

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Бессараб В.И., Федюн Р.В., Хорхордин А.В. (Украина, г. Донецк)

Современное промышленное предприятие является сложным объектом автоматизации, который характеризуется тесной взаимосвязью отдельных технологических процессов, большим количеством технических и технологических параметров, распределенностью в пространстве. Поэтому практически любой объект выступает многосвязным, многомерным, с распределенными параметрами. Для систем с распределенными параметрами характерна зависимость состояний, управлений и выходов от пространственных координат. Естественными моделями в этом случае являются уравнения с частными производными или трансцендентные передаточные функции.

Одним из важнейших подклассов рассматриваемого класса систем являются технологические процессы и объекты управления с чистым запаздыванием. Данные объекты представляют собой единую взаимосвязанную структуру, состоящую из отдельных технологических процессов, которые территориально распределены. В качестве примера таких объектов можно привести следующие технологические процессы угольной шахты: система водоотведения, система транспорта, система дегазации, система вентиляции и т.д. Таким образом, возникает проблема эффективного управления сложным многомерным территориально-распределенным объектом. Решение данной проблемы можно разделить на ряд задач:

- анализ особенностей объектов рассматриваемого класса – многомерных территориально-распределенных технологических процессов;
- определение наиболее оптимального количества уровней управления объектами данного класса;
- обоснование выбора комплекса технических средств для реализации предложенного алгоритма управления объектами данного класса;
- декомпозиция сосредоточенного алгоритма управления;
- анализ влияния параметров выбранного комплекса технических средств на характеристики системы управления.

Приведенные выше примеры объектов рассматриваемого класса имеют ряд одинаковых особенностей и характеристик, благодаря чему их можно отнести к объектам одного класса.

Современные подземные конвейерные линии на угольных шахтах характеризуются значительной протяженностью и использованием мощных многодвигательных конвейеров для перевозки грузов и людей, а также наличием нескольких маршрутов. Это сложные объекты автоматизации, как с позиции управления ими, так и обеспечения безопасности их эксплуатации. Объектом автоматизации выступает система конвейерного транспорта, которую можно условно разделить на три уровня. Нижним уровнем является конвейер. На большинстве шахт используют два типа конвейеров – ленточные и скребковые. Последние используются в добычных забоях и входят в состав механизированных комплексов. Участковый и магистральный транспорт осуществляется ленточными конвейерами [1,2]. Объектом регулирования САУ нижнего уровня выступает ленточный конвейер. На данном уровне решаются задачи контроля и управления отдельным конвейером. Второй уровень представляет собой неразветвленную конвейерную линию. Основная задача автоматизации данного уровня – обеспечение согласованной работы конвейеров линии в различных режимах. Характерными особенностями современных конвейерных линий, использующихся в угледобывающей отрасли, являются разветвленность транспортной сети, наличие бункеров, а также большая протяженность ленточных конвейеров, которые оборудованы мощными приводами. Третий уровень – верхний уровень, к которому можно отнести всю систему конвейерного транспорта, включающую разветвленные конвейерные линии, а также бункера. На данном уровне система автоматизации должна обеспечивать оптимальное управление системой конвейерного транспорта с целью обеспечения заданной пропускной способности технологического процесса транспортирования при минимальных затратах. Современная элементная база позволяет объединить функции первого и второго уровней в один. Таким образом, систему конвейерного транспорта угольной шахты можно условно разделить на два уровня – нижний (неразветвленная конвейерная линия) и верхний (система конвейерного транспорта шахты).

Система водоотведения современной угольной шахты также представляет собой сложный территориально-распределенный объект [1,2]. Всю систему водоотведения угольной шахты можно разделить на два уровня. На первом уровне решаются задачи контроля и управления отдельными водоотливными установками: участковыми, промежуточными, главными. На втором уровне обеспечивается взаимодействие и взаимосвязь между отдельными элементами системы водоотлива для получения максимальной эффективности при эксплуатации системы водоотведения угольной шахты.

Система вентиляции угольной шахты включает в свой состав вентиляторы главного и местного проветривания, вентиляционные и воздухоподающие выработки, комплекс вентиляционных дверей [1,2]. Как и в предыдущих случаях, систему вентиляции можно условно разделить на два уровня – нижний и верхний. Нижний уровень – отдельное оборудование (вентиляторы, вентиляционные двери). Верхний уровень – система вентиляции угольной шахты.

