

УДК 622. 232

П.А. Горбатов, д-р техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫЕМОЧНЫХ МАШИН МЕХАТРОННОГО КЛАССА КАК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ, ДИНАМИЧЕСКИХ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Предложен ряд научных положений, относящихся к оптимальному проектированию очистных и проходческих комбайнов, струговых и конвейероструговых установок новых поколений мехатронного класса как взаимосвязанных энергетических, динамических и автоматизированных систем.

выемочная машина, мехатронный подход, параллельное проектирование, синергетическая интеграция, интеллектуализация процессов управления, составляющая проектирования, интегральная функция цели

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одной из известных проблем в угольной промышленности является острая необходимость кардинального повышения технико - экономического уровня вновь создаваемых выемочных машин (ВМ) мехатронного класса, которые работают в условиях сложной и опасной внешней среды с изменяющимися характеристиками. В рамках системного решения этой проблемы представляются актуальными дальнейшие разработки:

- позволяющие количественно оценить качество и степень конкурентоспособности альтернативных вариантов ВМ новых поколений мехатронного класса;

- раскрывающие специфику оптимального проектирования ВМ, в которых одновременно протекают взаимосвязанные процессы энергетического, динамического и информационно-управляющего характера, причем доля последних в машинах мехатронного класса будет неуклонно возрастать;

- устанавливающие влияние синергетической интеграции между компонентами разной физической природы в составе ВМ на качество последних как энергетических, динамических и автоматизированных систем.

Использование результатов разработок в вышеуказанных областях направлено на решение актуальной проблемы создания ВМ новых поколений с высокими технико-экономическими показателями.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время при проектировании выемочных и других горных машин стремятся реализовать эффективные подходы, принятые в молодой, но бурно развивающейся области науки и техники – мехатронике, в более полной мере использовать принцип синергетической интеграции между всеми компонентами, входящими в состав рассматриваемых объектов.

При этом под синергетической интеграцией (СИ) применительно к выемочным и другим сложным горным машинам новых поколений целесообразно понимать придание этим системам качественно новых технико-экономических свойств на основе глубокого объединения компонент традиционного и интеллектуального характера и соответствующей интеллектуализации процессов управления, обеспечивающих формирование единого функционального и конструктивного технического «организма», адаптивно взаимодействующего с внешней средой [1 – 4].

В области оптимального проектирования выемочных машин мехатронного класса следует выделить, прежде всего, работы ученых ДонНТУ и ГП «Донгипроуглемаш» [1 – 4 и др.].

В развитие работ, выполненных в вышеуказанных организациях, представляется актуальным рассмотрение:

- вопросов оптимального проектирования струговых и конвейероструговых установок в составе соответственно очистных комплексов и агрегатов мехатронного класса;
- взаимосвязей между составляющими проектирования выемочных машин как энергетических, динамических и автоматизированных систем и их интегральными функциями цели;
- влияния СИ между компонентами разной технической природы на вышеуказанные функции цели.

Постановка задач. Основные задачи исследования:

- сформировать интегральные функции цели, характеризующие технико-экономический уровень и степень конкурентоспособности создаваемых ВМ в целом и применительно к составляющим проектирования как энергетических, динамических и автоматизированных систем;
- установить особенности проявления взаимосвязей между условно выделенными составляющими параллельного проектирования ВМ;
- установить влияние синергетической интеграции между компонентами разной физической природы на степень мехатронности и

интегральные функции цели применительно к составляющим проектирования;

- синтезировать преимущества мехатронного подхода к параллельному проектированию ВМ последующих поколений.

Изложение материала и результаты. В настоящей работе рассматриваются основные выемочные машины – очистные (ОК) и проходческие (ПК) комбайны, струговые (СУ) и конвейероструговые (КСУ) установки.

Сложные горные машины, в т.ч. выемочные машины (ВМ) новых поколений мехатронного класса (мехатронизированные и мехатронные), как известно, должны строиться на основе мехатронного подхода, обеспечивающего придание рассматриваемым объектам качественно новых технико-экономических свойств и базирующегося на [1 – 4 и др.]:

- параллельном (одновременном) проектировании входящих в их состав компонент – традиционных (механических – М, электротехнических – Сэ и гидравлических – Сг) и интеллектуального характера (информационно-электронных – ИЭ);

- синергетической интеграции (функционально-структурной и структурно-конструктивной) между всеми вышеуказанными компонентами;

- обеспечении высокого уровня интеллектуализации процессов управления и адаптационных свойств при эксплуатации в изменяющихся условиях сложной и опасной внешней среды на основе расширения применения современных ИЭ-компонент.

