

Л.П. Волкова, В.Н. Костин, П.Ю. Панкрушин

РЕИНЖИНИРИНГ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СТРУГОВОГО АГРЕГАТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО МАНЕВРЕННОСТИ В ПЛОСКОСТИ ПЛАСТА

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования стругового агрегата Ф-1, обеспечивающего фронтальную поточную технологию выемки угля. Основным параметром горного агрегата является его производительность, которая зависит от горно-геологических, конструктивных и режимных условия работы. Особый интерес представляет проектирование системы передвижения агрегата на забой, которая поддерживает прямолинейное движение исполнительного органа в плоскости пласта. Система передвижения агрегата состоит из трех подсистем и взаимодействует со средой через исполнительный орган, базу и опорные механизмы. При этом выделены и описаны возможные схемы перемещения исполнительного органа на забой. В указанных схемах рассмотрены три процесса передвижения агрегата по угольному пласту: в плоскости пласта, по гипсометрии пласта и по мощности пласта. Анализ существующего порядка расчета конструктивных параметров и средств управления движением агрегата в плоскости пласта показал, что при расчете производительности агрегата не учитываются параметры движения исполнительного органа по гипсометрии пласта и по мощности пласта. В связи с этим предложен реинжиниринг алгоритма расчета параметров системы управления средствами движения агрегата с целью учета указанных движений исполнительного органа, что может уточнить расчет конструктивных параметров. Рассмотрены примеры совершенствования комплексно-механизированных технологий подземной добычи угля.

Ключевые слова: струговой агрегат, алгоритм, программное обеспечение, мощность пласта, гипсометрия, производительность, исполнительный орган.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-99-107

При решении задач перехода к технологии добычи угля без постоянного присутствия человека в очистном забое при дистанционном и автоматическом управлении оборудованием, преследуя цели повышения технико-экономических показателей, неизбежно затрагиваются вопросы разработки качественно новой технологии ведения работ в лаве, заменяющей узкозахватную технологию. Такой технологией является фронтальная поточная технология выемки угля с применением угледобывающих агрегатов, позволяющих начать реализацию поставленных целей.

В отечественных разработках к настоящему времени наиболее совершенным и перспективным очистным фронтальным и перспективным очистным струговым агрегатом является Ф-1, который характеризуется тесной конструктивной увязкой в одно целое специальных машин и механизмов, созданных с целью полной механизации основных и вспомогательных процессов, совмещения их во времени и по длине очистного забоя [1–3]. Агрегат позволяет механизировать выполнение основных и вспомогательных технологических операций по добыче угля в очистном забое при их строгом совмещении

во времени и при такой степени увязки, когда создаются условия для автоматизации процесса работы и поточной добычи угля без присутствия людей в забое. Процесс добычи угля в забое сводится к управлению машинами и оборудованием агрегата с пульта управления, установленного в прилегающей к забою выработке.

Дальнейшее совершенствование оборудования для подземной выемки угля с перспективой в будущем обеспечения безлюдной выемки угля там, где существуют сложные условия работы для человека, связано с задачей и необходимостью автоматизации [1, 2, 6]. Поэтому вопросы автоматизации должны быть связаны с главным движением в плоскости пласта, с решением в дальнейшем вопроса учета непараллельности штреков.

Передвижение агрегата в плоскости пласта обеспечивает подачу исполнительного органа на забой. Подсистема управления агрегатом в плоскости пласта состоит из: опорного механизма — секции крепи, системы поддержания прямолинейности, базы и режущей части исполнительного органа, обрабатывающей грудь забоя. Эта подсистема передвигает агрегат в плоскости пласта и взаимодействует со средой через опорные механизмы и исполнительный орган. Она представляет собой гидравлическую следящую дроссельную систему, состоящую из управляющего элемента, ведомых звеньев следящего гидропривода и ведущих звеньев гидропривода.

