

УДК 622.232

**Н.И. Стадник** (д-р техн. наук)  
Донецкий национальный технический университет

## УПРАВЛЕНИЕ МЕХАТРОННЫМИ ГОРНЫМИ МАШИНАМИ

*Обоснованы новые подходы в решении вопроса построения систем управления мехатронными горными машинами.*

**Ключевые слова:** управление, мехатронные объекты, декомпозиция функциональных требований.

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

В Украине разработано горно-шахтное оборудование нового поколения, отвечающее современным требованиям [1, 2, 3]. Высокий уровень технических параметров, значительное расширение функциональных возможностей машин, требования к повышению безопасности их эксплуатации объективно привели к значительному повышению в их составе удельного веса информационных компонент и устройств силовой электроники.

**Постановка задачи.** Вместе с этим оснащение горных машин многофункциональными системами автоматизированного управления нового поколения с высоким уровнем диагностики, с целью повышения эффективности использования машин, надежности эксплуатации, снижения трудоемкости обслуживания и повышения безопасности работы стало важной практической задачей.

**Изложение материала и результаты.** Новый уровень требований привел к превращению горных машин из электромеханических систем в мехатронные, характеризующиеся тем, что машины органически содержат «интеллектуальную» составляющую. Последнее обстоятельство играет весьма существенную роль при формировании функционального состава требований систем автоматизации.

Задача разработки системы управления заключается в синтезе функциональной структуры и на ее базе - аппаратной и программной структуры с учетом наличия «интеллекта» в составе мехатронных модулей. Комплекс технических средств управления, как сложная система, должен проектироваться, используя системный подход, сущность которого состоит в комплексном рассмотрении всех частей системы и объекта управления (мехатронного модуля). На рис.1 представлена структурная схема мехатронного модуля - комбайна

(М), включающего систему управления (С). Модемы (Мод 1) и (Мод 2) обеспечивают обмен информации между информационной компонентой мехатронного модуля ( $I_M$ ) и внешней системой управления ( $I_C$ ), а также гальваническую развязку.

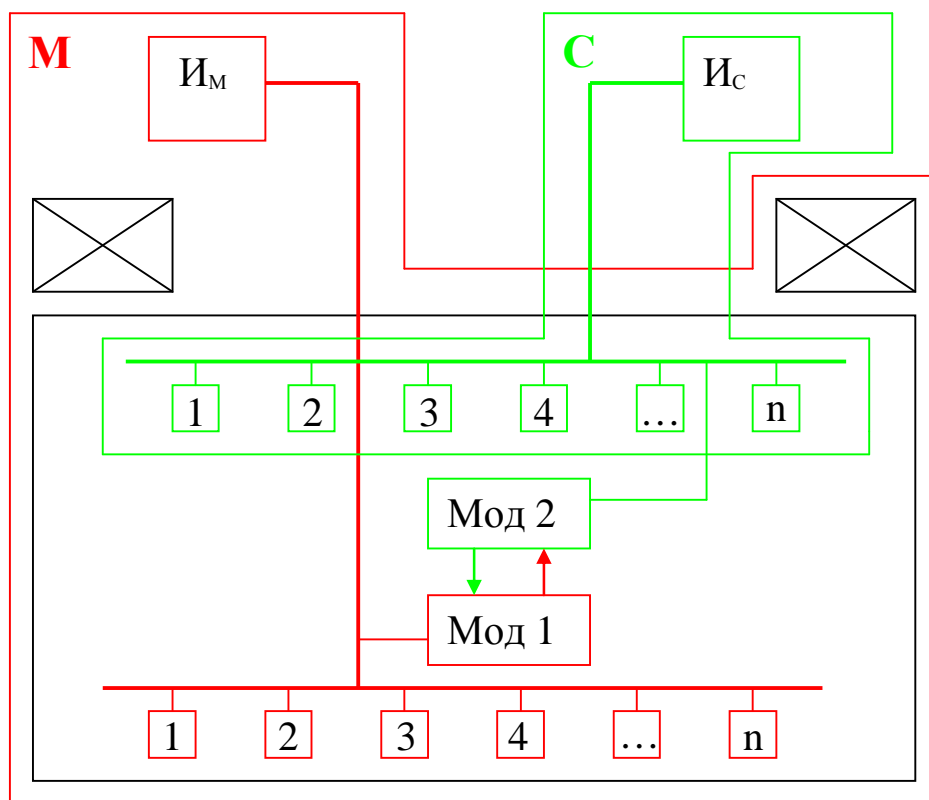


Рис. 1. Структурная схема мехатронного модуля:  
1, 2, 3... n – периферийные устройства

Предлагаемая последовательность решения задачи:

- выполняется декомпозиция множества полного состава функциональных требований на подмножества по функциональной ориентации (управления, контроля, блокировок и т.п.) и отнесение их к системе управления или к мехатронному модулю;
- формируется набор функциональных операторов, необходимых для синтеза структуры системы;
- формируются функциональные модули системы, реализующие конечный набор функций определенного уровня;
- формируются конструктивные модули системы.