В указанных машинах одновременно протекают взаимосвязанные процессы энергетического, динамического и информационно-управляющего характера и поэтому они должны проектироваться параллельно как энергетические, динамические и автоматизированные системы. При этом следует подчеркнуть, что:

- ВМ создаются для потребителей – угольных предприятий, прежде всего, как технически целостные и эффективные энергетические системы с рациональными структурно-параметрическими решениями, обеспечивающие с требуемым качеством выполнение основных функций – выемку горного массива (для всех ВМ), погрузку (для ОК, ПК и СУ) и транспортирование (для СУ и КСУ) отделенной горной массы;

- имеются тесные взаимосвязи между условно выделяемыми составляющими проектирования этих объектов как энергетических, динамических и автоматизированных систем;

- для качественного обеспечения оптимального проектирования ВМ требуется необходимого уровня подготовка специалистов соответствующих направлений.

В качестве макроуровневой функции цели Φ , интегрально характеризующей технико-экономический уровень и, следовательно, степень конкурентоспособности базовых исполнений создаваемых ВМ предлагается (на примере ОК в составе очистных комплексов) использовать следующую представленную в скалярном виде безразмерную функцию:

$$\Phi = \bar{Q}_m H_q + \bar{K}_z H_z + \bar{K}_{60} H_{60} + \bar{W}_m H_w + \bar{R} H_r + \bar{\Pi}_a H_a + \bar{C} H_c. \quad (1)$$

В уравнении (1) $\bar{Q}_m = Q_m \cdot Q_{m3}^{-1}$, $\bar{K}_z = K_z \cdot K_{z3}^{-1}$, $\bar{K}_{60} = K_{60} \cdot K_{603}^{-1}$, $\bar{W}_m = W_{m3} \cdot W_m^{-1}$, $\bar{R} = R \cdot R_3^{-1}$, $\bar{\Pi}_a = \Pi_a \cdot \Pi_{a3}^{-1}$, $\bar{C} = C_3 \cdot C^{-1}$ – приведенные к сопоставимому виду безразмерные единичные функции цели, значения которых относятся к представительным горно-техническим условиям эксплуатации ВМ, определяемым на основе вероятностного подхода [3].

Здесь также обозначены:

$Q_m = a V_{nm}$ – максимально возможная теоретическая производительность ОК, соответствующая для указанных условий эксплуатации максимально допускаемому ограничивающими факторами значению средней скорости подачи V_{nm} ; при этом требуемые рациональные значения V_{nm} должны обеспечиваться на основе реализации при проектировании принципа сбалансированности ограничений, сформулированного в работах [3, 1];

a – постоянный для указанных условий эксплуатации коэффициент;

$K_z = T_p (T_p + T_6)^{-1}$ – коэффициент готовности, являющийся комплексным показателем надежности и характеризующий безотказность (среднюю наработку на отказ T_p) и ремонтпригодность (среднее время восстановления T_6) выемочной машины;

K_{60} – коэффициент, характеризующий относительную длительность вспомогательных операций при осуществлении технологического цикла;

$W_m = P_o (60Q_m)^{-1}$, P_o – удельные энергозатраты и общая мощность электродвигателей, соответствующие выполнению ВМ всех своих функций при выемке;

R – средний ресурс до 1-го капитального ремонта как показатель долговечности ВМ;

$$P_a = \sum_{i=1}^l H_i \left(\sum_{i=1}^l H_i + \sum_{j=1}^m H_j \right)^{-1} \text{ – предложенный показатель уровня}$$

автоматизации выемочной машины;

l – число автоматизированных функциональных режимов технологического цикла;

m – число неавтоматизированных, но требующих в перспективе автоматизации функциональных режимов технологического цикла;

H_i, H_j – безразмерные коэффициенты значимости i -х и j -х функциональных режимов, отражающие их важность, сложность и качество реализации автоматизированных процессов управления;

C – себестоимость ВМ;

индекс «з» означает заданное заказчиком или техническим заданием значение соответствующей единичной функции цели, которое можно считать рациональным для создаваемой ВМ, т.е. выступающее в качестве базового критериального ограничения как ориентира при проектировании;

$H_q, H_z, H_{\text{вс}}, H_w, H_r, H_a, H_c$ – безразмерные коэффициенты значимости соответствующих единичных функций цели, которые отражают степень их важности с позиции влияния на технико-экономический уровень и, следовательно, на конкурентоспособность создаваемых ВМ.