Выходными параметрами этой подсистемы являются глубина резания исполнительным органом по забою и параметры положения агрегата в плоскости пласта: угол между пролетами базы, прогиб базы и угол встречи осей базы и штрека. Входным параметром этой подсистемы является управляющее воздействие на систему поддержания прямоли-

нейности. В работах [1, 3] показаны те основные преимущества, которые предоставляет схема непрерывного передвижения линейных секций крепи перед схемой циклического передвижения.

Производительность выемочных комплексов (агрегатов) зависит от целого ряда факторов и в первую очередь от горно-геологических и горнотехнических условий их работы, режимных и конструктивных параметров функциональных машин и степени их использования во времени. Поэтому при расчете параметров важно установить факторы, влияющие на величину производительности агрегата при выемке угля.

Учитывая преимущества, которые предоставляет схема непрерывного передвижения линейных секций крепи перед схемой циклического передвижения, в работе [1] представлена расчетная схема системы направленного передвижения агрегата в плоскости пласта на основе моделей функциональных элементов системы и разработан алгоритм расчета ее параметров.

В работе [3] представлена блок-схема этого алгоритма, для реализации которой была разработана программа на языке C++. Преимущества этого языка здесь могут быть особенно вероятными. Язык C++ является надстройкой над языком C. Как отмечается в [7] язык C удобен для написания малых и средних программ, но особенно все преимущества языка C++ проявляются на больших программах и проектах.

Разработанный алгоритм расчета параметров системы передвижения агрегата в плоскости пласта обеспечивает системный подход к выбору параметров ее элементов и учитывает комплекс основных факторов, влияющих на направленность движения агрегата.

Технологически в конструкцию агрегата Ф1 заложены принципы непрерывной выемки угля, но в результате испы-

таний исследователями было выявлено, что значительное количество времени тратится: на работы по выравниванию агрегата относительно штреков, на ликвидацию несоответствия ширины отработываемого столба полезного ископаемого и длины агрегата. Учитывая эти недостатки, наиболее целесообразным является усовершенствование схемы управления агрегатом в плоскости пласта. Оно заключается в создании типовых режимов работы, позволяющих ликвидировать простои очистной машины [1].

Производительность является обобщенным критерием для качественной оценки не только эксплуатирующейся, но и вновь создаваемой техники, главным параметром, определяющим как эффективность, так и целесообразность применения этой техники.

Теоретическая производительность комплекса (агрегата) является максимальной, так как определяется в единицу времени непрерывной производительной работы с рабочими параметрами, максимальными для данных условий эксплуатации. Техническая производительность выемочного агрегата — максимально возможная среднечасовая его производительность при работе в конкретных условиях эксплуатации. Она меньше теоретической производительности и определяется коэффициентом технической возможной непрерывности работы в этих условиях [1, 2].

Наконец, эксплуатационная производительность выемочного агрегата всегда меньше его теоретической и технической производительности и зависит от степени использования технической возможности агрегата в конкретных условиях эксплуатации. Отношение эксплуатационной производительности агрегата к теоретической определяет степень использования его во времени и выражается коэффициентом непрерывности работы в процессе эксплуатации, ко-

торый и характеризует степень совершенства организации работ в забое при применении агрегата в данных горно-геологических условиях [1]. Чем больше этот коэффициент, тем выше степень технического совершенства агрегата, уровень организации производства в лаге и эксплуатации горного оборудования, степень использования выемочных комплексов и агрегатов в эксплуатации.

Как следует из [1], управляемый процесс передвижения агрегата по угольному пласту включает в себя три процесса передвижения: в плоскости пласта (П), по гипсометрии пласта (Г) и по мощности пласта (М). Процесс М не влияет на направленность движения агрегата по пласту, но изменяет объем вынимаемого угля и, как отмечается в [1, с. 60], значительно влияет на производительность агрегата.

При управлении агрегатом по гипсометрии пласта и его мощности перемещение исполнительного органа происходит в вертикальной плоскости.

В качестве опорных элементов в этом случае используются базовые секции крепи, которые связаны конструктивно с конвейером и передвигаются вместе с ним. База агрегата является функциональным органом, обеспечивающим направленность движения агрегата, а также выполняющим роль связующего звена между системами передвижения [1, с. 79—80]. Наиболее совершенными являются системы передвижения непрерывного действия с автоматическим управлением. При этом осуществляется передвижение агрегата с непрерывной корректировкой направленности.

