

Виконано аналіз принципів побудови систем автоматичного керування тепловим станом доменної печі, виходячи з особливостей доменного процесу як об'єкту керування. Розглянуто методи робастного, адаптивного, оптимального, синергетичного та нейромережевого керування. Обґрунтовано, що підвищення якості керування досягається шляхом створення безпошукової системи непрямого адаптивного керування з ідентифікацією за допомогою навчання нейромережевих прогнозуючих моделей.

**Ключові слова:** система керування, оптимальний регулятор, адаптація, ідентифікація, нейронна мережа, тепловий стан, доменна піч

It is carried out the analysis of construction principles of automatic control systems for thermal state of blast-furnace on the base of the features of the blast-furnace process as the control object. It was examined the methods of robust, adaptive, optimal, synergetic and neuronet control. It is grounded that the upgrading of control is achieved by making of searchless system of indirect adaptive control with identification by means of neuronet predicting models learning.

**Keywords:** control system, optimal control, adaptation, identification, neuronet, thermal state, blast furnace

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Слесаревим. Дата надходження рукопису 16.03.11

УДК 622.6-52

**В.В. Ткачев, д-р техн. наук, проф.,  
П.Ю. Огеєнко,  
А.В. Лозовягин**

Государственное высшее учебное заведение  
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: tkachev@ukr.net

## ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЗАДАЧАХ МИНИМИЗАЦИИ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ

**V.V. Tkachev, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
P.Yu. Ogeyenko,  
A.V. Lozovyagin**

State Higher Educational Institution “National Mining  
University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: e-mail: tkachev@ukr.net

## DECENTRALIZED MANAGEMENT FOR SOLUTION OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION MINIMIZATION PROBLEM

Рассмотрена проблема выбора сетевого решения при проектировании децентрализованной системы управления. Приведены требования к системе передачи информации при использовании децентрализованного подхода. Выполнен анализ наиболее распространенных полевых шин. По результатам анализа предложено использовать CAN шину. Описана физическая модель CAN сегмента для проведения экспериментов по тестированию возможностей CAN. Сделаны выводы по результатам исследований о децентрализованном управлении технологическими объектами.

**Ключевые слова:** децентрализация, распределение ограниченного ресурса, управление, полевая шина, CAN, модель, граф, исследование

Тенденции современного развития технологий автоматизации базируются на постепенном переходе от централизованных систем управления к системам, в которых центр управления как таковой отсутствует. Каждый узел таких систем можно считать в некотором роде интеллектуальным, так как устройство само принимает решение о необходимости выполнения тех или иных действий при управлении исполнительными механизмами. Этот подход принято называть децентрализованным управлением. Он основан на открытом информационном взаимодействии внутри коллектива сетевых модулей, в ходе которого происходит разделение управления технологическим процессом на ряд подзадач. Каждая из них выполняется устройством, непосредственно связанным с отдельным исполнительным механизмом. Таким образом, достижение определен-

ных системных целей осуществляется за счет решения локальных подзадач членами коллектива [1].

Использование децентрализованных систем управления в угледобывающей промышленности будет способствовать решению задачи повышения эффективности технологических процессов за счет снижения удельных энергозатрат при добыче угля.

Одной из базовых задач при проектировании децентрализованной системы управления является выбор сетевого решения. Технологические объекты, при автоматизации которых предпочтителен децентрализованный подход, в целом могут характеризоваться рядом следующих факторов: распределены в пространстве, сложная топология, большое число датчиков и исполнительных механизмов, помехообразующая среда, применение оборудования с различными интерфейсами ввода/вывода, необходимость быстрой реакции в соответствии с параметрами датчиков, большие объемы запрашиваемой информации. Наличие их значительно

усложняет выбор универсального решения для организации надежного канала связи в системе.

Таким образом, можно сформулировать ряд требований, предъявляемых к децентрализованной системе управления и положенной в основу ее системе передачи информации в частности:

- 1) большая протяженность;
- 2) высокая скорость обмена данными;

- 3) поддержка широкого ряда топологий;
- 4) высокая надежность и помехозащищенность;
- 5) поддержка большого числа рабочих станций;
- 6) широкое поле данных передаваемых сообщений;
- 7) мультимастерный режим работы;
- 8) легкость проектирования и реконфигурирования сети.

