cdot h_{\text{ур}} + \sum A_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}})}{(h_{\text{ур}} + h_{\text{пр}})}, \quad (2)$$

где $A_{\text{ур}}$ и $A_{\text{пр}}$ — сопротивляемость резанию угольных пачек и породных прослоек соответственно, Н/мм; $h_{\text{ур}}$ и $h_{\text{пр}}$ — мощность пачек угля и прослоек соответственно, м.

Для пластов, содержащих нераздробленные и консолидированные твердые включения, предложено сопротивляемость резанию приближенно вычислять по формуле

$$A_{\text{ур}} = d \cdot (1 \pm k \cdot v_d) \cdot \bar{A}_{\text{ур}}, \quad (3)$$

где d — величина, численно равная отношению сопротивляемости пласта резанию к сопротивляемости угля резанию; $k = 1,5 - 2,5$ — стандартное отклонение, принимаемое в зависимости от удельного содержания в пласте твердых включений и необходимой точности расчетов; v_d — коэффициент вариации значений величины d .

Значения d изменяются от 1,9 в первом классе по сопротивляемости пластов резанию до 1,03 в седьмом классе.

В ранее опубликованных работах отечественных исследователей, посвященных оценке характеристик разрушаемо-

сти угольных пластов, в том числе [1, 8, 9], показатель $A_{\text{пла}}$ используется в качестве основной характеристики, комплексно описывающей свойства пластов. Показатель в работах [1, 5, 6, 12] определяется как величина, учитывающая совокупное усредненное влияние $A_{\text{ур}}$, $A_{\text{пр}}$ и $A_{\text{вкл}}$. Полученное при этом значение $A_{\text{пла}}$, как показывают наблюдения, недостаточно полно реагирует на содержание в пласте твердых включений. Особенно это касается пластов, где наблюдалась существенная разница между $A_{\text{ур}}$ и $A_{\text{вкл}}$. В связи с этим были велики и динамические нагрузки на шнековом исполнительном органе, влияющие, в свою очередь, на надежность и производительность комбайна. Затруднения при определении величин d , k и v_d , также оказывают влияние на расчет $A_{\text{пла}}$ по формуле (3), а возникающие при этом ошибки приводят к накоплению погрешности при выборе параметров машин, особенно на пластах сложного строения. Кроме того, при подготовке статьи, были проанализированы результаты исследований зарубежных ученых в области резания угля [10–14], которые подтвердили этот вывод.

Следовательно, возникает задача, связанная с необходимостью разработки показателя, который бы комплексно учитывал наличие в угольном пласте неоднородностей и был при этом лишен недостатков, описанных выше. С другой стороны, разработанный показатель должен быть пригоден для использования в методиках определения прогнозной производительности и других технологических и экономических показателей работы угледобывающего предприятия.

Для разработки такого показателя исследовалась корреляция между показателем, описывающим исследуемый процесс, и показателями прочностных свойств угольного пласта. Таким образом, поиск сводится к методу инвариантных корреляционных отношений, и в качестве ре-

зультатирующего показателя выбирается показатель, который отражает наиболее тесную связь с исследуемой характеристикой.

Режущий инструмент шнекового исполнительного органа является начальным звеном во всем процессе добычи, контактирует с забоем, воспринимая и передавая далее на шнек и на комбайн все возникающие динамические нагрузки, уровень которых напрямую зависит от сложности строения пласта. Поэтому в качестве исследуемой величины был принят межремонтный ресурс $R_{м.ш.}$. Далее было установлено, что значимой связи между показателем $R_{м.ш.}$ и значениями $A_{ур}$, $A_{пл}$, абразивностью пласта ρ , $S_{вкл}^*$ не наблюдается [15]. Следовательно, есть основания утверждать, что прочностные свойства угольного массива, рассмотренные с точки зрения их индивидуального влияния, не позволяют дать комплексной оценки характеристик разрушаемости пласта. Устойчивая связь межремонтного ресурса с показателем $A_{ур}$ наблюдалась лишь на пластах чистого строения, либо с весьма низким, не более 0,04% $S_{вкл}^*$. Однако в условиях поставленной задачи необходимо установить критерий, который не только учитывал бы влияние всех прочностных характеристик пласта, но и чувствительно реагировал на изменение каждой из них.