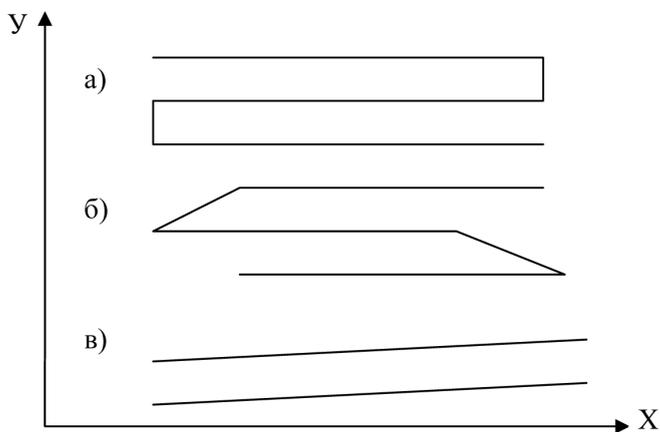
Но главным процессом является всегда передвижение в плоскости пласта, определяющее режим работы агрегата и осуществляющее подачу на забой. А непрерывная (или периодическая) корректировка делает этот процесс управляемым [1, с. 84].

Таким образом, система передвижения агрегата состоит из трех подсистем и взаимодействует со средой через исполнительный орган, базу и опорные механизмы [1, с. 86]. Причем в агрегате, управляемом в профиле пласта, исполнительный орган имеет подвижные части для обработки почвы и кровли в забое. Подсистема передвижения агрегата по мощности пласта включает базу, систему перемещения по мощности пласта и режущую часть исполнительного органа, обрабатывающую кровлю в забое и взаимодействующую со средой через опорные элементы базы и исполнительный орган. Выходными параметрами этой подсистемы являются глубина резания кутковыми резцами и величина вынимаемой мощности пласта. Как отмечается в [1, с. 90], данная подсистема не влияет на направленность движения агрегата по пласту, но значительно влияет на производительность агрегата, изменяя объем извлекаемого из забоя угля.

Изменение гипсометрии почвы пласта по лаве вызывает изменение ее длины. Непараллельность и кривизна штреков тоже изменяют длину лавы. Компен-

сировать несоответствие длины лавы и агрегата можно путем изменения его положения в плоскости пласта. Для этого агрегат должен обладать необходимой маневренностью, которая, в свою очередь, будет зависеть от занимаемого им положения в плоскости пласта. Основным является прямолинейное положение, причем поддерживается прямолинейность агрегата с помощью специальных систем, но допускается плавный прогиб базы [1, с. 98–99]. Маневренность агрегата достигается при эффективном управлении и характеризуется предельными возможностями агрегата изменять направленность движения [1, с. 128].

Несмотря на то, что перемещение исполнительного органа в вертикальной плоскости в соответствии с процессами Г и М считаются подчиненными по отношению к главному процессу передвижения агрегата в плоскости пласта П, представляется целесообразным учитывать их влияние на производительность агрегата при реализации непрерывной связи функциональных элементов во времени при передвижении агрегата в процессе выемки угля. Такой



Схемы перемещения исполнительного органа и базы очистного агрегата: при циклической подаче базы (а); при дискретной подаче базы (б); при непрерывной подаче базы (в)

Scheme of movement of cutting tool and base frame of winning assembly: (a) cyclic advance of base frame; (b) discontinuous advance of base frame; (c) continuous advance of base frame

Значения параметров расчета

Values of calculated parameters

Расчетная производительность агрегата, т/час	Q_p
Длина лавы, м	L
Вынимаемая мощность пласта, м	H
Плотность угля, т/м ³	ρ
Расчетная толщина стружки, м	h_p
Расчетная скорость подачи агрегата на забой, м/мин	V_y
Максимальна допустимая скорость подачи, м/мин	$V_{y \max}$
Максимальный расход жидкости через регулятор потока	$Q_{\text{ДР max}}$
Максимальный вылет резца	h_{\max}
Количество гидродомкратов управляемых одним регулятором потока	j
Диаметр поршня гидроцилиндра	D