Система дегазации совместно с системой вентиляции призвана обеспечить безопасность ведения горных работ. В состав системы дегазации входит вакуум-насосная станция, трубопроводная система, вспомогательное оборудование. Данный технологический процесс относится к рассматриваемому классу территориально-распределенных объектов, так как дегазационные скважины расположены в горных выработках, а вакуум-насосная станция – на поверхности шахты.

Рассмотренные технологические процессы угольной шахты имеют ряд особенностей:

- наличие чистого запаздывания в объекте управления, что вызвано территориальной распределенностью элементов технологического процесса;

- элементы технологического процесса и системы управления рассредоточены на большой площади;

- многомерность и многосвязность объектов данного класса;

- существенное изменение характеристик объекта управления в процессе эксплуатации.

Каждый из рассмотренных выше технологических процессов условно разделен на два уровня. Поэтому система автоматического управления также должна быть многоуровневая. Многоуровневая структура системы управления обеспечивает ее надежность, оперативность, ремонтпригодность, эффективность функционирования. При этом обеспечивается оптимальный уровень децентрализации управления с минимальным количеством средств технологического контроля, управления и линий связи между ними. Построение систем автоматизации по уровням управления определяется целями (критериями) управления соответствующими технологическими объектами управления. Задачи, решаемые на каждом уровне технологического процесса, определяют требования к многоуровневой системе автоматизации. На верхнем уровне решается задача обеспечения оптимальной работы всего технологического процесса в целом. В результате система управления верхнего уровня выдает оптимальные значения технологических параметров, которые являются задающими воздействиями для систем управления нижних уровней. Исходя из специфики рассматриваемых объектов, наиболее целесообразной будет двухуровневая структура системы управления.

При построении систем управления распределенными объектами используются два подхода. Классический подход к автоматизации сложных распределенных объектов предусматривает подключение каждого датчика к центральному контроллеру отдельным (и довольно дорогим) высококачественным кабелем. Это же относится и к подключению исполнительных органов. Применение такого подхода к рассматриваемому классу объектов невозможно по ряду причин. Во-первых, большое количество линий связи. Во-вторых, большая протяженность линий связи. В-третьих, большие затраты на создание и обслуживание системы управления.

Альтернативой описанному подходу, являются системы автоматического управления, построенные с использованием промышленных шин - fieldbus. К наиболее известным и применяемым в мире открытым промышленным сетям относятся: CAN, LON, Profibus, Interbus-S, FIP, ControlNet, Foundation Fieldbus, DeviceNET, ASI, HART, MicroLAN, и некоторые другие [3]. Каждая из перечисленных систем имеет свои особенности, достоинства и предназначена для применения на определенном уровне предприятия.

Переход на fieldbus-технологии обеспечивает улучшение качества, снижение затрат и повышение эффективности конечной системы. Каждое устройство может выполнять функции управления, обслуживания и диагностики. Это существенно увеличивает эффективность системы в целом и снижает затраты по ее сопровождению. Таким образом, на современном этапе развития систем автоматизации при построении систем управления распределенными объектами и процессами необходимо ориентироваться на использование телекоммуникационных сетей класса fieldbus.

При построении многоуровневых систем автоматизации, особенно остро, стоят задачи организации информационного обмена между уровнями. В одном случае необходим обмен комплексными сообщениями на средних скоростях. В другом - быстрый обмен короткими сообщениями с использованием упрощенного протокола обмена (уровень датчиков и исполнительных механизмов). Для этих случаев наиболее подходит телекоммуникационная система Profibus [3]. В настоящее время под этим общим названием понимается совокупность трех отдельных протоколов: Profibus-FMS, Profibus-DP и Profibus-PA. Протокол Profibus-DP был спроектирован для организации быстрого канала связи с уровнем датчиков и исполнительных механизмов. Протокол Profibus-FMS предназначен для работы на так называемом цеховом (верхнем) уровне. FMS-протокол допускает гибридную архитектуру взаимодействия узлов. Протокол Profibus-PA - это расширение DP-протокола для организации обмена информацией во взрывоопасных средах.

В традиционном представлении многомерные системы управления рассматриваются в виде некоторого набора аппаратуры, которая создает инфраструктуру для реализации расчетного алгоритма управления. Рассматриваемые технологические объекты имеют множественные точки съема данных и точки физического воздействия (точки подключения датчиков и исполнительных механизмов к объекту управления) разнесены в пространстве на значительные расстояния. Алгоритм управления является сосредоточенным и реализуется на центральном управляющем устройстве. Систему управления получаем в виде структуры типа - центральный контроллер/дистанционные датчики и исполнительные механизмы (master/slave), широко распространенную в промышленных телекоммуникационных сетях. Обработка информации в такой системе происходит последовательно: управляющее устройство (master) последовательно опрашивает технологические датчики (slave), затем реализует алгоритм управления и последовательно выдает управляющие воздействия на исполнительные механизмы (slave). Последовательность обработки информации, связанная с шинной топологией специализированных сетей, приводит к возникновению задержек в каналах контроля и управления. Наличие таких задержек приводит к ухудшению качества управления, которое тем хуже, чем меньше скорость обмена данными в специализированной телекоммуникационной сети.

