



АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 62-503.57:63-9:631.145

МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В АПК

*Стадник Николай Иванович д.т.н., профессор
Винницкий национальный аграрный университет
Stadnik N.*

Vinnitsia National Agrarian University

Аннотация: рассмотрены вопросы использования мехатронного подхода при проектировании машин. Предложены условия мехатронности. Показано, что параллельное проектирование является одним из ключевых особенностей мехатроники.

Ключевые слова: мехатронные объекты, условия мехатронности, параллельное проектирование.

Выполнение все возрастающих требований к параметрам машин АПК, как мобильных технологических объектов (МТО), так и стационарных технологических объектов (СТО), невозможно обеспечить без их значительного усложнения по сравнению с машинами предыдущих поколений, в первую очередь в части оснащения их новыми видами электропривода, системами оптимизации режимов работы, автоматического управления и технической диагностики, а также адаптации к условиям окружающей среды. Такое внедрение интенсивных технологических процессов и желание получить более высокое качество продукции уже ограничивается физиологическими возможностями человека – оператора.

Машины нового технического уровня отличаются высоким уровнем «интеллектуальности», перестали быть системой «редуктор-двигатель» и состоят из, практически, в равных соотношениях и тесным образом взаимосвязанных, механических, гидравлических, электронных, электротехнических и информационных компонент. Проектирование, изготовление и эксплуатация таких машин уже не может вестись по старым принципам.

В настоящее время во многих отраслях науки и техники находит применение мехатронный подход для обеспечения всех этапов жизненного цикла различных машин. В [1] 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.

Однако, наличие, и даже интеграция различной степени механических, электронных и информационных компонентов в одном устройстве может являться только необходимым, но не достаточным условием мехатронности объекта. В [2] авторами предложены следующие формулировки:

Синергетическая интеграция – интеграция механических (М-компонент), электротехнических и гидравлических (обобщенно силовые С-компоненты), электронных (Э-компонент) и информационных (И-компонент) для достижения единой цели, при котором вновь образованная система приобретает качественно новые свойства, недостижимые отдельными компонентами, и адаптивно взаимодействующая с окружающей средой;

Необходимое условие мехатронности – объединение М, С, Э и И-компонент в систему, однозначно взаимодействующую с окружающей средой (мехатронизированные объекты);

Достаточное условие мехатронности – интеграция М, С, Э и И-компонент в систему, адаптивно взаимодействующую с окружающей средой, то есть синергетическая интеграция.

Как видно из сказанного выше, ключевым понятием в определении как собственно мехатроники, так и необходимого и достаточного условия мехатронности объекта является синергетическое объединение.

Появление мехатроники в области классической механики, как и синергетики в целом, обусловлено появлением класса систем (мехатронных объектов), описание и проектирование которых при старых подходах невозможно. В первую очередь это связано с все более возрастающими требованиями к качеству функционирования технических систем (устройств), что подразумевает все более глубокое их взаимодействие с внешней средой и человеком. Кроме того, современные



технические системы являются многокомпонентными, содержат подсистемы (компоненты) различной физической природы, в том числе информационные компоненты, что обеспечивает возможность самостоятельной обработки информации, авторегулирования, то есть самоорганизации.

При достижении определенного уровня функционально-параметрических характеристик, дальнейшее улучшение функционирования возможно только за счет изменения устройства, что, как правило, сопровождается его усложнением и увеличением количества функций, так как улучшение функционирования подразумевает учет большего количества признаков окружающей среды. Для реализации новых функций необходимо использовать дополнительные модули или узлы. Устройство усложняется количественно.

При определенном пороге функциональной сложности устройства невозможно учесть все его возможные состояния при взаимодействии с окружающей средой, что приводит к необходимости введения различных авторегуляторов, способных полностью или частично обеспечить функционирование устройства. То есть часть или вся информация об окружающей среде и состоянии устройства ранее обрабатываемая человеком-оператором, теперь должна обрабатываться устройством. В случае простых авторегуляторов, с малым числом обратных связей и достаточно большим временем реагирования, функции регулирования и управления еще могут выполняться оператором. В этом случае реакция устройства может быть спрогнозирована, работа устройства понятна разработчику. Поведение такой системы детерминировано.