Таблица

Характеристики промышленных систем передачи данных

Полевая шина	Топология	Кол-во проводов (шт.)	Кол-во сетевых устройств (шт.)	Режим работы	Длина сегмента (max) (м)	Скорость передачи (max) (kb/s)	Поле данных (bit)
AS-I	bus/tree	2	32	mono	100	167	4
CAN	bus	2	64	multi	5000 (10 kb/s)	1024	to 64
Interbus	ring	2/8	255	mono	400 (total 12800)	500	64x8
Profibus FMS	bus	2	127	multi	19200 (9,6 kb/s)	500	246x8
Profibus DP	bus	2	127	multi	1000 (12 Mb/s)	12288	246x8
Profibus PA	bus	2	32	mono	1900	93,75	246x8
Fip	bus	2	256	multi	2000 (1 Mb/s)	2560	32x8
Modbus plus	bus	2	32	multi	1800	1024	32x8
P-NET	bus/tree	2	32+125	multi	1200	76,8	56x8
FF H1	bus	2	240	multi	2000 (total 9500)	31,25	246x8
FF H2	bus	2	240	multi	2000 (total 9500)	1024	246x8
HART	star/bus	2	15	mono	to 3000	1228	8
LON	bus/tree	2	64 (to 32000)	multi	6100 (5 kb/s)	1228	228x8

По результатам анализа ряда известных полевых шин, краткие характеристики которых сведены в таблице, можно выделить CAN, Profibus DP, P-NET и LON. Эти сетевые решения наиболее соответствующим перечисленным выше требованиям.

Однако каждая из выбранных шин в рамках поставленной задачи имеет свои недостатки, таким образом, универсальное решение отсутствует.

Наиболее адаптированной для децентрализованного подхода при управлении технологическими объектами является полевая шина CAN. Она интересна с точки зрения принципов организации доступа к каналу – борьба за канал, основанная на арбитраже шины. К достоинствам можно отнести растущую популярность CAN-интерфейса в системах управления и, как следствие, выход в свет целых серий дешевых специализированных контроллеров этой шины. В недалеком времени системы, построенные на RS485-интерфейсе, останутся только в нижнем ценовом классе устройств передачи данных, так как они реализуют практически все функции передачи пакетов программным способом. Для развивающихся систем передачи данных такое построение может оказаться узким местом и, поэтому, оправданно уже сейчас закладывать перспективные решения на основе специализированных контроллеров шины.

Основное отличие CAN от существовавших стандартов заключается в том, что передаваемый кадр сообщения не несет адрес приемника устройства – назначения, а содержит идентификатор данных пакета.

Один и тот же пакет может быть одновременно прочитан и использован целым рядом устройств [2].

Кроме этого CAN-шина имеет высокую помехоустойчивость, которая обусловлена особенностью физического уровня (дифференциальный сигнал). Шина характеризуется как устойчивая против электрических и информационных перегрузок и имеет внутреннюю систему установки приоритетов. Недостатком CAN при организации децентрализованного управления может выступать ее шинная топология. Однако использование специализированных маршрутизаторов и особая организация протокола передачи данных позволяют использовать CAN и для объектов с древовидной топологией [3].

Одной из основных задач, решаемых в ходе децентрализованного управления технологическим объектом, является распределение ограниченного ресурса [4]. При выполнении данной задачи от шины требуется обеспечить широкий и надежный канал для пошагового обмена запросами на ограниченный ресурс, которые инициируются устройствами. В конце каждого шага участвующие в обмене устройства по результатам вычисленной суммы запросов принимают решение об остановке или продолжении распределения. Таким образом, для проверки возможности применения полевой шины CAN при организации децентрализованного подхода, необходимо протестировать работоспособность шины при высокой загрузке канала связи в ходе пошагового

обмена значениями и корректный подсчет их суммы индивидуально на каждом отдельном узле.

Для проведения эксперимента была спроектирована и создана физическая модель, представленная на рис. 1.

