

МЕХАТРОННИЙ ПОДХОД ПРИ АНАЛИЗЕ ДВИЖУЩИХСЯ ГОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Н.И. Стадник

Донецкий национальный технический университет, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58,
тел. (062) 3010709, e-mail: stadnik@telenet.dn.ua

Особенностью современных горных машин является наличие синергетично связанных механических, силовых, электронных та інформаційних компонент, что указывает на мехатронность этих объектов. Практичные задания конструирования, дослідження мехатронных систем, оптимізації їх складу в області вугільного машинобудування розглянуті недостатньо і потребують подальшого вивчення.

До основных особенностей комплексов относятся: зростання енергооснащеності при відносному зменшенні габаритів, що визначається зниженням потужності відпрацьовуваних вугільних пластів; випадковий характер навантажень, що змінюються в широкому діапазоні в основних підсистемах машин; рухливість, нестаціонарність положення машин комплексу, просторова неоднозначність їхнього взаємного розташування; обмежена потужність шахтних мереж електропостачання і віддаленість струмоприймачів призводять до значних втрат обертаючих моментів привода; іскробезпечне виконання систем управління, що створює значні труднощі в забезпеченні необхідної швидкості передачі інформації; ергономічні проблеми, пов'язані з обмеженими психофізіологічними можливостями людини-оператора при роботі в тонких пластах, що вимагає застосування, так званих малолюдних технологій на основі інтелектуалізації машин.

Визначено види зв'язків між компонентами і запропонована на цій базі функціонально-структурна схема комплексу як мехатронної системи. І далі – розробка моделей кожної з компонент і формування моделі мехатронного агрегату в цілому (з-за обмеженого обсягу в статті не наводиться). Після досліджень моделей виконується конструкторська розробка окремих компонентів і комплексу в цілому.

Ключові слова: мехатроніка, енергонасиченість, випадкові навантаження, нестаціонарність положення, іскробезпека, безпека, паралельне проектування.

Особенностью современных горных машин является наличие синергетически связанных механических, силовых, электронных и информационных компонент, что указывает на мехатронность этих объектов. Практические задачи конструирования, исследования мехатронных систем, оптимизации их состава в области угольного машиностроения рассмотрены недостаточно и требуют дальнейшего изучения.

К основным особенностям комплексов относятся: рост энергооснащенности при относительно уменьшающихся габаритах, что определяется снижением мощности обрабатываемых угольных пластов; случайный характер изменяющихся в широком диапазоне нагрузок в основных подсистемах машин; подвижность, нестационарность положения машин комплекса, пространственная неоднозначность их взаимного расположения; ограниченная мощность шахтных сетей электроснабжения и удаленность токоприемников приводит к значительным потерям вращающих моментов привода; искробезопасное исполнение систем управления, что создает существенные трудности в обеспечении требуемой скорости передачи информации; эргономические проблемы, связанные с ограниченными психофизиологическими возможностями человека-оператора при работе на тонких пластах, что требует применения, так называемых малолюдных технологий на основе интеллектуализации машин.

Определены виды связей между компонентами, предложена на этой базе функционально-структурная схема комплекса как мехатронной системы. И дальше – разработка моделей каждой из компонент и формирование модели мехатронного агрегата в целом (из-за ограниченного объема в статье не приводится). После исследований моделей выполняется конструкторская разработка отдельных компонент и комплекса в целом.

Ключевые слова: мехатроника, энергонасыщенность, случайные нагрузки, нестационарность положения, искробезопасность, безопасность, параллельное проектирование.

Availability of synergistically connected mechanical, power, electronic, and data components is the feature of modern mining equipment. That points to the objects mechatronic nature. Practical tasks of mechatronic systems design and study as well as their part optimization in the field of coal machine-building are unconsidered calling for further research.

Basic features of the sets are: Increase in power supply capacity at relative scaling-down of overall dimensions which is determined with the help of mined coal layers thickness; Random nature of varying over a wide range loads within basic subsystems of the equipment; Movability and instability of the set machines, and spatial indirectness of their relative position; Restricted power of mine electric supply networks and farness of loads result in considerable losses of a drive torque; Intrinsically safe control systems which causes great problems in providing correct speed of data transfer; Ergonomic problems depending on limitations of psychophysiological capabilities of human operator while working with low layers; that involves application of so-called limited manning on the basis of equipment intellectualization.

The paper identifies relation types between components; functional and structural chart of the set as mechatronic system is proposed. Then – each component model development and formation of mechatronic aggregate in whole (the paper can not concerns it due to circumscribed size). After models have been studied, engineering development of separate components and a set in whole takes place.