Формирование значений базовых критериальных ограничений и коэффициентов значимости H осуществляется специалистами методом экспертных оценок на основе анализа лучших аналогов, рекомендаций ученых и производителей, с учетом конкретной технико-экономической ситуации.

Наилучший вариант (нв) из n сравниваемых проектных решений обладает наибольшим значением функции цели:

$$\Phi_{\text{нв}} = \max \Phi_n. \quad (2)$$

Для других видов ВМ общие подходы к формированию интегральных функций цели Φ достаточно близки к рассматриваемым в настоящей работе на примере ОК.

Проанализируем на системном уровне основные взаимосвязи между выполняемыми одновременно составляющими проектирования выемочных машин и основным принципом их оптимального проектирования как мехатронных объектов.

Интегральная функция цели при реализации проектирования ВМ как энергетических систем может быть представлена следующим образом:

$$\Phi_{\vartheta} = \bar{Q}_m H_q + \bar{K}_z H_z + \bar{K}_{\text{во}} H_{\text{во}} + \bar{W}_m H_w + \bar{C} H_c. \quad (3)$$

Здесь первые три члена характеризуют максимально возможную техническую производительность Q_{mm} , определяемую техническим уровнем, заложенным разработчиками при проектировании ВМ с учетом их взаимодействия с другими техническими объектами при выполнении операций технологического цикла:

$$Q_{mm} = 60 Q_m (K_z^{-1} - K_{\text{во}}^{-1} - 1)^{-1}.$$

Ряд направлений повышения Q_{mm} и минимизации W_m применительно к выемочным комбайнам рассмотрен в работах [1, 3 – 9].

ВМ, разрушающим горные массивы с физико-механическими свойствами, носящими случайный характер, как известно, органически присуща высокая динамичность нагрузок в силовых подсистемах. Указанные нагрузки негативно влияют, прежде всего, на:

- показатель долговечности – ресурс R ;
- энергетическую функцию цели Φ_{ϑ} через ухудшение показателя безотказности (T_p), а также ужесточение ограничений, накладываемых на V_{nm} (Q_m).

Интегральная функция цели при выполнении составляющей проектирования ВМ как динамических систем может быть формализована в следующем виде:

$$\Phi_{\delta} = \bar{R} H_r + \bar{K}_z H_z + \bar{Q}_m H_q + \bar{C} H_c. \quad (4)$$

Для максимизации функции цели Φ_{δ} требуется решение задач многокритериальной структурно-пераметрической оптимизации динамико-прочностных свойств тяжело нагруженных силовых подсистем на основе, прежде всего, современных компьютерных технологий и методов: имитационного моделирования для прогнозирования статистических характеристик динамических нагрузок стохастического характера; трехмерного твердотельного моделирования напряженно-деформированного состояния и анализа характеристик прочности и долговечности «слабых звеньев» на базе метода конечных элементов

[10, 11 и др.]. Наиболее эффективно [5, 7 и др.] эти задачи конструктивно решаются с использованием в структурных решениях этих подсистем виброзащитных устройств с рациональными динамическими параметрами и характеристиками в виде узлов не сложной конструкции, выступающих в качестве своеобразных «динамически доброжелательных» интерфейсов, как это осуществляется, например, в судо-, авиа-, автомобиле-, станкостроении.

Вектор основных параметров \overline{L}_∂ , обеспечивающих необходимое качество ВМ как динамических систем, может быть представлен в следующем интегрированном виде:

$$\overline{L}_\partial(\overline{L}_{op}; S_\partial; \overline{L}_{\partial x}; \overline{L}_{\partial n}). \quad (5)$$

Здесь \overline{L}_{op} – вектор параметров исполнительных органов, обеспечивающих не только рациональные характеристики энергетического характера, но и достаточно высокую степень силовой пространственной уравновешенности применительно к основным обобщенным координатам;

S_∂ – структурные модели (S – модели) силовых подсистем, в т.ч. со встроенными виброзащитными устройствами;

$\overline{L}_{\partial x}$ – вектор динамических (упругих, диссипативных и инерционных) характеристик силовых подсистем применительно к альтернативным вариантам рассматриваемых S – моделей;

$\overline{L}_{\partial n}$ – вектор характеристик прочности и долговечности «слабых звеньев».