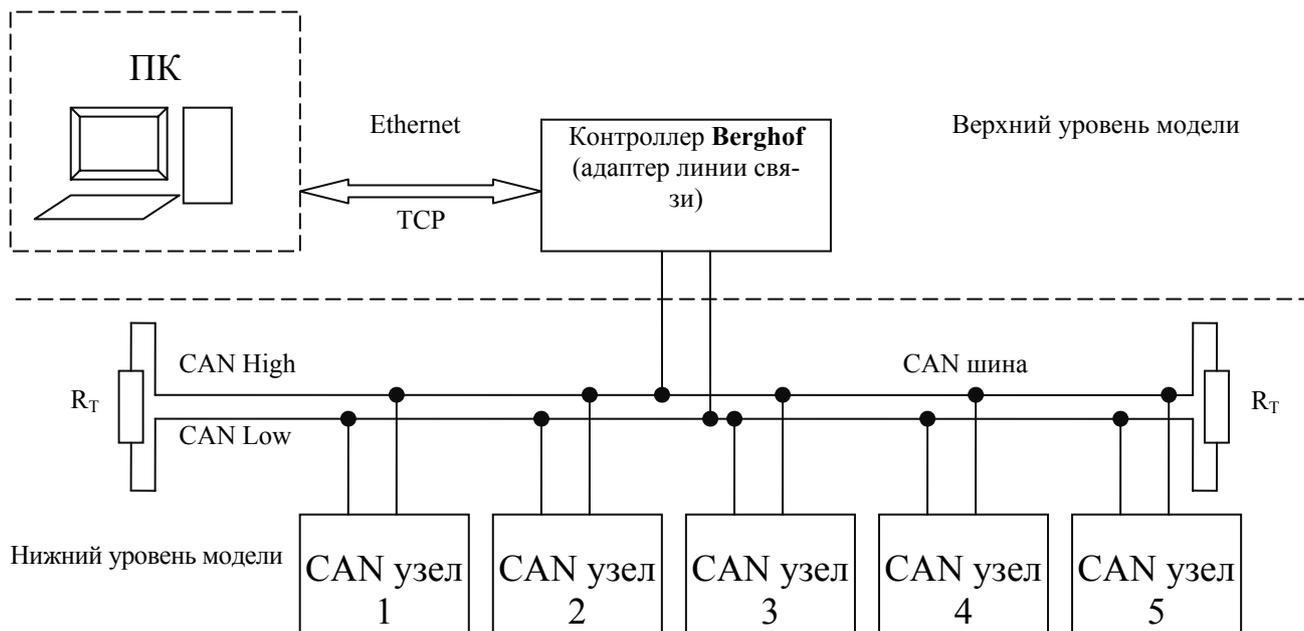


Рис. 1. Структурная схема модели для проведения экспериментов

В обмене информацией по CAN участвуют шесть CAN узлов: промышленный контроллер, в котором реализованы функции адаптера линии связи для подключения ПК, и пять однотипных CAN совместимых устройств, которые обмениваются данными. Взаимодействие между ПК и адаптером линии связи осуществляется посредством интерфейса Ethernet 100BaseT на основе протокола TCP.

На ПК запускается программное обеспечение, позволяющее выполнить мониторинг информационных потоков в CAN сегменте. Приложение пульта мониторинга написано в среде Visual C++ на базе диалогового приложения для проведения экспериментов с физической моделью системы.

CAN шина базируется на мультимастерном подходе, в соответствии с которым каждый узел сети может осуществлять передачу данных в любой момент времени, независимо от других устройств сегмента. Возможные при таком подходе коллизии разрешаются путем применения доминантно-рецессивного подхода при арбитраже доступа. Все передаваемые кадры начинаются с уникального идентификатора, который также служит в качестве приоритета сообщения. Кроме того, согласно организации, все устройства CAN постоянно находятся в режиме приема, что позволяет контролировать ход передачи данных. Синхронизация узлов основана на использовании межкадровой последовательности бит и подстройке всех устройств при получении стартового бита. Таким образом, при одновременной передаче

кадров двумя и более устройствами шина будет автоматически отдана тому узлу, который первым выставит доминантный бит, то есть тому, чей приоритет сообщения выше. Передача остальных устройств будет приостановлена. Подобная организация доступа к шине сама по себе является децентрализованной, что открывает широкие возможности при выполнении задачи распределения ограниченного ресурса.

Процесс распределения ресурса при неоптимальных начальных условиях может требовать более ста шагов, что для разработанной модели соответствует более чем пятистам сообщениям. Здесь явно просматривается необходимость соответствия полевой шины требованию про высокоскоростной обмен данными.

В соответствии с параметрами проводимого эксперимента, все пять CAN узлов будут пошагово выдавать свои уникальные значения и в конце шага вычислять их сумму. Следовательно, на базе CAN необходимо организовать децентрализованный контроль учета всех значений шага при том, что каждое устройство не будет обладать информацией о том, сколько еще узлов участвуют в обмене. Причем, необходимо также учесть возможную неоднородность объединенных интеллектуальных модулей, что может привести к задержкам вычисления конечной суммы перед переходом к следующему шагу.

Приведенный на рис. 2 граф отображает предложенный подход для решения задачи эксперимента. Он описывает алгоритм работы CAN узла сегмента шины в ходе пошагового обмена данными.