Полный состав функциональных требований, определяемых "Правилами безопасности", нормативно-технической документацией, требованиями со стороны эксплуатации, предложениями разработчиков, представляет собой множество  $T$ , которое необходимо распределить между мехатронным модулем и системой управления:

$$T = \{T^M, T^C\}.$$

Процедура декомпозиції множини вимог на підмножини  $T^M$  і  $T^C$  є найбільш відповідальною і трудомістким етапом в процесі проектування, т.к. вона визначає структуру системи управління, а, відповідно, її надійнісні, вартісні, експлуатаційні, технологічні і др. властивості. Найбільш цілеспрямованою представляється структура, при якій інформаційна складова мехатронного модуля ( $I_M$ ) виконує повний набір функціональних вимог і через власний інтерфейс пов'язана з периферійними пристроями, входять в склад системи управління ( $I_C$ ). Однак реалізувати на практиці такий підхід зазвичай неможливо з-за обмежень по габаритам, встрайованих в мехатронні об'єкти елементів систем управління, недостатньої іскробезпечної потужності існуючих джерел живлення при порівняно великій потужності, споживаної відомими мікроконтролерами, обмеженою швидкістю передачі інформації по існуючим лініям зв'язу і т.п. В зв'язі з тим, що в даний час формальні способи такої декомпозиції знаходяться в стадії розробки, ця задача вирішується евристичним методом з присущими йому достоїнствами і недоліками.

Ураховуючи сказане, викладимо суть підходу. Всі елементи множини вимог  $T^M$  розділимо на підмножини по функціональній орієнтації. Повний функціональний вектор мехатронного модуля:

$$T^M = \{t_y^M, t_k^M, t_b^M, t_c^M, t_i^M, \dots\},$$

де  $t_y^M, t_k^M, t_b^M, t_c^M, t_i^M \dots$  - підмножини функцій відповідно: управління, контролю, блокування, сигналізації, інформації і др.

Кожне підмножество складається з одиничних функціональних операторів  $\tau$ :

$$t_y^M = \{ \tau_{y1}^M, \dots, \tau_{yz}^M \}$$

$$t_k^M = \{ \tau_{k1}^M, \dots, \tau_{ky}^M \}$$

$$t_i^M = \{ \tau_{i1}^M, \dots, \tau_{iu}^M \}$$

...

Повний функціональний вектор для системи управління:

$$T^C = \{t_y^C, t_k^C, t_b^C, t_c^C, t_i^C, \dots\}$$

і підмножини функціональних операторів:

$$t_y^c = \{ \tau_{y1}^c, \dots, \tau_{yz}^c \}$$

$$t_k^c = \{ \tau_{k1}^c, \dots, \tau_{ky}^c \}$$

$$t_{ii}^c = \{ \tau_{ii1}^c, \dots, \tau_{iiu}^c \}$$

...

В табл. 1 представлена таблица соответствия (смежности) множеств функциональных требований объекта управления и системы управления. Функциональные операторы, составляющие множество требований, характеризуются наличием или отсутствием необходимости реализации в объекте или системе управления. Если  $i$ -е требование подлежит реализации, то оператор  $\tau=1$ , в противном случае  $\tau=0$ . Множество единичных операторов представляет собой функциональный вектор.

Таблица 1 - Таблица смежности

| Множество функциональных операторов   | Реализация функциональных операторов |                        |
|---|--------------------------------------|------------------------|
|   | Мехатронный объект (М)               | Система управления (С) |
| По управлению:<br>$\tau_{y1}^M \dots \tau_{yz}^M$<br>$\tau_{y1}^C \dots \tau_{yz'}^C$     | 1<br>0                               | 0<br>1                 |
| По контролю:<br>$\tau_{k1}^M \dots \tau_{ky}^M$<br>$\tau_{k1}^C \dots \tau_{ky'}^C$       | 1<br>0                               | 0<br>1                 |
| По блокировкам:<br>$\tau_{b1}^M \dots \tau_{bx}^M$<br>$\tau_{b1}^C \dots \tau_{bx'}^C$    | 1<br>0                               | 0<br>1                 |
| По сигнализации:<br>$\tau_{c1}^M \dots \tau_{cl}^M$<br>$\tau_{c1}^C \dots \tau_{cl'}^C$   | 0<br>0                               | 1<br>1                 |
| По информации:<br>$\tau_{ii1}^M \dots \tau_{iiu}^M$<br>$\tau_{ii1}^C \dots \tau_{iiu'}^C$ | 0<br>0                               | 1<br>1                 |
| и т.д. по всем функциональным требованиям.  |                                      |                        |