Key-words: mechatronics, power density, random loads, instability of position, intrinsic safety, safety, concurrent engineering.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. За последние годы в мировом и отечественном угольном машиностроении произошли коренные изменения, результатом которых стало существенное повышение технико-экономических показателей добычи угля. Так, среднесуточная добыча из очистного забоя достигает 15-20 тыс. тонн угля. Важно отметить, что существенное повышение эффективности достигнуто без принципиальных изменений технологии подземной добычи. В связи с этим возникает настоятельная необходимость теоретического осмысления и анализа изменений, происходящих в конструкциях и принципах проектирования и эксплуатации угледобывающих машин.

Анализ публикаций. Основной отличительной особенностью машин современных очистных механизированных комплексов является наличие синергетически связанных механических, силовых (электротехнических, гидравлических и др.), электронных (микропроцессоры, преобразователи частоты) и информационных (датчики, программное обеспечение) компонент, что указывает на мехатронность этих объектов [1,2]. В технической литературе по мехатронике [3] и др. в основном рассматриваются важные вопросы определений, терминологии, классификации и т.п. В тоже время практические задачи конструирования, исследования мехатронных систем, оптимизации их состава в тесной связи с производством и эксплуатацией рассмотрены недостаточно. Особенно это ощущается в такой специфической области машиностроения, как угольное.

Концептуальные вопросы проектирования и эксплуатации очистных механизированных комплексов как синергетически связанных между собой мехатронных машин в настоящее время разработаны недостаточно и требуют дальнейшего изучения.

Постановка задачи. Целью работы является анализ особенностей очистных механизированных комплексов с точки зрения возможности их трансформации в мехатронные системы и разработка общих положений по использованию принципов синергетики и мехатроники при проектировании комплекса многоприводных машин для подземной добычи угля.

Изложение материала и результаты. При создании современных мехатронных горных машин с высокими функционально-параметрическими характеристиками разработчики столкнулись с необходимостью учитывать ряд специфических особенностей и требований, которые, как правило, не характерны для тех отраслей машиностроения, где мехатронный подход к проектированию является уже традиционным (например, робототехника, авиа-космическая отрасль, точная компьютерная механика, приборостроение и т.д.). Возникает необходимость обобщения этих требований с целью их комплексного учета при проектировании.

Основные особенности очистных механизированных комплексов, оказывающие влияние на возможность их трансформации в мехатронные системы, приведены ниже.

1) Постоянный рост энерговооруженности и расширяющееся использование регулируемого привода при неизменных габаритах, что определяется горно-геологическими условиями обрабатываемых угольных пластов. Так, вертикальный габарит по корпусу комбайнов для разработки пластов мощностью до 2 м (характерной для Украинского Донбасса) типа УКД400 и УКД200-250 составляет 400 мм, а для комбайнов типа КДК500 – 500 мм. Учитывая толщины стенок корпусов, необходимые зазоры и конструктивные особенности, диаметры зубчатых колес, планетарных передач в этих условиях не превышают 310 и 410 мм соответственно. Привод современных горных машин, как правило, является многодвигательным (до пяти и более электродвигателей, в том числе многоскоростных и регулируемых), что требует разработки специальных алгоритмов управления для обеспечения их согласованной работы, включая последовательности их запуска, контроля и регулирования скорости вращения и режимов работы.

Например, до настоящего времени в угольной промышленности Украины наиболее распространенными являются разработанные более 25 лет назад очистные комбайны, оснащенные одним электродвигателем номинальной мощностью 200 кВт. В последние годы созданы очистные комбайны КДК500 для работы в тех же условиях, имеющие 5 электродвигателей общей номинальной мощностью около 600 кВт, в том числе два электродвигателя привода резания (по 250 кВт), два частотно-регулируемых электродвигателя привода подачи (по 45 кВт), и электродвигатель привода насоса гидросистемы (7,5кВт). В связи с разработкой мощных взрывобезопасных частотных преобразователей становится реальной задача создания очистных комбайнов с регулируемым приводом не только механизма перемещения, но и резания.

Аналогичная картина характерна и для привода забойных скребковых конвейеров. До недавнего времени забойные скребковые конвейеры отечественного производства оснащались, как правило, двумя приводами блоками общей мощностью до 320 кВт. За последние несколько лет освоены в производстве энерговооруженные (400-700 кВт) скребковые конвейеры типажного ряда КСД, имеющих от 2 до 4 двухскоростных электродвигателей мощностью до 115/350кВт каждый. В зарубежной практике, в частности на шахтах Германии, для мощных скребковых забойных конвейеров широко применяются частотно-регулируемые электроприводы.