Другой подход предполагает использование распределенных алгоритмов управления. Распределение алгоритма управления между множеством отдельных процессоров фактически предполагает организацию распределенной вычислительной сети с конечным числом программируемых процессоров, реализующих общий алгоритм управления объектом заданной размерности и объединенных единой телекоммуникационной шиной.

В этом случае предлагается разбиение сосредоточенного алгоритма управления, реализующего оператор управления $G(z)$ на отдельные составляющие $G_i(z)$, которые можно реализовать на локальных контроллерах интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов.

Компоненты вектора управления вычисляются как свертка оператора управления $G(z)$ и вектора ошибки $e(z)$:

$$\bar{u}(z) = G(z) \cdot e(z),$$

или в виде эквивалентного ряда:

$$u_i(z) = \sum_{i=1}^m G_i(z) \cdot e_i(z) = G_i(z) \cdot e(z).$$

Каждая составляющая вектора управления $u_i(z)$ рассчитывается на соответствующем контроллере, который управляет данным интеллектуальным исполнительным механизмом. В результате получаем структуру системы, которая представлена на рис. 1.

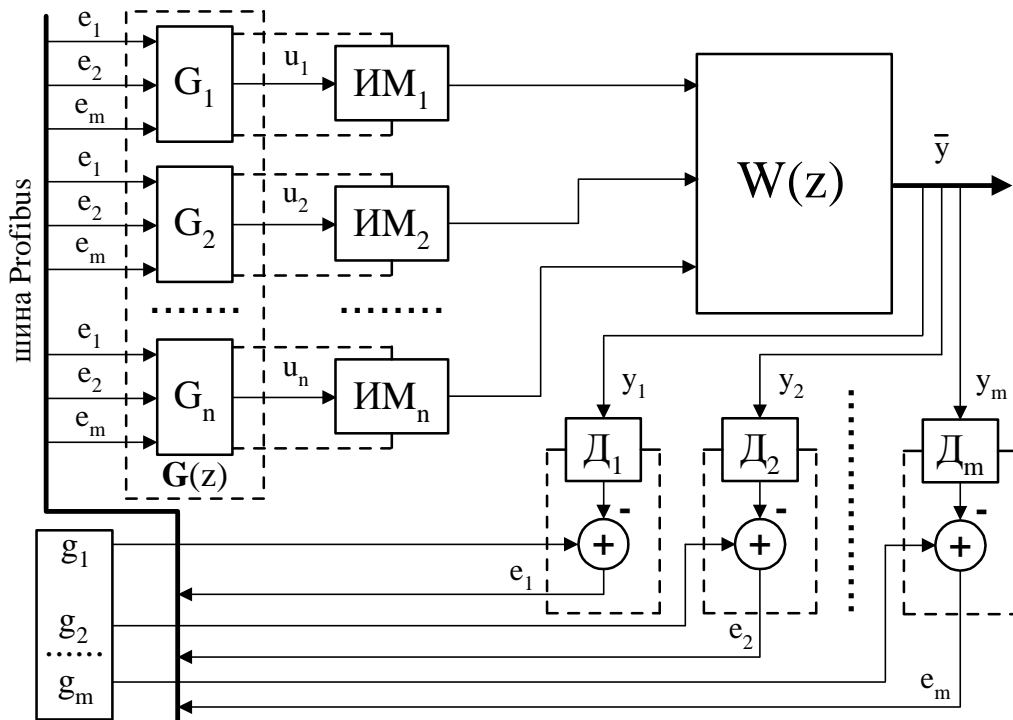


Рисунок 1. Система управления с распределенным алгоритмом на основе технологии Profibus.

В этом случае (рис.1) slave-устройство датчика (Д) дополнительно вычисляет компоненту вектора ошибки e_i по задающему воздействию g_i и текущему измерению y_i . Для передачи g_i нужно m виртуальных сетевых каналов, эквивалентных циклу измерения в классической сосредоточенной схеме. Узел датчика в предлагаемой схеме соединяется со slave-устройствами исполнительных механизмов для передачи компоненты e_i . При этом используется тип соединения "точка-многоточка", т.е. за один тайм-слот i -я компонента вектора ошибки передается на все slave-устройства исполнительных механизмов (ИМ).