Поэтому исследования были направлены по пути синтеза нового обобщенного критерия или системы характеристик. В этой связи необходимо подробное и тщательное изучение того, как прочность пластов оказывает влияние на показатели надежности исполнительных органов, и необходимо также рассматривать процесс не через призму межремонтного ресурса, а отталкиваться от показателя частоты отказов [16]. Последние, в свою очередь, возникают вследствие накопления в отдельных узлах и агрегатах повреждений, по мере накопления которых

предел прочности деталей $[\sigma]$ снижается. При нарушении сроков планового ремонта $[\sigma]$ может достичь предельного уровня $\sigma_{пр}$, когда влияние максимальных динамических нагрузок при перерезании мощных породных прослоев или твердых включений может стать определяющим. При $[\sigma] < \sigma_{пр}$ наступает аварийный отказ шнекового исполнительного органа.

В общем случае надежность шнекового исполнительного органа определяется выражением

$$R(t) = \exp\{-[(r_n) + (r_b)]t\}, \quad (4)$$

где r_n , r_b — интенсивность постепенных и внезапных отказов шнека соответственно; t — наработка.

Частота постепенных отказов исполнительного органа определяется процессом накопления нарушений в элементах и агрегатах и непосредственно связана с $A_{пл}$ зависимостью

$$r_n \equiv A_{пл}. \quad (5)$$

Внезапные отказы r_b возникают с частотой, на которую оказывают влияние максимальные нагрузки и неравномерность периодичности их возникновения. Они могут быть охарактеризованы показателем содержания и свойств неоднородностей в пласте A_n^* (Н/мм), который учитывает прочностные характеристики и удельное содержание породных прослоев и твердых включений и рассчитывается по формуле

$$A_n^* = A_{вкл}^* + A_{п.п}^*, \quad (6)$$

где $A_{вкл}^*$ — обобщенный показатель содержания и свойств твердых включений, Н/мм; $A_{п.п}^*$ — обобщенный показатель содержания и свойств породных прослоев, Н/мм.

Значения $A_{вкл}^*$ и $A_{п.п}^*$ в свою очередь определяются как

$$A_{вкл}^* = 1,5 A_{вкл} \cdot K_{вкл} \cdot S_{вкл}^* \cdot d_n; \quad (7)$$

$$A_{п.п}^* = 1,5 A_{п.п} \cdot K_{п.п} \cdot S_{п.п}^*. \quad (8)$$

Коэффициенты $K_{вкл}$, $K_{п.п}$ определяются по формулам:

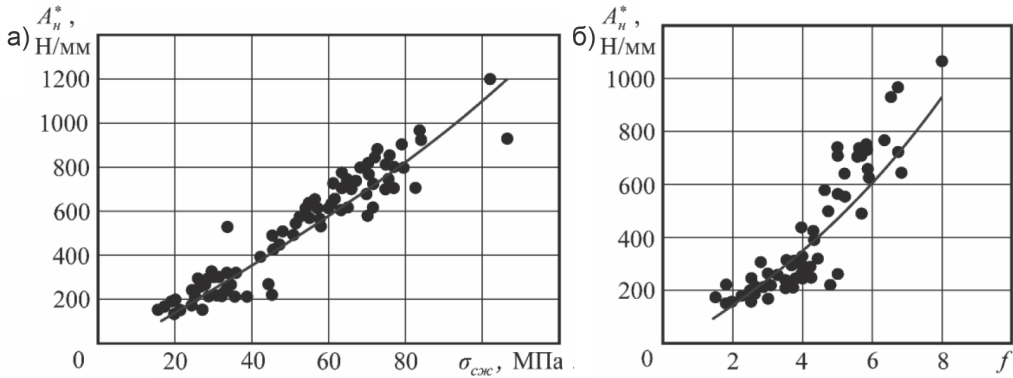


Рис. 1. Зависимости сопротивляемости резанию неоднородностей в пласте A_n^* от предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ (а) и коэффициента крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова f (б)
 Fig. 1. According to resistance to cutting of inhomogeneities in the formation of A_n^* from the limit of compressive strength $\sigma_{сж}$ (a) and strength coefficient on a scale of Professor M.M. Protodiakonov f (b)

$$K_{вкл} = (A_{вкл} - A_{ур}) / A_{ур}; \quad (9)$$

$$K_{п.п} = (A_{п.п} - A_{ур}) / A_{ур}, \quad (10)$$

где $A_{вкл}$, $A_{п.п}$ — средняя сопротивляемость резанию твердых включений и породных прослоек соответственно.