тип процесса передвижения агрегата характеризуется непрерывным или периодическим управлением в плоскости и профиле пласта и подробно рассматривается в [1]. На практике могут быть использованы три различных режима перемещения базы агрегата к забою: с циклической, дискретной и непрерывной подачей (рисунок)

При расчете параметров агрегата можно оценить степень влияния этого режима на производительность агрегата. При этом следует учитывать результаты исследований, приведенные в [1, с. 142–143]. В частности, здесь отмечается, что при управлении агрегатом по мощности пласта отсчет величины управляющего воздействия на вынимаемую мощность должен производиться от почвы пласта.

Процесс проектирования струговых агрегатов предполагает расчет конструктивных и эксплуатационных параметров. При расчете параметров системы передвижения в плоскости пласта особое значение имеет определение скорости подачи базы агрегата на забой. Выбор величины скорости подачи стругового агрегата на забой осуществляется, исходя из теоретической производительности [1, 3]:

$$V_y = \frac{Q_p}{H \cdot L \cdot \rho} \quad (1)$$

Значения параметров в формуле (1) приведены ниже в таблице.

Максимальная скорость подачи определяет максимальный расход жидкости в гидравлической системе и зависит от толщины стружки, снимаемой струговым исполнительным органом:

$$V_{y \max} = \frac{h_{\max}}{h_p} V_y \quad (2)$$

$$Q_{\text{ДР max}} = V_{y \max} \frac{\pi \cdot D}{4} j \quad (3)$$

Идентификаторы в формуле (1) приведены ниже в таблице.

Из формул (1) и (2) видно, что скорость подачи агрегата на забой является функцией его производительности, которая, в свою очередь, зависит от целого ряда факторов: геологических, горно-технических эксплуатационных условий, схем перемещения базы, конструктивных параметров агрегата.

В то же время при работе агрегата по схеме с непрерывной подачей на забой (рисунок, в) осуществляются два движения: режущей части вдоль лавы со скоростью V_x и базы на забой со скоростью V_y . Соотношением этих скоростей,

длиной цепи рабочего органа и количеством резцов в одной линии резания определяется толщина стружки, с которой исполнительный орган разрушает забой [1, с. 96]:

$$h_3 = \frac{L_{\text{ц}} V_{\text{ц}}}{r V_x} \quad (4)$$

где $L_{\text{ц}}$ — длина цепи кольцевого рабочего органа; r — число резцов в одной линии резания.

В работе [3] рассмотрен алгоритм расчета параметров системы управления движением для случая управления в плоскости пласта, причем для одной схемы подачи — непрерывной. В этом алгоритме расчет скорости подачи определяется, с одной стороны, по параметрам, которые не зависят от параметров, рассматриваемых в этом алгоритме, а с другой стороны, скорость определяется без учета изменения производительности за счет движения исполнительного органа по гипсометрии и по мощности пласта.

Представляется целесообразным изменить порядок расчета скорости подачи базы на забой с учетом различных схем движения (рисунок). Для того, чтобы предусмотреть возможность расчета различных конструктивных вариантов агрегата и создать соответствующее программное обеспечение, необходимо обобщить расчет скорости движения базы агрегата с учетом средств движения по гипсометрии и мощности пласта, переместив расчет этих параметров на более высокий структурный уровень алгоритма расчета параметров агрегата.

Исследованиям режимов работы очистных агрегатов посвящены работы многих ученых, которые необходимо учитывать при создании автоматизированных, и в дальнейшем и роботизированных очистных комплексов [1, 4, 5].