Тенденция роста энергооснащенности характерна и для механизированных крепей. Так, рабочее давление гидросистемы крепи за последние годы выросло от 20 МПа до 40 МПа, а величина подачи насосной станции – от 100 до 200 л/мин на один насосный агрегат с возможностью включения нескольких агрегатов на

параллельную работу. Можно прогнозировать появление насосных станций с частотно-регулируемым приводом.

Следует отметить, что использование регулируемого многодвигательного привода является, на наш взгляд, качественным шагом на пути от немахатронных к мехатронным горным машинам.

2) Случайный характер изменяющихся в широком диапазоне и определяемых физико-механическими свойствами разрушаемых пород нагрузок в основных подсистемах машин. Это требует больших перегрузочных способностей приводов и значительных запасов прочности, что весьма проблематично в стесненных условиях пластов малой мощности. Проблема усугубляется формированием значительных динамических нагрузок на машины (в том числе высокие экстренные нагрузки в переходных режимах), которые наряду со специфическими условиями работы определяются невозможностью применять общепринятые методы при проектировании ряда узлов. Отмеченные противоречия могут быть решены за счет применения быстродействующего регулируемого привода и интеллектуальных компонент – совместно снижающих динамические нагрузки и осуществляющих защитное отключение в аварийных ситуациях.

3) Подвижность, нестационарность положения всех машин очистного механизированного комплекса, пространственная неоднозначность взаимного расположения комбайна, забойного конвейера и секций механизированной крепи, имеющая в значительной степени случайный характер, создают большие трудности в части создания комплексов, работающих в автоматическом режиме, т.е. реализующих идею малолюдных технологий добычи угля. Решение проблемы лежит в плоскости оснащения забойных машин интеллектуальными сенсорами, идентифицирующими их взаимное положение и положение относительно вмещающих пород, специальным компьютерными системами и программным обеспечением. В этом смысле очистной механизированный комплекс принципиально отличается от робототехнических комплексов, используемых в машиностроительных технологиях.

4) Тяжелый режим работы машин, характеризующийся высокой относительной продолжительностью включения ПВ при большом числе пусков и реверсов и при стохастическом характере нагружения. Так, ПВ электродвигателей очистных комбайнов в современных высоконагруженных лавах приближается к 70%, в то время как 15-20 лет назад не превышал 30%. Это обуславливает необходимость отвода значительного количества тепла от элементов привода (не только электродвигателей, но и редукторов). Вследствие этого возникает проблема подвода большого количества воды к подвижной машине и существенно усложняется конструкция узлов из-за необходимости устройства специальных охладителей с большим расходом охлаждающей жидкости. Например, для ком-

байна КДК500 общий расход воды с учетом его производительности составляет 350 л/мин., в т.ч. для охлаждения 80 л/мин. Кроме того, усложняется система управления, которая должна выполнять функции контроля чистоты, температуры, давления и расхода охлаждающей жидкости.

В связи с этим актуальной становится проблема снижения тепловыделения, которая должна решаться за счет новых конструктивных решений, применения новых материалов, существенного повышения технологического уровня производства. Например, широко используемые в настоящее время электродвигатели имеют к.п.д. менее 0,9, в то же время электрические машины импортного производства имеют к.п.д. более 0,95, и, следовательно, значительно меньшие потери. Повышение к.п.д. актуально и для других тепловыделяющих узлов, например, редукторов.

5) Ограниченная мощность шахтных сетей электроснабжения, подвижность и удаленность токоприемников приводит к существенным трудностям при запуске машин и значительным потерям крутящих моментов привода при работе в установившихся режимах, что напрямую связано с производительностью [4]. Достаточно сказать, что мощность трансформаторных подстанций за последние 30 лет увеличилась с 400-630 кВА до 1200 – 1600 кВА. Дальнейший рост единичной мощности подстанций ограничен их вписываемостью в горные выработки.

Отметим также, что за это же время сечение силовых жил питающих кабелей возросло с 35 до 95мм² на одну фазу, и дальнейший рост затруднен вследствие невозможности обеспечить необходимые радиусы изгибов при работе в кабелеукладчиках на пластах малой мощности. Эта проблема может быть решена за счет применения высоких питающих напряжений, что весьма сложно в стесненных шахтных условиях со специфической взрывоопасной средой, за счет применения регулируемого привода, а также специальных алгоритмов управления машинами комплекса. В мировой практике имеется опыт работы очистных механизированных комплексов при напряжениях питания 3300В и более, но только в пластах средней мощности и выше.

6) Системы управления горными машинами, как правило, являются распределенными, что в условиях растущих объемов информации, циркулирующей между пунктами управления, создает существенные трудности в обеспечении требуемой скорости передачи информации, а, следовательно, реализации оптимальных алгоритмов управления при существующих линиях связи. Проблема усугубляется необходимостью искробезопасного исполнения систем, при относительно большой мощности потребляемой информационной компонентой и отсутствием надежного физического канала связи (проводного, оптического и т.п.), работающего в условиях больших механических нагрузок и значительных электрических и электромагнитных помех.