Величина d_n описывает долю включений, перерезаемых резцами, и принимается: для раздробленных включений — 0,87; для нераздробленных включений — 0,9; для консолидированных включений — 0,99.

Далее были выполнены расчеты, направленные на поиск зависимости между показателем A_n^* и коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова и величиной $\sigma_{сж}$, характеризующей предел сопротивления одноосному сжатию, поскольку именно эти характеристики чаще всего указываются в геологической документации угольного пласта.

На рис. 1 представлены зависимости, демонстрирующие устойчивую связь между указанными характеристиками и показателем A_n^* .

Результат исследования кривых, представленных на рис. 1, позволил получить следующие выражения:

$$A_n^* = 0,3 \cdot (\sigma_{сж})^{1,19}; \quad (11)$$

$$A_n^* = 56,3 \cdot f^{1,35}. \quad (12)$$

Учитывая выражения (11) и (12), показатель A_n^* может быть определен следующим образом:

- для предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$

$$A_n^* = (\sigma_{сж})^{1,19} \cdot (0,45 \cdot K_{вкл} \cdot S_{вкл}^* \cdot d_n + 0,3 \cdot K_{п.п} \cdot S_{п.п}^*); \quad (13)$$

- для коэффициента крепости f

$$A_n^* = f^{1,35} \cdot (84,4 \cdot K_{вкл} \cdot S_{вкл}^* \cdot d_n + 56,3 \cdot K_{п.п} \cdot S_{п.п}^*). \quad (14)$$

Учитывая вышеизложенные рассуждения, можно считать, что

$$r_b \equiv A_n^* \cdot k_n, \quad (15)$$

где k_n — коэффициент неоднородности или коэффициент изменения интенсивности внезапных отказов, который зависит от соотношения сопротивляемости резанию угля и неоднородностей в пласте.

В общем случае и с учетом (15) можно записать следующую формулу:

$$A_n^* = A_{пл} + A_n^* \cdot k_n. \quad (16)$$

Для чистых пластов $A_{пл} = A_{ур}$, а $A_n^* = 0$, $A_n^* = A_{ур}$.

Коэффициент k_n является вероятностной характеристикой возникновения внезапных отказов и зависит таким образом от A_n^* и определяется по формуле

$$k_n = 1 - \alpha, \quad (17)$$

где α — вероятность безотказной работы угледобывающей машины.

Для пластов сложного строения можно предположить, что

$$\alpha = (A_{пл} - A_{уг}) / A_{н}^* \quad (18)$$

Далее, выполняя необходимые подстановки и преобразования, по формулам (16)–(18), имеем

$$A_3 = A_{уг} + A_{н}^* \quad (19)$$

Логично предположить, что показатель A_3 для чистых пластов всегда равен $A_{уг}$. Для пластов сложного строения показатель A_3 тем больше, чем выше удельное содержание породных прослоев и твердых включение и их прочностные характеристики.

Таким образом, можно утверждать, что предложенный в рамках данной статьи показатель A_3 , вполне обоснованно может быть применен в качестве комплексной характеристики, учитывающей прочностные характеристики пласта, содержание и свойства неоднородностей, слагающих пласт, и как следствие, может использоваться для оценки влияния разрушаемого массива на отказы исполнительных органов.

В прикладных целях показатель A_3 был использован при разработке информационной системы, основанной на алгоритмах машинного обучения и состоящей из базы данных и модуля расчетов параметров исполнительного органа. База данных содержит информацию о всех действующих угольных пластах шахт Российской Федерации, а также об их прочностных характеристиках. На основе указанной в базе данных информации и с использованием изложенной выше методики по каждому шахтопласту может быть определен показатель A_3 .

Одна из рабочих форм, демонстрирующих возможности информационной системы, представлена на рис. 2.

Как показано на рис. 2, форма отражает все необходимые данные о прочностных характеристиках пласта, описывает сложность его строения, содержит данные о хрупкопластических свойствах угля, ряд дополнительных показателей, а также рассчитанный для представленных условий интегральный показатель A_3 .