Наиболее важным замечанием, кроме изложенных выше результатов исследований режимов работы, является то, что в очистном агрегате режимы работы

исполнительного органа и его параметры должны согласовываться с режимами работы и параметрами доставочного средства. В частности, в [1, с. 96] приводится рекомендация для определения скорости резания из условий оптимальности режима:

$$V_{x_{\min}} = \frac{200 Q_p}{Hprh_{\max}} \leq V_x \leq V_{x_{\max}} = \frac{200 Q_p}{Hprh_{\min}} \quad (5).$$

При выборе параметров для расчета узлов агрегата в САПР струговых агрегатов и установок необходимо продолжить разработку программного обеспечения для расчета параметров вариантов конструкций с учетом предлагаемых рекомендаций.

Совершенствованию комплексно-механизированных технологий подземной добычи угля уделяется внимание при формулировке приоритетных направлений развития подземной угледобычи на шахтах РФ [8]. И в этой связи отмечается, что создан и прошел испытания автоматизированный струговый агрегат «Ф-1» на шахтах «Юбилейная» ПО «Гидроуголь», «Распадская» ПО «Южжубассуголь».

Что касается опыта отработки крутых угольных пластов, то в настоящее время работы ведутся в Китае, на Украине и в России. Причем на шахтах Китая действуют свыше 2000 очистных забоев. Уровень механизации выемки 41,8% (одно- и двухшнековые узкозахватные комбайны и угольные струги). Кроме того, следует учесть, что в Китае 40% запасов сконцентрированы в пластах мощностью менее 2 м [9].

В настоящее время попытки повысить прочность, долговечность и надежность элементов конструкций путем защиты их от динамических перегрузок сводятся, в основном к совершенствованию механических конструкций [10]. Анализируется также частота отказов в процессе добычи с акцентом на горную машину: комбайны и струговые уста-

новки. Предлагаются мероприятия для повышения эффективности добычи угля. Чтобы сократить затраты, возникающие в результате сбоев, группам обслуживающих рекомендуется регулярно следить за тем, чтобы машины использовались и эксплуатировались рационально и эффективно. Именно такая деятельность позволит сократить время простоя и, как следствие, повысить эффективность горнодобывающего предприятия [11].

Кроме того, некоторые особенности конструкции и эксплуатационных режимов можно корректировать, анализируя результаты исследований некоторых аналогов в других предметных областях. Так цель одного исследования заключалась в разработке алгоритма, обеспечивающего потенциал измерения качества обработки почвы в реальном времени с использованием обработки изображений [12]. Фотография выполнялась на трех высотах камеры и покрывала девять различных размеров почвенных агрегатов. В процессе эксплуатации это обеспечивает возможность корректировки параметров инструмента в реальном времени. Разработка такого метода привела к желаемому плугу с минимально возможной эксплуатационной стоимостью. Эти идеи могут быть использованы при управлении агрегатом по гипсометрии и мощности пласта.

Принимая во внимание все вышесказанное, остаются актуальными задачи исследования динамических режимов струговых агрегатов и установок. Однако, в электромеханической системе струговой установки динамические режимы оказывают большее влияние на процесс эксплуатации, чем во фронтальном агрегате. Это связано с тем, что последний имеет распределенный по всей струговой

цепи исполнительный орган. Что касается возможности управления агрегатом, то проблема связана с достижением наибольшей маневренности агрегата в плоскости пласта. Это достигается при управлении с изменением прогиба базы агрегата [13].

В свете создания условий для выемки угля без постоянного присутствия людей в пространстве забоя целесообразным становится интеллектуальное управление очистным агрегатом. При этом главной проблемой является решение задачи управления агрегатом в условиях непараллельности штреков.

Задачи интеллектуализации управления при реализации концепции безлюдной подземной выемки угля связаны с необходимостью слежения за ходом времени при движении очистных подземных агрегатов, что, в свою очередь, для интеллектуальных систем управления связано с необходимостью прогнозирования развития ситуаций через оценки будущих событий.

Структура и особенности функционирования инструментария формирования прогноза определяются свойствами объекта управления, изменяющимися по ходу времени. Поэтому при разработке такого инструментария в подсистеме управления движением стругового агрегата в плоскости пласта при выемке угля эту информацию необходимо постоянно корректировать по мере продвижения забоя. При этом данные о контроле качества управления по обратной связи могут также обобщаться за счет нейронных сетей [14].