Отметим, что для комбайнов предыдущих поколений основная задача управления сводилась к прямому пуску асинхронного электродвигателя с обеспечением минимального количества традиционных защит (тепловая, от токов короткого замыкания и т.п.), и дальше работа машины определялась функционированием механической и гидравлической компонент. В тоже время управление комбайнами нового поколения требует применения специальных частотных преобразователей, микропроцессорных систем управления и диагностики, устройств точной гидравлики, которые в сочетании с механической компонентой, оснащенной интеллектуальными сенсорами, функционируют в соответствии с заданной программой, обеспечивая синергетическое единство в работе указанных компонентов.

7) Широкое применение в машинах очистного механизированного комплекса гидравлических систем, работающих в чрезвычайно загрязненных условиях, требует особого внимания к процессам фильтрации рабочей жидкости, чистота которой напрямую определяет надежность функционирования систем управления. При этом необходимо иметь в виду, что наиболее гидрофицированный механизм очистного комплекса – механизированная крепь, потребляющая наибольшее количество рабочей жидкости, предъявляет весьма жесткие требования к процентному содержанию присадок (около 2%), которое существенно влияет на безотказность и ресурс оборудования. Таким образом, возникает проблема непрерывного мониторинга качества рабочей жидкости в гидросистеме, постоянного поддержания ее уровня и чистоты.

8) Важным параметром для высоконагруженных очистных машин является гарантированный ресурс, выраженный через объем выполненной работы, например, количество добытого или перевезенного угля. В связи с этим, на стадии выполнения проекта необходимо на моделях определять ресурс отдельных компонент и модуля в целом с учетом их взаимодействия и прогнозных циклов нагружения в конкретных горно-геологических условиях. В процессе эксплуатации требуется постоянный мониторинг израсходованного и остаточного ресурсов. Большие потери времени при проведении ремонтных работ и, следовательно, потери в выполнении установленных заданий требуют повышения уровня диагностики машин. Мониторинг технического состояния машин необходимо решать за счет установки в характерных точках (узлах), которые определяются при виртуальных, а затем подтверждаются при экспериментальных испытаниях, специальных интеллектуальных сенсоров, объединенных в локальные информационные сети.

9) При работе высокопроизводительных горных машин появились серьезные проблемы, связанные со значительным выделением газа метана и с возросшей вероятностью внезапных выбросов угля и газа. Машины должны быть оснащены сенсорами контроля газа в зоне раз-

рушения угля. Комплексно проблема должна решаться за счет применения специальных прогностических систем контроля окружающей среды.

10) В современных условиях возросла важность и актуальность эргономических проблем, связанных с ограниченными психофизиологическими возможностями человека-оператора при работе, особенно в тонких пластах. Эти проблемы касаются как скорости формирования управляющих воздействий, так и возможности физического перемещения за быстродвижущимся очистным комбайном. Для их решения требуется максимальное удаление обслуживающего персонала из рабочей зоны, т.е. применения так называемых малолюдных технологий, что формирует специфические требования в части интеллектуализации систем управления.

11) Работа горных машин с высокими нагрузками в сложных горно-геологических условиях существенно осложнила решение вопросов безопасности и обеспечения приемлемых санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих. В этом смысле одной из основных является проблема пылеподавления. С одной стороны, ее решение обеспечивает санитарно-гигиенические условия труда рабочих забоя, а, с другой, – повышает безопасность за счет снижения фрикционного искрообразования. Решение этой задачи видится в применении (наряду с традиционным) высоконапорного орошения в сочетании с компьютерной системой мониторинга.

12) Из процесса создания новых горных машин в настоящее время фактически выпала стадия шахтных испытаний. В связи с этим первые образцы созданной машины должны иметь высокую надежность и производительность, т.е. Конструкторские и заводские ошибки и погрешности должны быть сведены к минимуму еще на стадии проектирования. Поэтому многократно возрастает важность создания и использования математических моделей, которые должны обеспечить проведение виртуальных испытаний создаваемых машин на ранних стадиях их проектирования.

Указанные особенности существенно ограничивают область допустимых решений при проектировании горных машин. Рассмотрим некоторые общие подходы к синтезу современных горных машин как мехатронных агрегатов.

Разработка любого объекта, в том числе и мехатронного, начинается с определения как общих, вытекающих из его назначения функционально-параметрических характеристик, так и характеристик составляющих его компонент и построения на этой базе функционально-структурной схемы разрабатываемой машины. Применительно к очистному механизированному комплексу (ОМК) как мехатронной системе такая схема представлена на рис. 1.