Исходные данные

Угольная компания: ЗАО "УК "Южубассуголь"

Шахта: Абашевская, Аларинская, Гранотенская, Ескульская, Кушеяковская

Индекс пласта: 29, XIII

Породные прослои

Тип прослоя	Мощность (м)	Сопротивляемость (Н/мм)
Аргиллит углистый	0.08	169
Аргиллит	0.15	253

Твердые включения

Структура	Тип	Содержание	Сопротивляемость
Карбонатные	Консолидированн...	0.18	720

Характеристики пласта

1 Эксплуатационная мощность, м	4.6	35	0 Абразивность пласта, мг/км
2 Угол падения, град	12	142	9 Сопр. угля резанию, Н/мм
3 Марка угля	T	150	10 Сопр. пласта резанию, Н/мм
4 Зольность угля, пластовая, %	6.5	156	11 Интегральный показатель сопр. пласта резанию Н/мм
5 Влага рабочая, %	5.5	Хрупкий	12 Степень хрупкости угля
6 Сера сухая общего угля, %	0.4		13 Категория разрушаемости
7 Выход летучки по весу, %	40	3	14 Группа сложности строения
8 Теплота сгорания, ккал/кг	8205		


Рис. 2. Рабочая форма модуля для описания условий эксплуатации исполнительного органа
Fig. 2. Interface of the software describing the operating conditions of the executive body

Дальнейшие расчеты с использованием разработанной информационной системы сводятся к указанию типа комбайна, применяемого на шахте, выбора режущего инструмента и ряда других показателей. Итогом работы информационной системы является схема расстановки резцов на корпусе шнека, определенная таким образом, что показатель неравномерности нагрузок на исполнительном органе за один оборот шнека является минимальным.

Заключение

Таким образом, обобщая вышеизложенное, следует констатировать, что для более точных расчетов по определению усилий на резцах, нагруженности исполнительных органов и выбору типа двигателя следует использовать разработанный комплексный показатель прочностных свойств угольных пластов A_3 и базу данных о характеристиках разрушаемости шахтопластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами / Под ред. Е.З. Позина. — М.: Недра, 1984. — 288 с.
2. Барон Л.И. Горнотехническое породоведение. — М.: Наука, 1977. — 323 с.
3. Титов С.В., Мышляев Б.К. Эксплуатационные характеристики забойных скребковых конвейеров механизированных комплексов // Горные машины и автоматика. — 2003. — № 7. — С. 2–5.
4. Жабин А.Б., Аверин Е.А., Поляков А.В., Сарычев В.И. Состояние научных исследований в области разрушения горных пород резцовым инструментом на рубеже веков // Известия ТулГУ, Науки о земле. — 2018. — Вып. 1. — С. 230–247.
5. Захаров В.Н., Аверин А.П. Геофизическая оценка геодинамического состояния призабойного массива горных пород при подземных горных работах / Деформирование и разрушение материалов с дефектами, и динамические явления в горных породах и выработках. Материалы XXVI Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича. — Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, 2016. — С. 90–94.
6. Захаров В.Н., Малинникова О.Н. Исследование структурных особенностей углей выбросоопасных пластов // Записки Горного института. — 2014. — Т. 210. — С. 43–52.
7. Дмитриев А.П. Разрушение горных пород: Научные школы московского горного. — М.: изд-во «Горная книга». 2012. — 80 с.
8. Позин Е.З., Кунтыш М.Ф. К методике комплексной оценки разрушаемости угольных пластов инструментами / Проблемы горного дела. — М.: Недра, 1974. — С. 279–286.
9. ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. — М.: изд-во Министерства угольной промышленности СССР, 1985. — 108 с.
10. Hebel G., Hemmer W., Lemmes F. Der Einsatz von Schramwalzen bei fallendem vertrieb Gluckauf. 1986, vol. 122, no 21, pp. 1391–1392.
11. Hurl K. G., Mcstravich F. G. High Perfomanco Shoaror Drum Dosing. Colliery Guardian, Dec. 1988. Vol. 236, no 12.
12. Rui Zhang, Zhengfu Ning, Feng Yang, Huawei Zhao, Qing Wang A laboratory study of the porosity-permeability relationships of shale and sandstone under effective stress // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2016, Vol. 81, pp. 19–27.
13. Vladimir Andjelkovic, Nenad Pavlovic, Zarko Lazarevic, Velimir Nedovic Modelling of shear characteristics at the concrete-rock mass interface // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2015, Vol. 76, pp. 222–236.
14. Matthias Klawitter, Joan Esterle, Sarah Collins A study of hardness and fracture propagation in coal // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2015. Vol. 76. — pp. 237–242.
15. Линник Ю.Н., Шерсткин В.В., Линник В.Ю. Интегральный показатель оценки разрушаемости угольных пластов // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 16–18.
16. Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G. Underground mining of multiple coal seams: problems and solutions // Eurasian Mining, 2016, no 2, pp. 11–15. 