На основании табл. 1 запишем матрицу генерального функционального вектора для совокупности: мехатронный модуль - система управления (M+C):

$$T = \begin{vmatrix} \tau_{y1}^M \dots \tau_{yz}^M & \tau_{y1}^C \dots \tau_{yz}^C \\ \tau_{k1}^M \dots \tau_{ky}^M & \tau_{k1}^C \dots \tau_{ky}^C \\ \tau_{b1}^M \dots \tau_{bx}^M & \tau_{b1}^C \dots \tau_{bx}^C \\ \tau_{c1}^M \dots \tau_{cl}^M & \tau_{c1}^C \dots \tau_{cl}^C \\ \tau_{и1}^M \dots \tau_{иu}^M & \tau_{и1}^C \dots \tau_{иu}^C \\ \dots & \dots \end{vmatrix} R|M + C| \quad (1)$$

Используя матрицу (1), запишем выражения полного вектора функциональных требований  $T^M$  для мехатронного объекта (M) и для  $T^C$  системы управления (C).

$$T^M = \begin{vmatrix} \tau_{y1}^M \dots \tau_{yz}^M \\ \tau_{k1}^M \dots \tau_{ky}^M \\ \tau_{b1}^M \dots \tau_{bx}^M \\ \tau_{c1}^M \dots \tau_{cl}^M \\ \tau_{и1}^M \dots \tau_{иu}^M \\ \dots \end{vmatrix} R|M| \quad (2)$$

$$T^C = \begin{vmatrix} \tau_{y1}^C \dots \tau_{yz}^C \\ \tau_{k1}^C \dots \tau_{ky}^C \\ \tau_{b1}^C \dots \tau_{bx}^C \\ \tau_{c1}^C \dots \tau_{cl}^C \\ \tau_{и1}^C \dots \tau_{иu}^C \\ \dots \end{vmatrix} R|C| \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) представляют собой функциональные модули (ФМ) для интеллектуальной компоненты M и C, т.е. это множества функциональных требований, подлежащих реализации в составе мехатронного объекта ( $T^M$ ) и системы управления ( $T^C$ ).

Следующий этап проектирования состоит в определении состава конструктивных модулей (КМ) системы, каждый из которых реализует конечный набор функций определенного уровня и представляет собой функционально законченный элемент системы с отдельной конструктивной оболочкой. Основой для построения КМ являются

один или несколько функциональных векторов, входящие в состав ФМ.

Формирование КМ осуществляется на основе агрегативно-декомпозиционного подхода, причем на начальных стадиях проектирования важно определить стратегию разработки конструктивов субблоков и оболочек, элементную базу, виды взрывозащиты и т.п.

Технической реализацией функционального вектора является субблок, характеризующийся площадью печатной платы  $S_{сб}$  и объемом  $V_{сб}$ , которые определяются через удельные показатели, устанавливаемые статистическими исследованиями: площадь печатной платы  $S_{\tau}$  и объем оболочки  $V_{\tau}$ , приходящиеся на один функциональный оператор ( $\tau$ ). Эти величины будут различными для устройств, основанных на аналоговом и цифровом способе обработки информации (для устройств на микропроцессорной и жесткой логике).

Возможности размещения технических средств реализации функционального вектора на выбранной печатной плате оцениваются путем сравнения  $S_{сб}$  и  $S_{ст}$  (площадь печатной платы, принятая из стандартов), т.е. должно выполняться условие:  $S_{сб} \leq S_{ст}$ .

При формировании КМ в оболочках необходимо предусматривать специальные объемы под элементы, определяющие взрывозащиту (взрывозащищенная оболочка или искробезопасное исполнение) -  $V_3$ . Объем модуля в значительной степени определяется устройствами сопряжения, в т.ч. гальванической развязки входных сигналов, которые в силу ряда специфических требований (работа в условиях больших утечек, искробезопасность исполнения, высокий уровень помех, невозможность использования многопроводных линий связи и т.п.) обладают заметными габаритами -  $V_{ус}$ .

Агрегатирование должно учитывать также и условия искробезопасности источников питания. На основе статистических данных необходимо определить уровень искробезопасной мощности  $Q_{\tau}$ , требуемой для реализации одного функционального оператора.

В настоящее время известны технически достижимые величины искробезопасной мощности:  $Q_{п} \leq 60$  Вт.