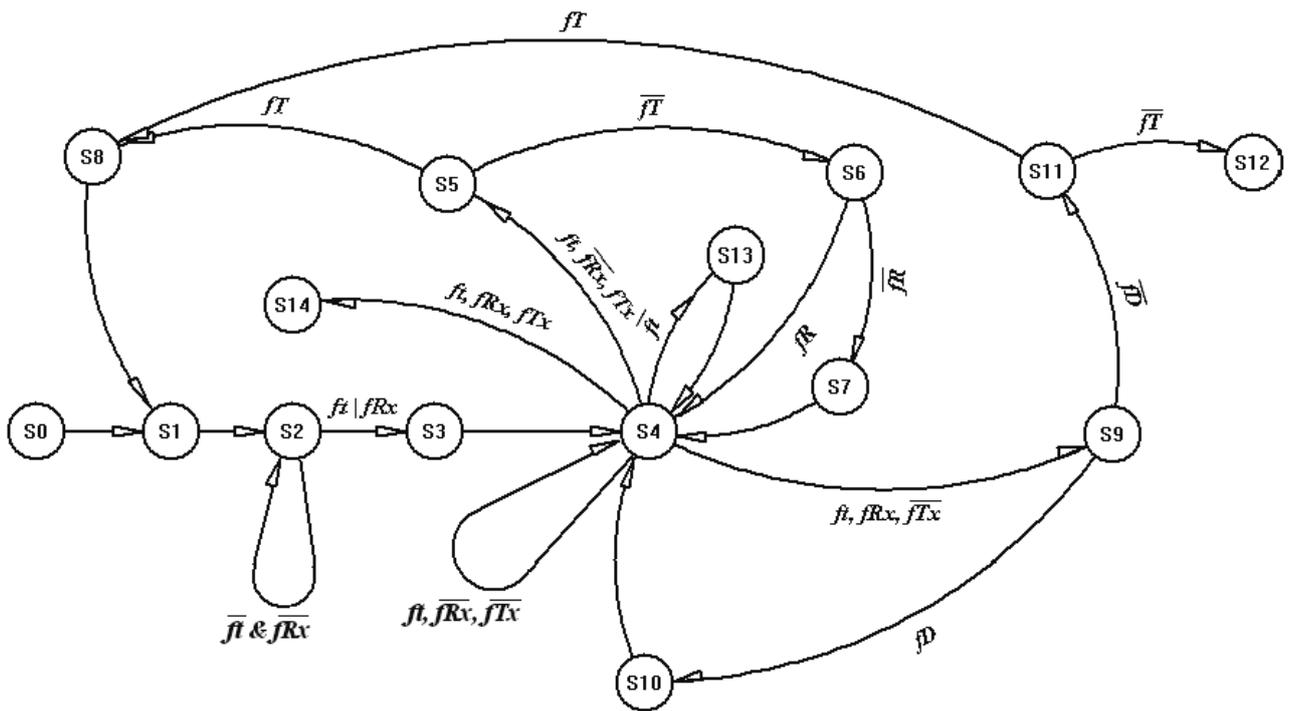


Рис. 2. Граф пошагового обмена данными по CAN шине:

ft – флаг контроля окончания задержки;  
 fTx – флаг контроля передачи кадра;  
 fRx – флаг контроля получения кадра;

fT – флаг контроля передачи кадра запроса;  
 fR – флаг контроля передачи кадра за полный шаг;  
 fD – флаг контроля соответствия кадра

Для организации обмена данными, эмулирующей процесс распределения ограниченного ресурса, используются шесть CAN кадров: пять стандартных кадров данных, выставляющих в шину запрос на ресурс, и один удаленный кадр завершения текущего шага, который имеет низший приоритет и уведомляет устройства о необходимости подсчета суммы полученных значений запросов.

Работа узла начинается с инициализации задействованных модулей и установки переменных и флагов в значения по умолчанию. Затем запускается таймер для организации задержки, необходимой для синхронизации устройств с различающимися интеллектуальными модулями (S1). Задержка позволяет всем участвующим в обмене устройствам начать следующий шаг одновременно вне зависимости от времени, которое затрачивается на вычисление суммы каждым из них. Таким образом, узел переходит в режим ожидания окончания задержки или получения приема кадра (S2). Устройство, на котором расчет был произведен за наименьшее время, первым выходит из этого режима и отправляет кадр с текущим значением запроса (S3), что инициирует другие узлы к переходу на новый шаг. В соответствии со спецификацией CAN, сообщение, помещенное в буфер передачи, будет отправлено в тот момент, когда его приоритет окажется наивысшим среди передаваемых сообщений. Благодаря такому подходу все участвующие в обмене узлы, после помещения кадра данных в буфер передачи, могут переходить в режим опроса флагов