REFERENCES

1. Pozin E. Z., Melamed V. Z., Ton V. V. *Razrushenie ugley vyemochnymi mashinami*. Pod red. E. Z. Pozina [Coal destruction by mining machines, Pozin E. Z. (Ed.)], Moscow, Nedra, 1984, 288 p.
2. Baron L. I. *Gornotekhnicheskoe porodovedenie* [Mining science about rock], Moscow, Nauka, 1977, 323 p.
3. Titov S. V., Myshlyayev B. K. Operating characteristics of the downhole scraper conveyors in the mechanized systems. *Gornye mashiny i avtomatika*. 2003, no 7, pp. 2–5. [In Russ].
4. Zhabin A. B., Averin E. A., Polyakov A. V., Sarychev V. I. The state of scientific research in the field of rock destruction tool at the turn of the century. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2018, issue 1, pp. 230–247. [In Russ].
5. Zaharov V. N., Averin A. P. Geophysical evaluation of the geodynamic state of the bottom-hole formation of rocks in underground mining. *Deformirovanie i razrushenie materialov s defektami, i dinamicheskie yavleniya v gornyykh porodakh i vyrabotkakh. Materialy XXVI Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly im. akademika S.A. Khristianovicha*. Simferopol', Tavricheskiy natsional'nyy universitet im. V. I. Vernadskogo, 2016, pp. 90–94. [In Russ].
6. Zaharov V. N., Malinnikova O. N. The study of the structural features of the coal seam ejection. *Zapiski Gornogo instituta*. 2014, vol. 210, pp. 43–52. [In Russ].
7. Dmitriev A. P. *Razrushenie gornyykh porod: Nauchnye shkoly moskovskogo gornogo* [Destruction of rocks: Scientific schools of Moscow mining], Moscow, izd-vo «Gornaya kniga». 2012, 80 p.
8. Pozin E. Z., Kuntyshev M. F. To the method of complex assessment of coal seams destructibility by tools. *Problemy gornogo dela*, Moscow, Nedra, 1974, pp. 279–286.
9. *Kombayny ochistnye. Vybor parametrov i raschet sil rezaniya i podachi na ispolnitel'nykh organakh. Metodika. OST 12.44.258-84* [Combines cleaning. Selection of parameters and calculation of cutting forces and feed on the Executive bodies. Methodology. Industry standard 12.44.258-84], Moscow, izd-vo Ministerstva ugol'noy promyshlennosti SSSR, 1985, 108 p.
10. Hebel G., Hemmer W., Lemmes F. Der Einsatz von Schramwalzen bei fallendem vertrieb Gluckauf. 1986, vol. 122, no 21, pp. 1391–1392.
11. Hurt K. G., Mcstravich F. G. High Perfomanco Shoaror Drum Dosing. *Colliery Guardian*, Dec. 1988. Vol. 236, no 12.
12. Rui Zhang, Zhengfu Ning, Feng Yang, Huawei Zhao, Qing Wang A laboratory study of the porosity-permeability relationships of shale and sandstone under effective stress. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2016, Vol. 81, pp. 19–27.
13. Vladimir Andjelkovic, Nenad Pavlovic, Zarko Lazarevic, Velimir Nedovic Modelling of shear characteristics at the concrete-rock mass interface. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2015, Vol. 76, pp. 222–236.
14. Matthias Klawitter, Joan Esterle, Sarah Collins A study of hardness and fracture propagation in coal. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2015. Vol. 76. pp. 237–242.
15. Linnik Yu. N., Sherstkin V. V., Linnik V. Yu. The integral indicator of the degradability of coal seams. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 8, pp. 16–18. [In Russ].
16. Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G. Underground mining of multiple coal seams: problems and solutions. *Eurasian Mining*, 2016, no 2, pp. 11–15.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Линник Юрий Николаевич¹ — д-р техн. наук, профессор, e-mail: yn_linnik@guu.ru,
Линник Владимир Юрьевич¹ — д-р экон. наук, профессор, e-mail: yn_linnik@guu.ru,
Жабин Александр Борисович^{2,3} — д-р техн. наук, профессор, действительный член Академии горных наук (АГН), Президент ТРО МОО АГН, e-mail zhabin.tula@mail.ru,
Поляков Андрей Вячеславович^{2,3} — д-р техн. наук, профессор, академический советник АГН, e-mail polyakoff-an@mail.ru,