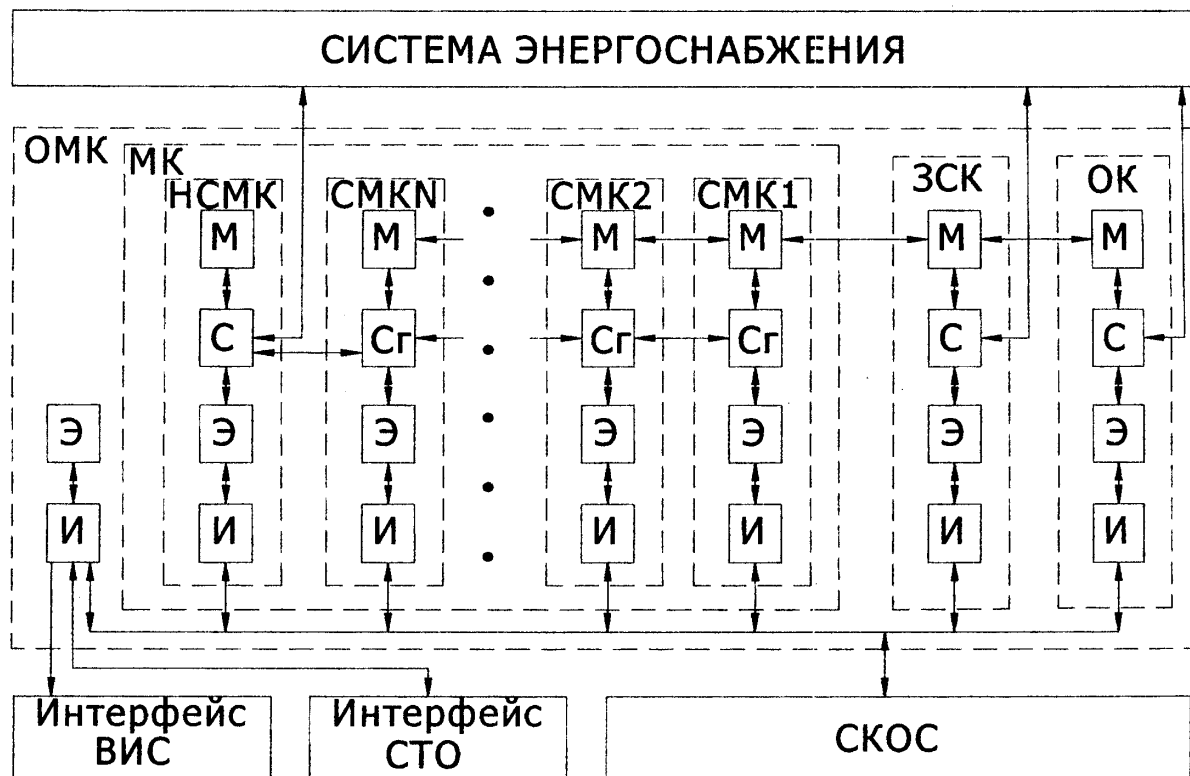


Рисунок 1 – Функционально-структурная схема ОМК как мехатронной системы

На рис. 1 в соответствии с классификацией мехатронных объектов, предложенной в [1, 2], приняты следующие обозначения: ОК – мехатронный агрегат «очистной комбайн», ЗСК – мехатронный агрегат «забойный скребковый конвейер», СМК1, СМК2, ... СМКN – мехатронные агрегаты «секция механизированной крепи», НСМК – мехатронный агрегат «насосная станция механизированной крепи» (их может быть несколько), М, С, Э, И – соответственно, механическая, силовая, электронная и информационная компоненты; С_Г – силовая гидравлическая компонента механизированной крепи; ВИС – внешняя информационная система; СТО – сопряженное технологическое оборудование; СКОС – система контроля окружающей среды.

Предложенная схема позволяет наглядно представить взаимосвязи между компонентами ОМК (на рис. 1 показаны стрелками). Согласно [4], возможны следующие виды связей между компонентами:

Согласование (-) – связь, при которой каждая из компонент имеет собственные параметры, ограничения и конструктивное исполнение, параметры компоненты согласованы для достижения общей цели. Такой вид связи имеет место, например, в обычном типе привода, имеющем стандартные двигатель и редуктор. Конструкция двигателя и редуктора никак не зависят друг от друга, компоненты могут быть использованы по отдельности, но для совместной работы должны быть согласованы. Согласование достигается подбором определенных параметров, введением согласующих устройств

(муфты, различные защиты и т.п.). Структурная формула такого привода М-С₃ (С₃ – силовая электро-техническая компонента).