Такая информация может накапливаться и использоваться для экспериментов на модельных и реальных данных при машинном обучении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пастоев И. Л. Разработка систем перемещения автоматизированных угледобывающих агрегатов. Диссертация на соиск. учен. степени докт. техн. наук. — М.: МГИ, 1987.

2. Волкова Л. П., Костин В. Н., Панкрушин П. Ю. Моделирование режимов работы струговых агрегатов и установок в САПР // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 1. — С. 251–256.

3. Панкрушин П. Ю. Разработка программы расчета параметров при управлении фронтальным струговым агрегатом в плоскости пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — ОВ 6. Информатизация и управление. — С. 631–644.

4. Солод В. И. Разработка научных основ создания автоматизированных горных агрегатов и комплексов. — М.: МГИ, 1977.

5. Рачек В. М., Балаклея С. П. Математическая модель системы «Струг-база» фронтального агрегата. — М.: МГИ, 1982.

6. Бурчаков А. С. Анализ принципов технологий подземной добычи угля без присутствия людей под землей. — М.: МГИ, 1978.

7. Шамис В. А. Borland C++ Builder 6: Для профессионалов. — СПб.: Изд-во «Питер», 2005.

8. Мельник В. В. Приоритетные направления развития подземной угледобычи на шахтах РФ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — ОВ 1. Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2010». — С. 320–328.

9. Ремезов А. В., Ануфриев А. В. Зарубежный опыт применения технологических схем отработки наклонных и крутонаклонных угольных пластов на шахтах [Электронный ресурс]. <http://science.kuzstu.ru/wpcontent/Events/Conference/Other/2015/gd/gd2015/pages/Articles/3/2.pdf>

10. Plow System Sets New Low-Seam Coal Production Record. Published: 2014 год. <http://www.coalage.com/news/product-news/3797-plow-system-sets-new-low-seam-coal-production-record.html#.VkiijF70xdg>

11. Biały W. Application of quality management tools for evaluating the failure frequency of cutter-loader and plough mining systems (2017) Archives of Mining Sciences, 62 (2), pp. 243–252.

12. Application of machine vision for classification of soil aggregate size // Soil and Tillage Research, Vol. 162, 1 September 2016, Pp. 8–17.

13. Пастоев И. Л. Структура и функции системы передвижения очистного агрегата по пласту полезного ископаемого // Известия вузов. Горный журнал. — 1985. — № 11. — С. 23–28.

14. Волкова Л. П., Панкрушин П. Ю. Применение нейронных сетей для управления очистным агрегатом / XV Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». Тезисы докладов. — М.: МГППУ, 2017. — С. 109–110. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Волкова Людмила Петровна¹ — кандидат технических наук, доцент, e-mail: Volkova_LP@mail.ru,

Костин Виталий Николаевич¹ — кандидат технических наук, доцент, e-mail: iitem1@yandex.ru,

Панкрушин Петр Юрьевич¹ — старший преподаватель, e-mail: aldamor@mail.ru,

¹ НИТУ «МИСиС».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 7, pp. 99–107.

Reengineering of algorithm for mining plough parameters to improve its maneuverability in the plane of a seam

Volkova L.P.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: Volkova_LP@mail.ru,

Kostin V.N.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: iitem1@yandex.ru,

Pankrushin P.Yu.¹, Senior Lecturer, e-mail: aldamor@mail.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Abstract. The issues of design of mining plough F-1 ensuring continuous multi-point attack extraction of coal are discussed. The key parameter of the mining plough is its capacity conditioned by ground conditions, machine design and operating regime. The theoretical, technical and operation aspects are considered. Of particular interest is design of the advance system of the mining plough to the face with the sustained straight forward motion of the ploughing tool in the plane of a seam. The plough mobility system consists of three subsystems and interacts with the ambient medium via the ploughing tool, base frame and support mechanisms. The possible schemes of the ploughing tool advance to the face are described. The schemes include three processes of the plough advance in the seam: with respect to the seam plane, hypsometry and thickness. The analysis of the actual procedure to calculate design parameters and motion control mechanisms of the plough in the seam plane shows that the calculation of the plough capacity disregards the ploughing tool advance parameters with respect to the hypsometry and thickness of the seam. In connection with this, the article suggests reengineering of the algorithm to calculate characteristics of the plough advance control system with a view to taking into account the ploughing tool motion, which will refine the machine design parameters. The case studies of improvement in the fully mechanized longwall technologies of underground coal mining are presented.