Дальнейшее повышение качества функционирования приводит к усложнению регуляторов, увеличению числа обратных связей, сокращению времени реакции устройства на изменения внешней среды, и на каком-то этапе оператор теряет возможность управлять устройством в реальном времени. Важным является то, что часть или вся информация об окружающей среде и состоянии системы ранее обрабатываемая человеком-оператором, теперь должна обрабатываться системой, и таким образом, система приобретает признаки адаптивного поведения, то есть самоорганизации в той или иной степени.

Допустим, что каждой i -ой компоненте соответствует множество функционально-параметрических характеристик Φ . Система, состоящая из n компонент, функционирует в среде, имеющей множество характеристик Φ_c . Тогда условие работоспособности системы в данной среде можно записать как

$$\sum_i^n \Phi \geq \Phi_c \quad (1)$$

При проектировании известно определенное требуемое множество характеристик Φ_m . Если о среде известно все, то

$$\Phi_m = \Phi_c \quad (2)$$

Для каждой из компонент можно задать определенные характеристики и обеспечить работоспособность системы. В этом случае система взаимодействует со средой однозначно, то есть изменению характеристик среды соответствует изменение характеристик компонент, определяемых известным множеством Φ_m .

В этом случае каждое проявление окружающей среды (событие) должно вызывать однозначный отклик системы, то есть в этом случае система реагирует линейно. Кроме того, поведение системы определяется текущим состоянием окружающей среды, и, следовательно, может быть спрогнозировано на любой срок (в случае, конечно, неизменности окружающей среды). Такая система детерминирована, при ее проектировании мы можем знать о ней все за весь период жизни системы (времени эксплуатации устройства). Кроме того, могут быть определены и необходимые функции и параметры каждой из компонент по отдельности, что делает возможным их раздельное проектирование.

Применительно к техническим системам речь идет о традиционном проектировании. Такой подход закреплен в различных нормативных документах и он является основой существующей концепции машиностроения не только в части проектирования машин, но и в части организации производства, системы планово-предупредительных ремонтов, подготовки инженеров-конструкторов, электромехаников и др. специалистов.

Эта концепция исходит из того, что система (применительно к машиностроению - машина) рассматривается как детерминированная, то есть на любом этапе жизненного цикла машины начиная от технического задания и заканчивая утилизацией о состоянии машины можно и нужно знать все.



Функции системы рассматриваются как суммы функций всех подсистем. В [4] говорится: «В процессе проектирования сложной системы формируются определенные представления о системе, отражающие ее существенные свойства с той или иной степенью подробности. В этих представлениях можно выделить составные части - уровни проектирования».

Проектирование в этом случае (применительно к опыту постановки на производство изделий машиностроения) может вестись по традиционной схеме (метод проектирования вертикальный, сверху-вниз):

- 1) Определение целей системы;
- 2) Определение функций системы, разработка технического задания (ТЗ);
- 3) Выделение уровней системы (компонент), разделение целей и функций системы на цели и функции компонент, разработка ТЗ на компоненты;
- 4) Проектирование компонент;
- 5) Физическое моделирование компонент, предварительные испытания;
- 6) Увязка компонент в систему, выявление конфликтующих компонент;
- 7) Физическое моделирование системы, приемочные испытания;
- 8) Закрепление действительно реализуемых функций, определение необходимости доработки, разработка технических условий (ТУ).
- 9) Корректировка конструкторской документации на компоненты;
- 10) Физическое моделирование скорректированной системы, испытания установочной партии.

Выделение уровней системы подразумевает анализ ее структуры, но, как правило, этот этап не формализован, при распределении функций используются эвристические правила, определяемые опытом специалистов, и зачастую по принципу не что нужно сделать, а что можно сделать. Это неизбежно приводит к функциональной избыточности одних компонент, их доминированию, и проектированию других по остаточному принципу.

При раздельном проектировании компонент с жестко определенными функциями, как правило, не проводится имитационное (в том числе математическое) моделирование, так как распределение функций по принципу «что могу» создает иллюзию ясности целей и задач отдельных компонент, сведение их проектирования к традиционным «отработанным» схемам.

Раздельное проектирование также приводит к необходимости этапа увязки компонент в систему. На этом этапе выявляются конфликты между компонентами, вводятся ограничения на их совместное функционирование для достижения целей системы в виде дополнительных устройств (муфты, проставки, согласующие устройства, преобразователи сигналов и т.п.), либо в виде дополнительных функций (защита от работы в определенных режимах).