Соединение (+) – связь, накладывающая общие ограничения на компоненты и их параметры, каждая компонента имеет собственное конструктивное исполнение и при соединении для достижения поставленной цели образуется новая структурная единица, с собственными функциями и ограничениями. Примером такой связи могут служить практически все типы приводов очистных комбайнов, так как конструкция и параметры двигателей и редукторов жестко взаимосвязаны, двигатель и редуктор, соединенные тем или иным образом образуют корпусную подсистему машины. Структурная формула для такого привода М+С₃.

Совмещение (·) – связь, при которой ограничения, параметры и конструктивное исполнение для компонент являются общими, компоненты составляют единое устройство и неразрывно связаны для достижения поставленной цели. В технике привода примером такой связи являются мотор-редукторы, структурная формула М·С₃.

В работе [3] мехатроника определяется как «область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями». Синергетическое

об'єднання може бути реалізовано двома основними способами:

- функціонально-структурна інтеграція (даліше ФС-інтеграція), заключаючись в мінімізації структурних блоків, необхідних для реалізації необхідних функцій, скорочення числа погоджуваних пристроїв;

- структурно-конструктивна інтеграція (даліше СК-інтеграція), заключаючись в мінімізації конструктивних рішень для реалізації необхідної структури.

ФС-інтеграція приводить к заміні зв'язи «згодсування» (-) зв'язью «з'єднання» (+), СК інтеграція – к заміні зв'язи «з'єднання» (+) зв'язью «звмещення» (·), зв'язь (-) означає відсутність інтеграції, тому в дальнішому зв'язи (+) і (·) будемо називати інтегруючими. Об'єднання компонент передбачає наявність будь-якої зв'язи між ними, інтеграція – тільки інтегруючої.

З урахування сказаного, структурна формула очистного механізованого комплексу як мехатронної системи може бути представлено в вигляді:

$$\begin{aligned} & (M_{OK} \cdot M_{ЗСК} \cdot (M_{СМК1} + M_{СМК2} + \dots + M_{СМКN})) \times \\ & \times (C_{OK} - C_{ЗСК} - (C_{НСМК} \cdot C_{ГСМК1} \cdot C_{ГСМК2} \cdot \dots \cdot C_{ГСМКN})) \times \\ & \times (\mathcal{E}_{ОМК} - \mathcal{E}_{OK} - \mathcal{E}_{ЗСК} - (\mathcal{E}_{НСМК} - \mathcal{E}_{СМК1} - \mathcal{E}_{СМК2} - \dots - \\ & - \mathcal{E}_{СМКN})) \cdot (I_{ОМК} \cdot I_{OK} \cdot I_{ЗСК} \times \\ & \times (I_{НСМК} \cdot I_{СМК1} \cdot I_{СМК2} \cdot \dots \cdot I_{СМКN})). \end{aligned}$$

Начальна стадія проектування (ескізний проект, який передшестує ТЗ) складається в визначенні повного складу компонент застосовуючи до кожного мехатронного агрегату, визначенні функціонально-параметричних вимог до кожної з них, в т.ч. габаритно-масових показателів. Наступним етапом буде розробка моделей кожної з компонент і на їх основі формування моделі мехатронного агрегату в цілому.

Дослідження моделей окремих компонент передбачає мету визначити поведінку їх як в установившихся, так і перехідних режимах. Тут же визначаються відповідність заданим параметрам, номенклатура контролюваних параметрів і їх гранично допустимі значення, вимоги до засобів захисту, поточної діагностики, а також діагностики, опрацюваної ізрасходованими і залишковими ресурсами. Номенклатура діагностованих параметрів визначається на стадії дослідження моделей, як окремих компонент, так і моделі агрегату в цілому з урахування внутрішніх станів елементів, граничних зовнішніх впливів і допустимих станів для даних конструктивних рішень. При виконанні цих же досліджень визначаються параметри спрацювання захисту.

Наступний етап – на основі опрацюваних моделей окремих модулів створення повної моделі розроблюваної машини, т.е. мехатронного агрегату. На цій моделі опрацюється взаємодія компонент, в частині його неконфліктності, т.е. синергетичності їх об'єднання. Після встановлення конфлікт-

них з'єднань опрацюються шляхи їх вирішення. Такими способами може бути декілька: 1) всередині однієї з компонент; 2) на з'єднанні двох компонент; 3) зміна загальних вимог до мехатронного модулю.