При выполнении условия:

$$Q \leq Q_{п} \quad (4)$$

ФМ совпадает с КМ и не подлежит разрыву. В противном случае необходимо переходить с вида защиты "искробезопасная цепь" на "взрывонепроницаемая оболочка". Последнее исполнение проигрывает по массе и габаритам, но применимо в таких случаях. Возможен

вариант и комбинированного исполнения, при котором часть функциональных векторов реализуется в «искробезопасном» конструктивном исполнении и часть – во «взрывозащищенном».

Поиск оптимального варианта агрегатирования производится на основании разработанного алгоритма при использовании методов комбинаторики. Для решения задачи поиска оптимального построения всей системы комплекса технических средств алгоритм предусматривает рассмотрение всех вариантов построения структур и учитываются все ФМ, принадлежащие той или иной структуре. В таком случае будут учтены связи не только внутри ФМ, но и внутри структуры.

При декомпозиции ФМ необходимо учитывать и пространственное размещение модулей относительно объекта автоматизации. Это условие представляется весьма важным, например, для конвейеров и конвейерных линий, имеющих значительную пространственную распределенность.

Важным вопросом, возникающим при разработке КМ, является выбор элементной базы. В настоящее время, как известно, может быть применена микропроцессорная элементная база и жесткая логика. Контроллер имеет неизменную структуру и аппаратную реализацию при переменном программном обеспечении. В то же время при решении этих задач на жесткой логике переменной будет аппаратная часть. С учетом этого, на стадии разработки алгоритмов реализации ФМ с учетом затратных критериев, требуемого быстродействия, искробезопасного исполнения и т.п., необходимо выбрать элементную базу.

Необходимо определить предельный объем информации, который можно обработать на известных контроллерах. При обработке информации различными способами затраты будут различными. Сравнение вариантов необходимо производить на стадии, предшествующей разработке рабочей документации, например, на стадии разработки алгоритма.

Важной задачей, стоящей перед разработчиком, является обеспечение необходимой надежности. Это достигается за счет выбора оптимальных режимов загрузки элементов, обеспечения гальванической развязки, резервирования отдельных элементов и узлов, а также применения специальных алгоритмов и программных решений. При этом отказ какой-либо подсистемы или совокупности подсистем не всегда приводит к отказу всей системы, а иногда только снижает эффективность ее функционирования. Данное свойство большой систе-

мы обусловлено структурной и информационной избыточностью (резервирование элементов и избытком обрабатываемых кодов).

В связи с этим при определении функциональной ориентации КМ необходимо выявить функции, подлежащие резервированию. Резервировать целесообразно функции, определяющие безопасность и живучесть, т.е. функции безопасности и жизненно важные по управлению должны быть сохранены при работе объекта автоматизации, а, например, сервисные функции на некоторое время могут быть потеряны.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Предложенный подход к проектированию средств автоматизации, позволил создать ряд систем, в т.ч. аппаратуру автоматизации конвейерного транспорта, реализующую гибкую структуру, в максимальной степени учитывающую многообразие объектов управления. В дальнейшем необходимо продолжить работу в направлении формализации изложенного метода.

#### Список литературы

1. Новое горно-шахтное оборудование для технического переоснащения угольных шахт / В.В.Косарев, Н.И.Стадник, И.В.Косарев и др. // Уголь Украины. – 2007. – № 2.
2. Стадник Н.И. Очистные комбайны УКД200 и УКД300 для эффективной отработки тонких пластов / Н.И.Стадник, Г.Г.Бойко, А.С.Рябченко // Уголь Украины. – 2003. – № 9.
3. Костюков В.М. Высокопроизводительные очистные комбайны нового поколения КДК500 и КДК700 для пластов мощностью 1,35-4,3 м / В.М.Костюков, И.Н.Сошенко // Уголь Украины. – 2003. – № 9.
4. Скребок конвейеры нового технического уровня / Г.В.Андреев, И.В.Косарев, И.Т.Лелека, В.И.Довженко // Уголь Украины. – 2003. – № 9.
5. Стадник Н.И. Управление двухскоростными скребковыми конвейерами / Н.И.Стадник, В.В.Ткачев, А.В.Мезников // Науково-технічний збірник «Гірнична електротехніка та автоматика». – 2005. – Вип. № 75. – С.62-68.

*Стаття надійшла до редакції 16.10.2012*

***М.І.Стаднік. Донецький національний технічний університет***

**Управління мехатронними гірничими машинами**

*Обґрунтовані нові підходи у вирішенні питання побудови систем управління мехатронними гірничими машинами.*

**Ключові слова:** управління, мехатронні об'єкти, декомпозиція функціональних вимог.

***N. Stadnik. Donetsk National Technical University***

**Mechatronic Mining Machines Control.**

*We consider some new approaches to solving the problem of developing the systems of mechatronic mining machines control.*

**Keywords:** control, mechatronic objects.