Весьма актуальной задачей повышения эффективности функционирования ВМ является освобождение операторов от соответствующей части функций и повышение качества управляющих воздействий на основе обеспечения нового уровня автоматизации процессов управления. Поэтому параллельно с вышерассмотренными составляющими проектирования должна выполняться составляющая проектирования ВМ как автоматизированных систем на основе ИЭ-компонент. Реализация эффективных автоматизированных функциональных режимов технологических циклов ВМ должна, прежде всего, обеспечить:

- повышение безопасности, снижение удельных энергозатрат и доли ошибочных управляющих действий операторов;

- улучшение единичных функций цели R , K_z (за счет увеличения T_p и снижения T_e), Q_m , $K_{во}$;

- повышение качества обработки границ «вынимаемый массив – вмещающие породы».

Интегральную функцию цели при выполнении составляющей проектирования ВМ как автоматизированных систем предлагается формализовать следующим образом:

$$\Phi_a = \bar{P}_a H_a + \bar{R} H_r + \bar{K}_z H_z + \bar{Q}_m H_q + \bar{K}_{60} H_{60} + \bar{C} H_c. \quad (6)$$

Вектор основных управляющих воздействий \vec{Y}_a при реализации автоматизированных функциональных режимов технологического цикла, определяющих качество ВМ как автоматизированных систем, можно представить в интегрированном виде:

$$\vec{Y}_a (\vec{Y}_{cm}; \vec{Y}_6; \vec{Y}_c; \vec{Y}_z; \vec{Y}_{dm}). \quad (7)$$

Здесь \vec{Y}_{cm} – вектор управляющих воздействий при реализации автоматизированных режимов стабилизации параметров P (для всех ВМ), M_p (для ПК), h (для СУ в составе очистных комплексов и КСУ в составе очистных агрегатов);

P , M_p – средние значения соответственно мощности электродвигателей подсистем привода исполнительных органов и момента на валах этих органов; особенности формирования режимов стабилизации P и M_p изложены, например, в работах [3, 1, 4];

h – толщина стружки при реализации перспективной технологической схемы работы на основе дозированной выемки угля, особенности и преимущества которой приведены в работах [1, 3];

\vec{Y}_6 – вектор управляющих воздействий при выполнении автоматизированных режимов вождения исполнительных органов (для ОК, ПК, КСУ в составе очистных агрегатов);

\vec{Y}_c – вектор управляющих воздействий при реализации автоматизированных режимов самозарубки исполнительных органов (для ОК в составе очистных комплексов и для ПК);

\vec{Y}_z – вектор управляющих воздействий при осуществлении автоматизированных режимов защит от перегрузок и других негативных факторов (для всех ВМ);

\vec{Y}_{dm} – вектор управляющих воздействий при выполнении автоматизированных режимов диагностического мониторинга технического состояния (для всех ВМ).

Здесь следует отметить, что к настоящему времени на практике в достаточно полной мере реализованы, по сути, только автоматизи-

рованные режимы стабилизации мощности P и диагностического мониторинга для ОК, а также автоматизированные режимы защит от перегрузок и других негативных факторов для всех ВМ.

Т.о., при параллельном проектировании ВМ как энергетических, динамических и автоматизированных систем математическая модель оптимизации рассматриваемых объектов может быть представлена в следующем виде:

$$\Phi(\Phi_{\partial}; \Phi_{\partial}; \Phi_a) \rightarrow \max. \quad (8)$$

Реализация мехатронного подхода при проектировании ВМ новых поколений призвана обеспечить значительное улучшение интегральной функции цели Φ через увеличение функций Φ_{∂} , Φ_{∂} , Φ_a .

Рассмотрим основные особенности СИ при проектировании ВМ разных поколений

Прежде всего следует подчеркнуть, что СИ традиционных (М, С_э, С_г) компонент между собой, обеспечиваемая при их одновременном проектировании, как эффективный метод построения технических систем, известна в теории оптимального проектирования сложных машин давно, до появления мехатроники как области науки и техники, хотя тогда такой термин отсутствовал. Применительно к ВМ и другим сложным горным машинам, в т.ч. прежних поколений, в области достаточно глубокого объединения в силовых подсистемах тесно связанных традиционных структурных элементов достигнуты весомые положительные результаты с точки зрения влияния на интегральные функции цели Φ_{∂} , Φ_{∂} , а, следовательно, и на Φ . Однако, безусловно, этот процесс обязательно должен быть продолжен на очередных витках технического развития ВМ.

Рассмотрим взаимосвязь понятий «автоматизированная машина» и «машина мехатронного класса», отражающих разные аспекты проектных решений.