В якості прикладу розглянемо характер взаємодії між інформаційними компонентами ОК і ЗСК. Наявність частотно-регульованих приводів подачі комбайна і тягового органу конвеєра ставить задачу забезпечення їх погодженої роботи, тобто забезпечення максимальної продуктивності комплексу при максимальному ресурсі забойного конвеєра. Виходячи з цих критеріїв розглянемо зв'язь між швидкістю переміщення очистного комбайна $V_{п}$ і швидкістю руху конвеєрної ланки $V_{ц}$. Відомо, що основним фактором, обмежуючим ресурс конвеєрного става і ланки, є знос, величина якого визначається інтенсивністю зносу шляхом тертя. Останній, в свою чергу, прямо пропорційний швидкості руху ланки. Тому, для мінімізації зносу слід мінімізувати швидкість ланки конвеєра. Кількість вугілля, поступаючого на конвеєр, визначається теоретичною (хвилиною) продуктивністю комбайна

$$Q = H_p B_3 \gamma V_n,$$

де H_p – потужність вилучуваного пласта, B_3 – ширина захопту, γ – густина вугілля в масиві.

Враховуючи рухливість точки завантаження конвеєрного полотна, площа сечення грузопотоку визначається по формулі

$$S = \frac{H_p B_3 \gamma V_{п}}{(V_{ч} \pm V_{п}) \gamma_H},$$

де γ_H – густина насипного вугілля.

Враховуючи площу сечення грузопотоку к його максимально можливому по характеристиці конвеєрного става значенню S_{max} , отримаємо залежність для визначення необхідної швидкості ланки:

$$V_{ч} = V_{п} \left(\frac{H_p B_3 \gamma}{S_{max} \gamma_H} \pm 1 \right),$$

Тут знак «+» ставиться при зустрічному напрямку руху комбайна і ланки, а знак «-» – при попутному напрямку. Таким чином, раціональна швидкість руху конвеєрної ланки залежить від швидкості і напрямку руху комбайна, а також від потужності вилучуваного пласта. Внаслідок цього, перед інформаційними компонентами і системами управління окремих машин і комплексу в цілому стоїть задача погодження швидкості руху ланки конвеєра з швидкістю переміщення і режимом роботи комбайна для заданих горно-геологічних умов. Іншими словами, це питання є синергетичним об'єднанням компонентів і машин, при якому ефективність роботи комплексу перевищує просту суму ефективності окремих машин.