¹ Государственный университет управления,

² Тульский государственный университет,

³ Тульское региональное отделение межрегиональной общественной организации Академия горных наук (ТРО МОО АГН).

Для контактов: Линник Ю.Н., e-mail: yn_linnik@guu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.Yu. Linnik¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: yn_linnik@guu.ru,
Yu.N. Linnik¹, Dr. Sci. (Econ.), Professor, e-mail: yn_linnik@guu.ru,
A.B. Zhabin^{2,3}, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Full Member of the Academy of Mining Sciences,
President of the Tula Regional Department of the Academy of Mining Sciences,
e-mail: zhabin.tula@mail.ru,
A.V. Polyakov^{2,3}, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Academic Advisor of the Academy of Mining Sciences, e-mail: polyakoff-an@mail.ru,
¹ State University of Management, 109542, Moscow, Russia,
² Tula State University, 300012, Tula, Russia,
³ Tula Regional Department of the Academy of Mining Sciences, 300028, Tula, Russia.
Corresponding author: V.Yu. Linnik, e-mail: yn_linnik@guu.ru.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ УСТАНОВКОЙ

(№ 1200/08–19 от 24.06.2019; 13 с.)

Дмитриева Валерия Валерьевна — канд. техн. наук, доцент,
РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,
Фролова Анна Юрьевна¹ — магистр, e-mail: kin4eva@yandex.ru,
Фролов Денис Львович¹ — аспирант, e-mail: densearmen@mail.ru,
¹ МГИ НИТУ «МИСиС».

В основе методики лежит взаимодействие среды имитации работы управляющего контроллера и математической модели технологического процесса, реализованной в приложении Simulink пакета прикладных программ Matlab, которое позволяет с достаточной степенью детализации и достоверности моделировать как сам технологический процесс, так и работу технологического оборудования, исполнительных механизмов и информационных датчиков. При условии использования точных математических моделей технологических процессов методика позволяет осуществлять отладку и тестирование широкого спектра технологических алгоритмов, применяемых при построении автоматических и автоматизированных систем управления. Приведен пример разработки системы управления основным приводом конвейерной установки. Разработанная САУ позволяет изменять скорость движения ленты конвейера в зависимости от изменяющихся характеристик технологического процесса. В качестве примера промоделирован прямой пуск конвейера и перевод его на большую скорость движения.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, программируемый логический контроллер, графический интерфейс, ленточный конвейер, привод конвейерной установки, компьютерное моделирование.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR CONVEYOR SYSTEM CONTROL

V.V. Dmitrieva, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: dm-valeriya@yandex.ru,
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 119991, Moscow, Russia,
A.Yu. Frolova¹, Magister, e-mail: kin4eva@yandex.ru,
D.L. Frolov¹, Graduate Student, e-mail: densearmen@mail.ru,
¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

The described technique is based on the interaction of the control controller simulation environment and the mathematical model of the technological process, implemented in the application Simulink Matlab application software package, which allows a sufficient degree of detail and reliability to simulate both the process and the operation of technological equipment, actuators and information sensors. Provided the use of accurate mathematical models of technological processes, the technique allows debugging and testing a wide range of technological algorithms used in the construction of automatic and automated control systems. The article presents an example of the development of the control system of the main drive of the conveyor system. The developed ACS allows you to change the speed of the conveyor belt depending on the changing characteristics of the process. As an example, a direct start of the conveyor and its transfer to a high speed is simulated.

Key words: hardware and software complex, programmable logic controller, graphical interface, belt conveyor, conveyor drive, computer simulation.