

УДК 622.232.72

## ОЧИСТНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС КАК СОВОКУПНОСТЬ СИНЕРГЕТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ МНОГОПРИВОДНЫХ МЕХАТРОННЫХ АГРЕГАТОВ

Стадник Н.И., докт. техн. наук, Донгипроуглемаш,  
Кондрахин В.П., докт. техн. наук, проф.  
Донецкий национальный технический университет

*В работе рассмотрены особенности и методологические основы проектирования комплекса синергетически связанных между собой мехатронных агрегатов, обеспечивающих механизацию подземной добычи угля при высокой степени безопасности работ*

*The features and methodological foundations of the design of the synergetic constrained mechatronic machines for mechanization of deep-mined coal output with high level of industrial safety was consider*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

За последние 10-15 лет 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. Как и 40 лет назад добыча угля осуществляется очистными механизированными комплексами из длинных очистных забоев. 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 конст-

руирования, 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 отрабатываемых угольных пластов. Так вертикальный габарит по корпусу комбайнов для разработки пластов мощностью до 2 м (характерной для Украинского Донбасса) типа УКД300 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 тре-

бует 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 25 лет назад очистные комбайны РКУ10, РКУ13, 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 приводными блоками общей мощностью до 320 кВт. За последние несколько лет по разработкам института «Донгипроуглемаш» 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 электропривода.

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 по-

род 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. Например, при проектировании зубчатых передач из-за ограничений по габаритам применяются зубчатые колеса с большими модулями и, как следствие, низкими коэффициентами перекрытия (около единицы), провоцирующими динамические нагрузки. Отмеченные противоречия могут быть решены за счет применения быстродействующего регулируемого привода и электронных 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. Это создает 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 10-15 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 комбайна 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 результате чего потери при мощности 220 кВт превышают 22 кВт. В тоже время электрические машины импортного производства имеют примерно такую же мощность при к.п.д. более 0,95, и, следовательно, значительно меньшие потери – около 11 кВт. Это существенно упрощает решение проблемы охлаждения и повышает надежность электродвигателей. Такой электродвигатель в настоящее время проходит испытания в составе угольного комбайна УКД 200-250 на одной из павлоградских шахт. 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 - 1600кВА. 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 95мм<sup>2</sup> 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 3300 В и более, но только в пластах средней мощности и выше.

б) 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 морально устаревших комбайнов типа РКУ 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 компонент.

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.

Следует отметить, что чистота рабочей жидкости обеспечивается созданным в институте Донгипроуглемаш фильтром с промывкой противотоком рабочей жидкости. Что касается мониторинга качества рабочей жидкости и ее приготовления непосредственно в шахтных условиях, то такая система, комплексно решающая задачу, в настоящее время создается в Донгипроуглемаше, причем отдельные фрагменты подобных систем уже применяются на шахтах [5].

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 разрушения 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 быстроедействия формирования управляющих воздействий, так и возможности физи-

ческого 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, ... СМК $N$  – мехатронные агрегаты «секция механизированной крепи», НСМК – мехатронный агрегат «насосная станции 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  $M-C_3$  ( $C_3$  – 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  $M+C_3$ .

*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  $M \cdot C_3$ .

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 объединение может быть реализовано двумя основными способами:

- функционально-структурная интеграция (далее ФС - интеграция), заключающаяся в минимизации структурных блоков, необходимых для реализации необходимых функций, сокращения числа согласующих устройств;

- структурно-конструктивная интеграция (далее СК - интеграция), заключающаяся в минимизации конструктивных решений для реализации необходимой структуры.

ФС-интеграция приводит к замене связи «согласование» (-) связью «соединение» (+), СК интеграция – к замене связи «соединение»

(+) свяською «совмещение» ( $\cdot$ ), свясь (-) означає відсутність інтеграції, тому в дальнєйшєм свясьи (+) и ( $\cdot$ ) будєм називати інтегруючими. Об'єднання компонент подразумеває наявність будь-якої свясьи між ними, інтеграція – тільки інтегруючої.

С урахуванням сказанного, структурна формула очистного механізованого комплексу як мехатронної системи може бути представлена в видє:

$$(M_{OK} \cdot M_{ZSK} \cdot (M_{SMK1} + M_{SMK2} + \dots + M_{SMKN})) \cdot (C_{OK} - C_{ZSK} - (C_{НСМК} \cdot C_{ГСМК1} \cdot C_{ГСМК2} \cdot \dots \cdot C_{ГСМКN})) \cdot (Э_{ОМК} - Э_{ОК} - Э_{ЗСК} - (Э_{НСМК} - Э_{СМК1} - Э_{СМК2} - \dots - Э_{СМКN})) \cdot (I_{ОМК} \cdot I_{ОК} \cdot I_{ЗСК} \cdot (I_{НСМК} \cdot I_{СМК1} \cdot I_{СМК2} \cdot \dots \cdot I_{СМКN})).$$

Начальна стадія проектування (ескізний проект, який предшєствує ТЗ) состоїть в визначенні повного складу компонент применительно к каждому мехатронному агрегату, визначенні функціонально-параметрических вимог к каждой из них, в т.ч. габаритно-масовых показатєлей. Следующим шагом является разработка моделей каждой из компонент и на их основе формирование модели мехатронного агрегата в целом.