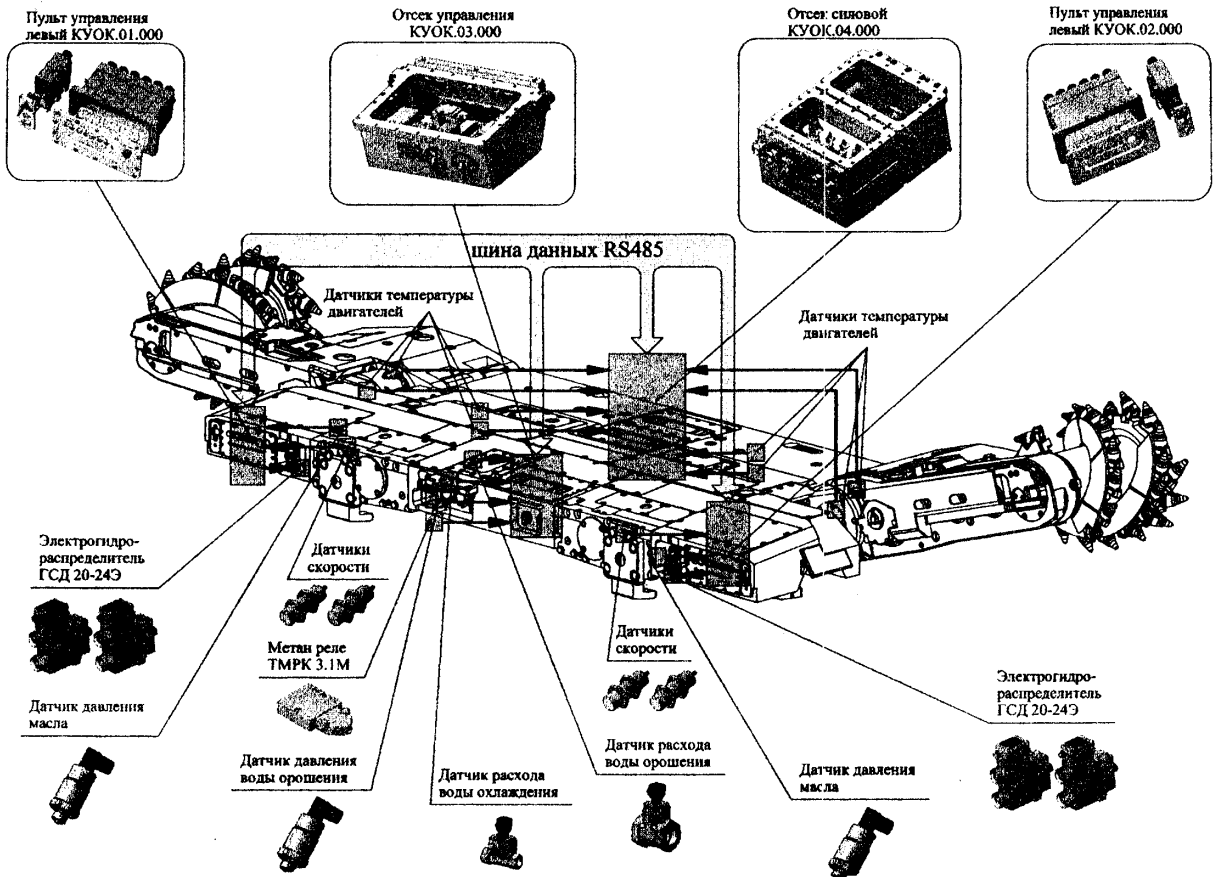


Рисунок 2 – Комбайн УКД400 как мехатронный агрегат

Одним из примеров реализации, отмеченных подходов может быть комбайн УКД400, оснащенный частотным преобразователем ПЧЕШ 60 и системой управления и диагностики КУОК [6]. На рис.2 приведен общий вид комбайна (без преобразователя частоты), а также общий вид и расположение его электронных компонент. Рисунок 2 наглядно иллюстрирует высокую насыщенность современных очистных комбайнов элементами электронной и информационной компонент.

Выводы и направления дальнейших исследований. Очистные механизированные комплексы по сравнению с традиционными мехатронными системами (робототехническими комплексами, приборами, объектами компьютерной механики и др.) обладают рядом существенных особенностей, оказывающих значительное влияние на пути и способы их трансформации в мехатронные системы.

Сложная структура мехатронных систем ОМК, определяемая большим числом функциональных связей между объектами различной физической природы, делает принципиально невозможным получение приемлемого результата при проектировании компонент системы по отдельности. В этом случае проектирование невозможно без использования мехатронных подходов, параллельного проектирования с применением различных видов моделирования, в первую очередь, математического, как

отдельных компонент, так и системы в целом для выявления конфликтующих параметров и их устранения, то есть синергетического объединения компонент.

Особенности мехатронных систем неизбежно приводят к изменению принципов не только их проектирования, но и эксплуатации и подготовки специалистов в этой области.

В дальнейшем при разработке методов проектирования очистных механизированных комплексов как мехатронных систем необходимо уделить серьезное внимание комплексной проблеме передачи больших мощностей в условиях ограниченных габаритов, обеспечению требуемого диапазона и качества регулирования скорости перемещения, обеспечению ресурсных показателей, самодиагностики, прогнозу возникновения и развития аварийных ситуаций.

Литература

1 Стадник Н.И. Мехатроника в угольном машиностроении / Н.И. Стадник, А.В. Сергеев, В.П. Кондрахин // Известия Донецкого горного института. – 2006. – №1. – С. 148-163.

2 Горбатов П.А. Концептуальная характеристика сложных горных машин как мехатронных систем / П.А. Горбатов, В.В. Косарев, Н.И. Стадник // Научные труды ДонНТУ. – 2005. – Вып. 104. – С. 53-61.

3 Егоров О.Д. Конструирование мехатронных модулей: учебник. Издание второе, исправленное и дополненное / О.Д. Егоров, Ю.В. Подураев. – М.: Изд. «СТАНКИН», 2005. – 368 с.: ил.

4 Косарев В.В. Влияние параметров системы электропривода и условий эксплуатации на нагрузку очистных комплексов / В.В. Косарев, А.В.Сергеев, Н.И. Стадник, З.М. Рабинович // Уголь Украины. – 1998. – № 6. – С. 24-27.

5 Кохан П.С. Об экономических результатах промышленных испытаний на шахтах ОАО «Павлоградуголь» концентрата для приготовления рабочей жидкости, соответствующего требованиям DIN EN ISO 12922 и 7- го Люксембургского отчета / П.С. Кохан, Т.Е. Хольц, Х.-И. Гюнтер // Глюкауф. – 2006. – декабрь, № 4. – С. 22-25.

6 Комплекс технических средств управления очистным комбайном УКД300 / В.В.Синенко, В.Н.Сирченко, А.А. Акатов и др. // Уголь Украины. – 2006. – № 9. – С. 29-31.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
21.05.13*

*Рекомендована до друку
професором Горбійчуком М.І.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Кондрахіним В.П.
(ДонНТУ, м. Донецьк)*