Кроме этого, наши знания об окружающей среде не всегда достаточны даже для проектирования относительно простых технических систем, не говоря о, например, зерноуборочном комбайне.

Если о среде известно не все, то

$$\Phi_m < \Phi_c = \Delta\Phi + \Phi_m \quad (3)$$

Как видно, для обеспечения работоспособности системы ее характеристики должны изменяться на величину $\Delta\Phi$. В этом случае система должна взаимодействовать со средой адаптивно, иметь авторегуляторы, а характеристики системы должны превышать множество Φ_m , следовательно, система должна проявлять новые свойства, не определяемые свойствами какой-то одной компоненты. Невозможно определить функционально-параметрические характеристики компонент системы по отдельности, а только системы в совокупности. То есть проектирование компонент может вестись только совместно как единого устройства, распределение функций в котором не всегда очевидно, функции системы в целом не являются суммой функций компонент. Именно в этом случае происходит синергетическая интеграция компонент, выполняется достаточное условие мехатронности.

При разработке мехатронных объектов целесообразно только параллельное проектирование компонент. Данный термин закреплен в [1], но здесь представляется интересным рассмотреть первоначальный английский термин – «concurrent engineering methods». Известно: «concurrent - конкурент; неотъемлемая часть; фактор; совпадающий; действующий совместно или одновременно». Как видно, английский термин более глубоко отражает сущность такого метода проектирования. Тем не менее, в дальнейшем будем использовать устоявшийся термин – параллельное проектирование.



В работах [1], [2] подчеркивается, что параллельное проектирование является одним из ключевых особенностей мехатроники. Последовательность проектирования в этом случае следующая:

- 1) Определение целей системы;
- 2) Определение функций системы, разработка ее функциональной модели (F-модель);
- 3) Анализ F-модели, функционально-структурная интеграция (ФС-интеграция);
- 4) Определение структуры системы, разработка ее структурной модели (S-модель);
- 5) Анализ (S-модели), структурно-конструктивная интеграция (СК-интеграция);
- 6) Математическое моделирование системы, выявление конфликтующих компонент;
- 7) Разработка технического задания (ТЗ);
- 8) Проектирование системы;
- 9) Физическое моделирование компонент, проверка адекватности математической модели, предварительные испытания;
- 10) Физическое моделирование системы, приемочные испытания;
- 11) Определение необходимости доработки, разработка технических условий (ТУ).
- 12) Корректировка документации.

Как видно, до этапа разработки ТЗ предусматривается функциональный и структурный анализ системы. При этом цель ФС-интеграции заключается в уменьшении количества структурных элементов, за счет исключения лишних преобразований, согласующих устройств и т.п. Целью СК-интеграции является конструктивное объединение, то есть минимизация конструкции, реализующей заданную структуру. Например, совмещение в одном конструктиве электродвигателя и частотного преобразователя, а не отдельно как делается в подавляющем числе случаев. Анализ S-модели невозможен без математического моделирования. Методы устранения выявленных конфликтов, предложенные в [2], вытекают из анализа конкретной S-модели, но их можно предложить для всех мехатронных объектов:

1. Изменить функционально-параметрические характеристики системы в целом, ограничив область взаимодействия системы с окружающей средой
2. Изменить функционально-параметрические характеристики конфликтующих компонент.
3. Изменить S-модель системы, введя дополнительные модули и (или) функциональные связи для ограничения или устранения конфликта, введя дополнительные авторегуляторы, защиты, согласующие устройства; при этом дополнительные модули могут быть как той же физической природы, что и конфликтующие компоненты, так и другой.
4. Изменить функционально-параметрические характеристики других, не конфликтующих компонент, то есть решить конфликт в области компонент другой физической природы.

Первый способ, хотя и является малопривлекательным, может иметь достаточно широкую область применения. На практике этот способ часто применяется в виде проектирования не одного устройства для всех заданных параметров окружающей среды, а ряда устройств, что позволяет для каждого из типоразмеров устройства сузить область конфликта или полностью разрешить его.

Второй способ представляется наиболее продуктивным, так как при этом проектировщик решает суть проблемы. Но этот способ далеко не всегда применим из-за накладываемых функционально-параметрическими характеристиками ограничений на область решений конфликта.