(S4). В этом режиме осуществляется контроль событий приема/передачи сообщений. В случае, если произошла отправка кадра, то проверяется был ли это кадр запроса или кадр завершения текущего шага (S5). При отправке кадра завершения шага вычисленная сумма выводится на индикатор устройства (S8). Отправка запроса фиксируется выставлением соответствующего флага. После проверяется получение в ходе текущего шага запроса от другого устройства сегмента (S6). Если кадр был получен, то узел вновь переходит в режим опроса флагов. При иной ситуации косвенным путем принимается решение о том, что данный узел был первым, кому удалось отправить запрос. Таким образом, передача кадра завершения текущего шага возлагается на данное устройство (S7). После чего осуществляется переход в режим опроса. При приеме кадра проверяется его тип (S9). Если это стандартный кадр, то значение его поля данных суммируется с уже рассчитанной суммой (S10) и узел переходит в режим опроса. При получении удаленного кадра проверяется, был ли в ходе шага отправлен кадр запроса (S11). Если да, то значение вычисленной суммы выводится на индикатор (S8). В ином случае, узел переходит в режим ошибки (S12), определяющий, что за текущий шаг устройству не удалось передать свой запрос. Когда переход в режим опроса флагов событий произошел при получении кадра запроса от устройства линии, таймер останавливается (S13). Если в ходе режима опроса фиксируется одновременное возникновение событий

передачі и приема кадров, то это приводит к переходу в режим ошибки (S14), определяющий, что интеллектуальный модуль устройства работает слишком медленно для обеспечения реализации поставленной задачи. После индикации суммы, рассчитанной в ходе текущего шага, устройство переходит в состояние запуска таймера (S1).

В ходе проведенного на модели эксперимента узлы сегмента пошагово выводили суммы выставленных запросов. Величина значений запросов на каждом шаге для разных устройств имела отличие на 10 единиц. При переходе на следующий шаг значение запроса увеличивалось. Таким образом, каждое новое значение суммы было уникальным. CAN шина была протестирована на всех стандартных скоростях.

Полученная в ходе эксперимента характеристика зависимости вычисленной суммы от текущего шага имела линейный характер. Без использования синхронизирующей задержки, часть узлов переходили в режим ошибки.

На основе результатов эксперимента можно сделать следующие выводы:

– на базе предложенного подхода пошагового обмена данными по CAN шине можно организовать децентрализованное управление технологическими объектами;

– для корректности выполнения задачи распределения ограниченного ресурса на устройствах необходимо использовать синхронизирующую программную задержку.

#### Список литературы / References

1. *Варшавский В.И.* Коллективное поведение автоматов / Варшавский В.И.–М.: Наука, 1973 – 408 с.  
*Varshavskiy V.I.* The collective behavior of automata / Varshavskiy V.I. –М.: Nauka, 1973 – 408 p.
2. *CAN Physical Layer.* – CIA. – 1999. – 43 p.

3. *Gruhler G.* Very large hierarchical CANopen systems in mining / Gruhler G., Pivnyak G., Tkachev V., Tsvirkun L., Poperechnyy D.-CAN Newslater 4/2004, 48–54 p.

4. *Пивняк Г.Г.* Децентрализованное управление / Пивняк Г.Г., Проценко С.Н., Стадник С.М., Ткачев В.В. – Монография. – Д.: НГУ 2007. – 107 с.

*Pivnyak G.* Decentralized control / Pivnyak G., Procenko S., Stadnik S., Tkachev V.– Monograph. – D.: NGU 2007. – 107 p.

Розглянуто проблему вибору мережевого рішення при проектуванні децентралізованої системи керування. Наведено вимоги до системи передачі інформації при використанні децентралізованого підходу. Виконано аналіз найбільш розповсюджених польових шин. За результатами аналізу запропоновано використовувати CAN шину. Описано фізичну модель CAN сегмента для проведення експериментів з тестування можливостей CAN. Зроблено висновки за результатами досліджень про децентралізоване управління технологічними об'єктами.

**Ключові слова:** децентралізація, розподіл обмеженого ресурсу, керування, польова шина, CAN, модель, граф, дослідження

The problem of networking solution selection for decentralized management system projecting is considered. Requirements for data transfer system in decentralized approach are given. Analysis of several well-known field buses is done. CAN bus use is preferable as the result of analysis. Physical model for CAN possibilities testing experiments is described. Conclusions for researches results are made.

**Keywords:** decentralization, limited resources allocation, control, field bus, CAN, model, graph, research

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Слесаревим. Дата надходження рукопису 28.01.11*