Для оценки работоспособности и эффективности предложенной схемы реализации распределенных алгоритмов управления выполнено моделирование [4,5] взаимодействия элементов САУ территориально-распределенным объектом – системой водоотведения угольной шахты. Если m датчиков формируют вектор измерений $\bar{y}(1 \times m)$ и n исполнительных органов формируют вектор управления $\bar{u}(1 \times n)$, то очевидно, что для реализации такой системы с сосредоточенным классическим регулятором необходимо $n+m$ пар условных проводов, или при реализации алгоритма в системе на основе промышленной шины $n+m$ виртуальных каналов во временной последовательности каждого цикла управления. Т.е. за цикл управления системы на шине формируется минимум $n+m$ временных интервалов (тайм-слотов) во время которых осуществляется считывание значений датчиков и выдача управляющих значений (рис.2,а).

Для случая $\bar{g}(z) = const$, что достаточно часто встречается в реальных системах управления промышленными объектами, полный цикл информационного обмена за период дискретности при использовании предложенного распределенного алгоритма управления сводится к виду, представленному на рис.2,б.

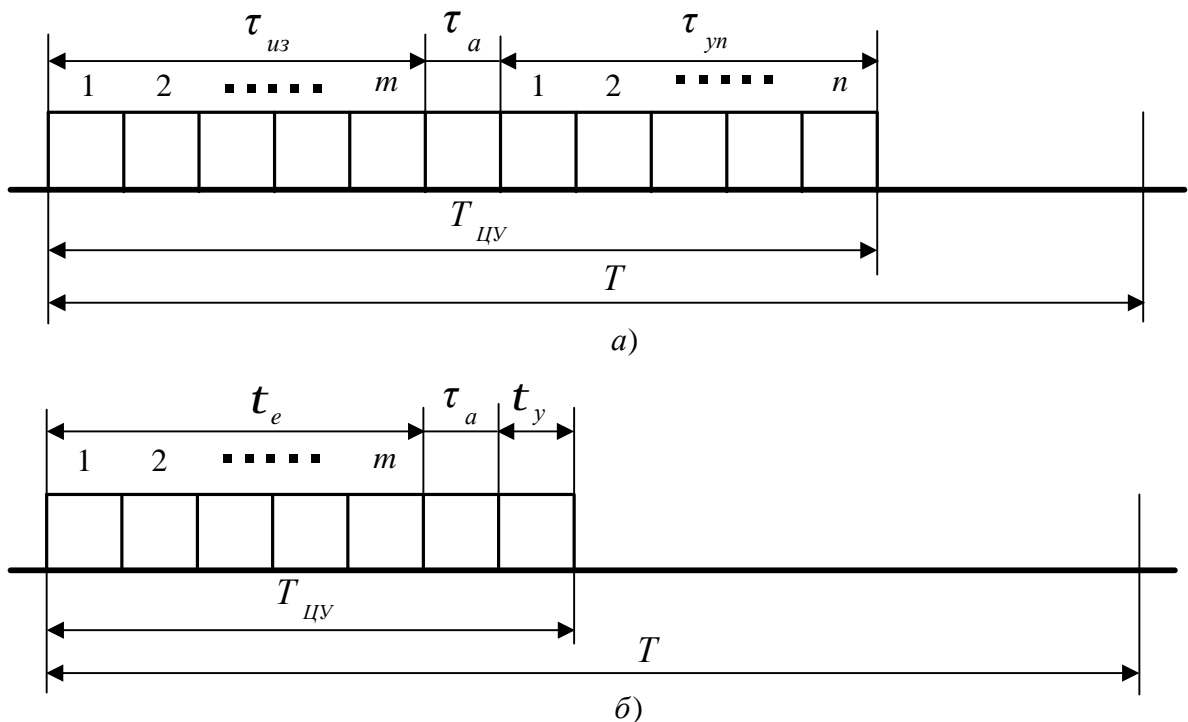


Рисунок 2. Временная диаграмма одного цикла управления при использовании шины Profibus (а) и при использовании распределенного алгоритма управления (б).

T - период дискретности цифровой САУ; $T_{ЦУ}$ - длительность цикла управления;

$t_{из}$ - длительность цикла измерения (опрос датчиков); t_a - расчет управляющих воздействий;

$t_{ун}$ - выдача управляющих воздействий на исполнительные органы.