Key words: mining plough, algorithm, bundled software, seam thickness, hypsometry, capacity, ploughing tool.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-99-107

REFERENCES

1. Pastoev I.L. *Razrabotka sistem peremeshcheniya avtomatizirovannykh ugledobyvayushchikh agregatov* [Engineering of mobility system of automatic coal mining assemblies], Doctor's thesis, Moscow, MGI, 1987.
2. Volkova L.P., Kostin V.N., Pankrushin P.Yu. Modelirovanie rezhimov raboty strugovykh agregatov i ustanovok v SAPR [CAD modeling of operating regimes of mining ploughs and ploughing assemblies]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 1, pp. 251–256. [In Russ].
3. Pankrushin P.Yu. Razrabotka programmy rascheta parametrov pri upravlenii frontal'nym strugovym agregatom v ploskosti plasta [Development of program to calculate control parameters for multi-point attack mining plough in the plane of a seam]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011. Special edition 6, pp. 631–644. [In Russ].
4. Solod V.I. *Razrabotka nauchnykh osnov sozdaniya avtomatizirovannykh gornyykh agregatov i kompleksov* [Development of scientific framework for creation of automated mining assemblies and systems], Moscow, MGI, 1977.
5. Rachek V.M., Balakleyskiy S.P. *Matematicheskaya model' sistemy «Strug-baza» frontal'nogo agregata* [Mathematical model of the plough-base frame system of multi-point attack mining assembly], Moscow, MGI, 1982.
6. Burchakov A.S. *Analiz printsipov tekhnologii podzemnoy dobychi uglja bez prisutstviya lyudey pod zemley* [Analysis of principles of no-man underground coal mining technology], Moscow, MGI, 1978.
7. Shamis V.A. *Borland C++ Builder 6: Dlya professionalov* [Borland C++ Builder 6: For professionals], Saint-Petersburg, Izd-vo «Piter», 2005.
8. Mel'nik V.V. *Prioritetnye napravleniya razvitiya podzemnoy ugledobychi na shakhtakh RF* [Priority areas of development in underground coal mining in Russia]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010. Special edition 1, pp. 320–328. [In Russ].
9. Remezov A.V., Anufriev A.V. *Zarubezhnyy opyt primeneniya tekhnologicheskikh skhem otrabotki naklonnykh i krutonaklonnykh ugol'nykh plastov na shakhtakh*. <http://science.kuzstu.ru/wpcontent/Events/Conference/Other/2015/gd/gd2015/pages/Articles/3/2.pdf>
10. *Plow System Sets New Low-Seam Coal Production Record*. Published: 2014. <http://www.coalage.com/news/product-news/3797-plow-system-sets-new-low-seam-coal-production-record.html#.VkijF70xdg>
11. Biały W. Application of quality management tools for evaluating the failure frequency of cutter-loader and plough mining systems (2017) *Archives of Mining Sciences*, 62 (2), pp. 243–252.
12. Application of machine vision for classification of soil aggregate size. *Soil and Tillage Research*, Vol. 162, 1 September 2016, Pp. 8–17.
13. Pastoev I.L. *Struktura i funktsii sistemy peredvizheniya ochistnogo agregata po plastu poleznogo iskopaemogo* [Structure and functions of mobility system of winning assembly in the plane of a mineral bed]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 1985, no 11, pp. 23–28. [In Russ].
14. Volkova L.P., Pankrushin P.Yu. *Primenenie neyronnykh setey dlya upravleniya ochistnym agregatom* [Neural networks for the winning assembly control]. *XV Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya «Neyrokomp'yutery i ikh primeneniye»*. *Tezisy dokladov*, Moscow, MGPPU, 2017, pp. 109–110. [In Russ].