Первый термин, как известно, означает, что определенная часть управляющих воздействий передана от операторов автоматизированной подсистеме управления. Степень автоматизации при этом количественно можно оценить, например, с помощью коэффициента автоматизации [12] или предложенного в настоящей работе показателем Π_a , который, как представляется, более точно отражает сущность вопроса. Однако, при установлении степени автоматизации эти параметры не вскрывают, с помощью каких технических решений достигнут соответствующий результат.

Поняття «машина мехатронного класу» означає, що при її проектуванні в той или иной мірі реалізований мехатронний підхід, який базується на вищеизложених принципах. При цьому применительно к взаємозв'язку цього принципу и поняття «автоматизована ВМ», прежде всего, необходимо выделить базовые с позиций влияния на степень автоматизации составляющие мехатронного подхода:

- наличие современного уровня и в необходимом объеме ИЭ-компонент с «внутренней» СИ между ними;
- реализацию «внешней» СИ между ИЭ и традиционного характера структурными элементами;
- обеспечение определенного уровня интеллектуализации процессов управления и соответствующих адаптационных свойств при эксплуатации.

Безусловно, чем выше уровень указанных составляющих и, следовательно, степень мехатронности, тем более высокие значения интегральной функции цели Φ_a могут быть достигнуты как через показатель P_a , так и через другие единичные функции цели, см. (6).

Мехатронность объектов, как и их автоматизация – динамические явления, формируемые в процессе эволюционного развития технических систем. Т.к. количественная оценка степени мехатронности, насколько нам известно, пока не предложена, представляется целесообразным использовать следующую терминологию [1,3].

Термин «мехатронизированная выемочная (или другая горная) машина», по нашему мнению, означает, что при ее проектировании на основе мехатронного подхода реализованы те или иные уровни СИ между традиционными и интеллектуального характера компонентами и возможности адаптивного взаимодействия с внешней средой. Однако при этом возможно определенное искусственное «расчленение» ИЭ-компонент с взаимосвязанными M , C_3 , C_T – компонентами путем перехода на ручное управление при сохранении работоспособности ВМ, но с более низкого качества характеристиками и параметрами функционирования.

ВМ, степень сложности основных функциональных подсистем которых (например подсистем подачи ОК или подсистем привода исполнительных органов ПК на базе частотно-регулируемого электропривода) не позволяет обеспечить их работоспособность при ручном управлении человеком-оператором без использования соответствующей аппаратуры с развитыми ИЭ-компонентами, глубоко синергети-

чески интегрированными с традиционными элементами, предложено отнести к мехатронным объектам, как обладающим наиболее высокими степенями интеграции указанных компонент и интеллектуализации процессов управления.

В настоящее время наибольшее отставание в практической деятельности конструкторов с точки зрения формирования интегральной функции цели Φ через улучшение функции Φ_a , как нам представляется, присуще ПК, СУ и КСУ.

Мехатронный подход к проектированию ВМ на основе функционально-структурной и структурно-конструктивной синергетической интеграции между компонентами М, С_э, С_г, ИЭ позволяет обеспечить выход на новый уровень интегральных функций цели Φ на основе нижеприведенных основных преимуществ [1 – 3 и др.].

1. Реализация наиболее эффективного соответствия между функциями и конструктивным исполнением на базе использования в составе S – моделей минимально необходимых структурных блоков (функциональных и интерфейсных) и рационализации их конструктивных решений за счет минимизации числа звеньев и кинематических пар.

2. Обеспечение нового уровня интеллектуализации процессов управления функциональными движениями рабочих органов ВМ. Это позволит значительно улучшить адаптационные свойства машин к изменяющимся условиям сложной и опасной внешней среды в выработках при реализации автоматизированных функциональных режимов технологических циклов.

3. Существенное улучшение массогабаритных характеристик и свойств надежности – безотказности, ремонтпригодности, долговечности.

4. Значительное расширение функциональных и технологических возможностей ВМ, в т.ч.:

- путем применения перспективных механизмов, уровень сложности управления которыми исключает возможность ручного вида управления (например, частотно-регулируемого электропривода для ПК, СУ, КСУ, а также других горных машин);

- на основе разработки и внедрения новых прогрессивных технологических схем работы, требующих высокой точности перемещений функциональных технических объектов и взаимной координации их местоположения, что невозможно реализовать на основе ручного управления, без использования ИЭ-компонент необходимого уровня

(например, при реализации дозированной выемки угля СУ в составе очистных комплексов и КСУ в составе очистных агрегатов).