Исследования моделей отдельных компонент преследуют цель определить поведение их как в установившихся, так и переходных режимах. Здесь же определяются соответствие заданным параметрам, номенклатура контролируемых параметров и их предельно допустимые значения, требования к средствам защиты, текущей диагностики, а также диагностики, определяющей израсходованный и остаточный ресурсы. Номенклатура диагностируемых параметров определяется на стадии исследования моделей, как отдельных компонент, так и модели агрегата в целом с учетом внутренних состояний элементов, предельных внешних воздействий и допустимых состояний для данных конструктивных решений. При выполнении этих же исследований определяются параметры срабатывания защит.

Следующий этап - на основе отработанных моделей отдельных модулей создание полной модели разрабатываемой машины, т.е. мехатронного агрегата. На этой модели отрабатывается взаимодействие компонент, в частности его бесконфликтности, т.е. синергетичности их объединения. После установления конфликтных стыков отрабатываются пути их разрешения. Таких способов может быть несколько: 1) внутри одной из компонент; 2) на стыке двух компонент; 3) изменение общих требований к мехатронному модулю.

В качестве примера рассмотрим характер взаимодействия между информационными компонентами ОК и ЗСК. Наличие частотно-регулируемых приводов подачи комбайна и тягового органа конвейера ставит задачу обеспечения их согласованной работы, то есть обеспечения максимальной производительности комплекса при максимальном ресурсе забойного конвейера. Исходя из этих критериев рассмотрим взаимосвязь между скоростью перемещения очистного комбайна  $V_{\Pi}$  и скоростью движения конвейерной цепи  $V_{\text{ц}}$ . Известно, что основным фактором, ограничивающим ресурс конвейерного става и цепи, является износ, величина которого определяется интенсивностью износа путем трения. Последний, в свою очередь, прямо пропорционален скорости движения цепи. Следовательно, для минимизации износа следует минимизировать скорость цепи конвейера. Количество угля, поступающего на конвейер, определяется теоретической (минутной) производительностью комбайна

$$Q = H_p B_z \gamma V_{\Pi},$$

где  $H_p$  – мощность вынимаемого пласта,

$B_z$  – ширина захвата,

$\gamma$  – плотность угля в массиве.

Учитывая подвижность точки загрузки конвейерного полотна, площадь сечения грузопотока определяется по выражению

$$S = \frac{H_p B_z \gamma V_{\Pi}}{(V_{\text{ц}} \pm V_{\Pi}) \gamma_H},$$

где  $\gamma_H$  – плотность насыпного угля.

Приравняв площадь сечения грузопотока к его максимально возможному по характеристике конвейерного става значению  $S_{\text{max}}$ , получим зависимость для определения требуемой скорости цепи:

$$V_{\text{ц}} = V_{\Pi} \left( \frac{H_p B_z \gamma}{S_{\text{max}} \gamma_H} \pm 1 \right),$$

Здесь знак «+» ставиться при встречном направлении движения комбайна и цепи, а знак «-» - при попутном направлении. Таким образом, рациональная скорость движения конвейерной цепи зависит от скорости и направления движения комбайна, а также от мощности вынимаемого пласта. Вследствие этого, перед информационными компонентами и системами управления отдельных машин и комплекса в целом стоит задача согласования скорости движения цепи конвейера со скоростью перемещения и режимом работы комбайна для заданных горно-геологических условий. Другими словами речь идет

о синергетическом объединении компонентов и машин, при котором эффективность работы комплекса оказывается выше простой суммы эффективности отдельных машин.

Одним из примеров реализации, отмеченных подходов может быть комбайн УКД300, оснащенный частотным преобразователем ПЧЕШ60 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. Рис. 2 наглядно иллюстрирует высокую насыщенность современных очистных комбайнов элементами электронной и информационной компонент.