Третий способ наиболее распространен и достаточно продуктивен, но, тем не менее, является компромиссом, так как вводит ограничения на взаимодействие с окружающей средой, снижает качество функционирования, но не «декларативно», как при первом способе (запрет на функционирование системы при определенных параметрах окружающей среды), а «адаптивно» (система сама определяет допустимую область своего функционирования).

Четвертый способ применим, если решение конфликта в области компонент другой физической природы по каким-либо причинам эффективнее. Это может быть вызвано существующими объективными ограничениями, определяемыми функционально-параметрическими характеристиками, или субъективными причинами, например, возможностями проектировщика, временем или стоимостью разработки.

По данным [1], за последние 30 лет объем функций производственных машин, обеспечиваемых механическими компонентами, снизился с 90 до 40%, обеспечиваемых электронными компонентами возрос с 10 до 30%, информационными компонентами – с 0 до 30%.

Проектирование сложной мехатронной системы, состоящей из большого числа мехатронных агрегатов, имеющих в свою очередь также сложную структуру узлов, модулей, сложным образом



взаимодействующих, неизбежно сопровождается возникновением противоречий между ними. Разрешение возникших противоречий достигается при параллельном проектировании, что подразумевает не столько в своевременное выделение необходимых объемов в общем конструктиве узла, сколько в формировании функционально-параметрических характеристик отдельных компонент с помощью различных видов моделирования, на основе анализа F-модели и S-модели, выявления «конфликтующих» параметров в местах объединения (стыка) компонент и выработки способов их разрешения. После выявления «конфликтующих» параметров и стыков появляется возможность гармонизировать, «примирить», согласовать, подчинить их единой цели, выполнить синергетическое объединение различных компонент на начальных стадиях проектирования, т. е. решить главную задачу разработчика мехатронных систем.

Проектирование современных машин, являющихся мехатронными объектами требует подготовки определенным образом обученных специалистов. Построение и анализ F-модели и S-модели невозможно без знания основ синтеза структуры систем, теории управления.

Список литературы

1. 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.
2. Стадник Н.И. Мехатроника в угольном машиностроении / Н.И. Стадник, А.В. Сергеев, В.П. Кондрахин // Горное оборудование и электротехника, выпуск 4 – М.: 2007. – С.20-29.
3. Стадник М.І. Привод скребкового конвеєра як мехатронний модуль / М.І. Стадник // Всеукраїнський науково - технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Вінниця, 2016. - №1 (91) – С. 60 -64.
4. Автоматизация проектирования систем и средств управления: Учебное пособие / А.Ф. Иванько, М.А. Иванько, В.Г. Сидоренко, Г.Б.Фалк. – М.: Изд-во МГУП, 2001.

References

1. Yegorov A.D. Konstruirovaniye mekhatronnykh moduley: Uchebnik . Izdaniye vtoroye , ispravlennoye i dopolnennoye / A.D. Yegorov , YU. Podurayev . - M .: Izd. « STANKIN » , 2005.-368 s .: il.
2. Stadnik N.I. Mekhatronika v ugol'no mashinostroyenii / N.I. Stadnik, A.V. Sergeyevev , V. P. Kondrakhin // Gornoye oborudovaniye i elektrotekhnika , vypusk 4 - M .: 2007. - S.20-29 .
3. Stadnik M.I. Pryvid skrebkovoho konveyera yak mekhatronnykh modul / M.I. Stadnik // Vseukrayinsky naukovo - tekhnichnyy zhurnal « Tekhnika , enerhetyka , transport APK » Vinnytsya , 2016. - №1 (91) - S. 60 -64 .
4. Avtomatizatsiya proyektirovaniya sistem i sredstv upravleniya: Uchebnoye posobiye / A.F. Ivan'ko , M.A. Ivan'ko , V. Sidorenko , G.B.Falk . - M .: Izd -vo MGUP , 2001 .

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В АПК

Анотація: розглянуті питання використання мехатронного підходу при проектуванні машин. Запропоновано умови Мехатронні. Показано, що паралельне проектування є одним з ключових особливостей мехатроніки.

Ключові слова: мехатронні об'єкти, умови Мехатронні, паралельне проектування.

MECHATRONIC ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN AGRARIAN AND INDUSTRIAL COMPLEX

Summary: the problems of the use of mechatronic approach to machine design. The conditions of mechatronic. It is shown that concurrent engineering is one of the key features of mechatronics.

Keywords: mechatronic objects mechatronic conditions, concurrent engineering.