По нашему мнению, изложенный подход к оптимальному проектированию ВМ мехатронного класса (мехатронизированным и мехатронным) как энергетических, динамических и автоматизированных систем на основе сформированных интегральных функций цели является достаточно эффективным. Этот подход системно отражает не только известный принцип параллельного проектирования всех (М, С_э, С_г, ИЭ) компонент, но и в полной мере специфику и взаимосвязи составляющих проектирования этих объектов, создаваемых, прежде всего, как энергетические системы, подверженных высоким динамическим нагрузкам и объективно требующих качественно нового уровня интеллектуализации автоматизированных режимов технологического цикла.

Выводы и направление дальнейших исследований. Полученные результаты исследований в области параллельного проектирования ВМ мехатронного класса как тесно взаимосвязанных энергетических, динамических и автоматизированных систем предназначены для использования при создании машин последующих поколений с высокими макроуровневыми интегральными функциями целей для представительных или заданных условий эксплуатации. Дальнейшие исследования представляется целесообразным выполнить в области синтеза ВМ нового поколения как нелинейных динамических систем с альтернативными S – моделями силовых подсистем.

Список источников:

1. Горные машины для подземной добычи угля / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев; Под общей ред. П.А. Горбатова. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 669 с.
2. Принципы мехатроники при проектировании горных машин / Н.И. Стадник, А.В. Сергеев, А.В. Мезников, В.П. Кондрахин // Материалы международной конференции «Форум горняков - 2007» - Днепропетровск: НГУ, 2007. – с. 7-17.
3. Горбатов П.А., Косарев В.В., Лысенко Н.М. Выемочные комбайны нового поколения как энергетические системы мехатронного класса. – Донецк: ДонНТУ, 2010. – 173 с.
4. Интеллектуализация рабочего процесса проходческого комбайна как мехатронного объекта / О.Е. Шабаев, А.К. Семенченко, Е.Ю. Степаненко, Н.В. Хиценко, О.К. Мороз // VII MIĘDZYKONFERENCJA “Zastosowania Mechaniki w Górnictwie”. – Ustroń: POLITECHNIKA ŚLĄSKA, 2009. – с. 77-87.
5. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов / Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев, Н.Г. Бойко, П.А. Горбатов, В.А. Межаков. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
6. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. – М.: Недра, 1984. – 228 с.

7. Семенченко А.К., Кравченко В.М., Шабает О.Е. Теоретические основы анализа и синтеза горных машин и процесса их восстановления как динамических систем. – Донецк: РИА ДонНТУ, 2002. – 302 с.
8. Бойко Н.Г. Разрушение угольных пластов режущим инструментом очистных комбайнов. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – 128 с.
9. Косарев В.В., Семенченко А.К., Новиков А.И. Влияние на производительность очистного комбайна затрат времени на вспомогательные операции при интенсификации добычи // Наукові праці ДонНТУ. Випуск 16 (142), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – с. 159-165.
10. Горбатов П.А. Имитационное моделирование динамических процессов в очистных комбайнах, функционирующих в автономных системах «комбайн – массив – конвейер» // Разработка месторождений полезных ископаемых: Республ. межвед. научно-техн. сб. – Киев: Техника, 1991. – Вып. 88. – с. 26-31.
11. Виртуальное моделирование и современные методы оценки прочности и ресурса горных машин / В.В. Косарев, Н.И. Стадник, В.А. Дейниченко, В.С. Воскресенский // Горное оборудование и электромеханика. – М. : Новые технологии, № 5, 2006. – с. 12-16.
12. Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004.–640с.

П.А. Горбатов. Паралельне проектування виймальних машин мехатронного класу як енергетичних, динамічних і автоматизованих систем. Запропоновано ряд наукових положень, що відносяться до оптимального проектування очисних і прохідницьких комбайнів, стругових і конвеєростругових установок нових поколінь мехатронного класу як взаємозалежних енергетичних, динамічних і автоматизованих систем.

виймальна машина, мехатронний підхід, паралельне проектування, синергетична інтеграція, інтелектуалізація процесів управління, складова проектування, інтегральна функція мети

P. Gorbatov. Concurrent design of extraction machines mechatronic class as energy, dynamic, and automated systems. A number of scientific statements pertaining to designing the optimal treatment-tion and heading Processors, Plow and plant konveyerostrugovyh new generation of mechatronic class as interconnected energetically, dynamic and automated systems.

excavation machines, mechatronic approach, parallel design, the synergetic integration, intelligence management processes, component design, the integral function of target

Стаття надійшла до редколегії 30.08.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Кондрахін

© П.А. Горбатов, 2010