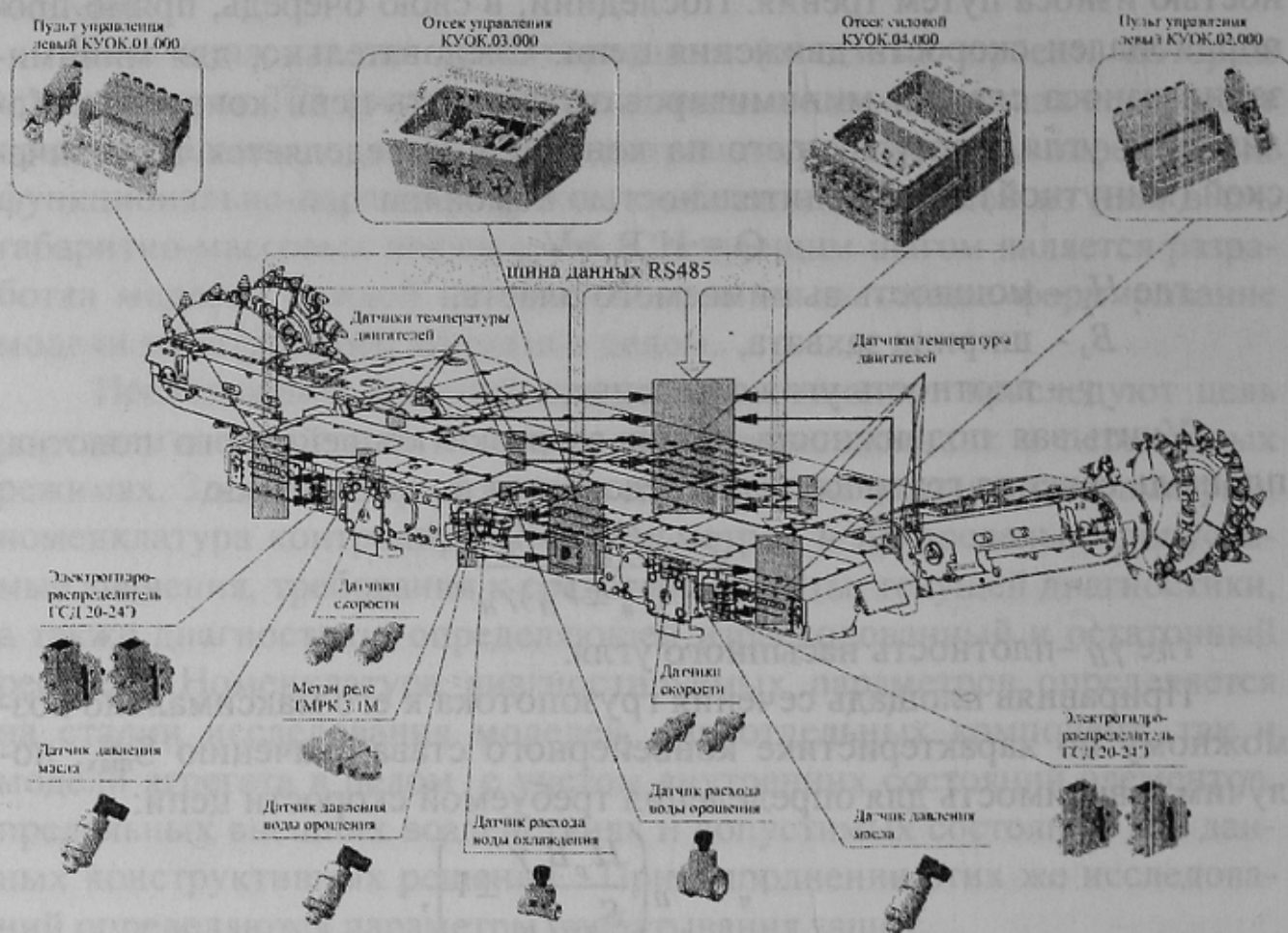


Рисунок 2 - Комбайн УКД-300 как мехатронный агрегат.

**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 ресурсных показателей, самодиагностики, прогнозу возникновения и развития аварийных ситуаций.

#### Список источников.

1. Стадник Н.И., Сергеев А.В., Кондрахин В.П. Мехатроника в угольном машиностроении // Известия Донецкого горного института, №1. – Донецк, 2006, С. 148-163.
2. Горбатов П.А., Косарев В.В., Стадник Н.И. Концептуальная характеристика сложных горных машин как мехатронных систем // Научные труды ДонНТУ, выпуск 104-Донецк: ДонНТУ, 2005. - С. 53-61.
3. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей: Учебник. Издание второе, исправленное и дополненное. – М.: Изд. «СТАНКИН», 2005. - 368 с.: ил.
4. Косарев В.В., Сергеев А.В., Стадник Н.И., Рабинович З.М. Влияние параметров системы электропривода и условий эксплуатации на нагрузку очистных комплексов // Уголь Украины. - 1998. - №6. - С. 24-27.
5. Кохан П.С., Хольц Т.Е., Гюнтер Х.-Й. 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 // Глюкауф. – 2006. - декабрь №4. – С. 22-25.
6. Комплекс технических средств управления очистным комбайном УКД-300. В.В.Синенко, В.Н.Сирченко, А.А. Акатов и др. // Уголь Украины. - 2006. - №9. - С. 29-31.

Дата поступления статьи в редакцию: 25.04.07