Запаздывание в системе управления может располагаться на входе модели или на ее выходе. Запаздывание по входу описывается следующими уравнениями в пространстве состояний:

$$\bar{x}(kT + 1) = \Phi \bar{x}(kT) + \mathbf{H} \bar{u}(kT - d_1)$$

$$\bar{y}(k) = \mathbf{C} \bar{x}(k),$$

где d_1 - величина запаздывания на входе объекта управления.

Запаздывание по выходу:

$$\bar{x}(kT + 1) = \Phi \bar{x}(kT) + \mathbf{H} \bar{u}(kT)$$

$$\bar{y}(k) = \mathbf{C} \bar{x}(k - d_2),$$

где d_2 - величина запаздывания на выходе объекта управления.

Запаздывание, включенное в матрицы системы Φ и \mathbf{H} :

$$\bar{x}(kT + 1) = \Phi_d \bar{x}(kT) + \mathbf{H}_d \bar{u}(kT)$$

$$\bar{y}(kT) = \mathbf{C} \bar{x}(kT).$$

Способ введения запаздывания (по входу или выходу) зависит от технологической структуры реального объекта управления. По отношению к объекту управления сеть Profibus вносит следующие задержки: по каналам измерения - запаздывание по выходу; по каналам управления - запаздывание по входу.

Оценка влияния длительности цикла управления $T_{ЦУ}$ на изменение динамических показателей системы выполняется согласно следующей методике:

- пересчитана модель дискретной системы с новым периодом дискретности $T_d = T_{ЦУ}$;
- введены новые матрицы динамики Φ_d и управления \mathbf{H}_d , учитывающие наличие дополнительных переменных состояния;
- с использованием методики и разработанных программных средств построения переходных процессов в дискретной системе получены переходные процессы в системе управления;
- относительное отклонение полученных переходных процессов от процессов для "идеальной" системы при тех же параметрах модели динамики с учетом запаздывания в каналах исследовались в диапазоне изменения $T_y/T = 0.1 - 0.5$.

Результаты моделирования показали, что удовлетворительное качество управления в САУ территориально-распределенным объектом получается, если длительность цикла управления $T_{ЦУ}$ составляет не более 30 % от периода дискретности T . Если же $T_{ЦУ} > 0,3 \cdot T$ то возникает потеря качества управления за счет запаздывания в каналах измерения и управления.

Выводы.

1. Построение систем управления территориально-распределенными объектами значительно упрощается, если использовать специализированные телекоммуникационные сети класса fieldbus.
2. Предложен принцип декомпозиции сосредоточенного многомерного алгоритма управления объектом к рассредоточенному виду с учетом особенностей и возможностей сети Profibus.
3. На основании моделирования для САУ системой водоотведения шахты получены результаты, подтверждающие уменьшение цикла управления на 20-30% по отношению к классической реализации системы управления.
4. Оценено влияние длительности цикла управления на показатели качества САУ территориально-распределенным объектом. Показано, что уменьшение цикла управления за счет применения предложенного распределенного алгоритма управления приводит к улучшению показателей качества в замкнутой САУ территориально-распределенным объектом.

Список литературных источников

1. Автоматизация процессов подземных горных работ. // Под общей ред. Иванова А.А. - Киев; Донецк: Вища шк., 1987. - 327 с.
2. Толпежников Л.И. Автоматическое управление процессами шахт и рудников: Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1985. - 352 с.
3. Звягинцев А.М., Красников А.Л., Курносоев Н.М., Долинин И.В., Скрыпников С.Н. Полевые шины fieldbus - новая перспектива в автоматизации управления технологическими процессами // Датчики и системы.- 1999.-№ 7-8.- С. 61-73.
4. Бессараб В.И., Федюк Р.В. Модель телекоммуникационной сети PROFIBUS, применяемой в САУ распределенными технологическими процессами. Збірник наукових праць/ Матеріали конференції "Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини"/ випуск № 12. Миргород, 2002.- с.35 - 38.
5. Бессараб В.И., Федюк Р.В., Ткаченко В.Н. Влияние скоростных характеристик телекоммуникационной сети в САУ многоступенчатым водоотливом шахт. Наукові праці ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 47. Донецьк, – 2002. – с.69 – 75.

Бессараб Владимир Иванович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации и телекоммуникаций, Донецкий национальный технический университет.

Федюк Роман Валериевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры автоматизации и телекоммуникаций, Донецкий национальный технический университет.

Хорхордин Александр Владимирович – к.т.н., доцент, профессор кафедры автоматизации и телекоммуникаций, Донецкий национальный технический университет.