

4. Тронь В. В. Керування завантаженням багатосекційної ємності на основі нечіткого аналізу багатокритеріальних варіантів / В. В. Тронь // Сборник научных трудов «Новое в технологии и технике переработки минерального сырья». – 2010. – С. 249-262.

5. Тронь В. В. Автоматизоване двоетапне керування процесом бункерного живлення паралельних технологічних ліній в умовах невизначеності / В. В. Тронь // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – 2010. - №2. – Т. 1. – С. 125-129.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 622.6-52

© В.В. Ткачев, П.Ю. Огеенко, А.В. Лозовягин

## **ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОГРАНИЧЕННОГО РЕСУРСА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ CAN-ШИНЫ**

Рассмотрена актуальность развития децентрализованных систем управления. Обоснована необходимость проведения эксперимента для исследования поведения алгоритма распределения ограниченного ресурса в CAN-сегменте на физической модели. Выполнен синтез алгоритма функционирования узла и графа пошагового обмена данными в CAN-сегменте. Сделан анализ полученных в ходе эксперимента данных.

Розглянуто актуальність розвитку децентралізованих систем управління. Обґрунтовано необхідність проведення експерименту для дослідження поведінки алгоритму розподілу обмеженого ресурсу в CAN-сегменті на фізичній моделі. Виконано синтез алгоритму функціонування вузла і графа покрокового обміну даними в CAN-сегменті. Зроблено аналіз отриманих у ході експерименту даних.

The actuality of development of decentralized control systems is considered. The necessity of conducting an experiment to research the behavior of the algorithm of limited resources allocation in the CAN-segment on the physical model is grounded. The synthesis of node operation algorithm and step by step data exchange in CAN-segment graph is made. Obtained in the course of the experiment data are analyzed.

Многие экономические и организационные системы, в их современном представлении не были спроектированы в соответствии с реализацией определенного плана, они появились как результат симбиоза существовавших ранее простых систем. Тот же процесс, непосредственно связанный с технической эволюцией, наблюдается и в системах управления технологическими объектами.

Одним из основных недостатков при применении централизованного подхода для сложных объектов выступает то, что практически невозможно задать критерий управления с достаточной для нормального функционирования системы точностью. Децентрализованный же подход предоставляет возможность задавать критерии локально для отдельных подсистем управления, указывая ограничения, которые сформированы на основе общих правил работы объекта в целом.

Децентрализация - это делегирование задачи управления объектом на уровне интеллектуальных узлов системы управления. Таким образом, децентра-

лизованный подход в управлении технологическими объектами основывается на решении задачи о распределении ресурса управления.

Наиболее адаптированной для децентрализованного подхода при управлении технологическими объектами среди сетевых решений является полевая шина CAN (1). Она удовлетворяет требованиям любой системы, в которой микроконтроллеры обмениваются сообщениями друг с другом. Кроме того, это сетевое решение поддерживает достаточный диапазон скоростей, а также помехоустойчиво, что немаловажно при передаче информации. Благодаря мультимастерному подходу и механизму арбитража, CAN предоставляет широкие возможности для организации децентрализованного управления технологическими объектами.

Описание эксперимента проверки возможности использования полевой шины CAN для реализации распределения ограниченного ресурса было приведено в работе (1). Согласно сделанным по результатам эксперимента выводам:

- на базе пошагового обмена данными по CAN-шине можно организовать децентрализованное управление технологическими объектами;
- для выполнения задачи распределения ограниченного ресурса на устройствах необходимо использовать синхронизирующую программную задержку.

Однако, описанный эксперимент не отображает полную картину поведения системы при выполнении задачи распределения ограниченного ресурса. Для выполнения более точного анализа необходимо провести эксперимент, базирующийся на применении правила формирования запроса отдельным узлом системы и ограничений, задающих общую цель управления системой.

В общем случае математические модели децентрализованных систем управления (ДСУ) с одной стороны имеют разные математические описания правил изменения запросов на ресурс управления, с другой стороны - они должны работать в локальной вычислительной сети, обеспечивая выполнение задачи управления по несложному алгоритму.

Основным принципом в работе децентрализованной системы должна быть независимость распределения ресурса от количества контроллеров, которые принимают участие в решении задачи распределения ресурса. Этот принцип обеспечивает основное преимущество децентрализованного управления - живучесть системы.

Анализ правил поведения каждого интеллектуального узла позволяет отобразить алгоритм функционирования контроллера в системе, построенный на основе выполнения задачи управления и экстремума критерия управления по теореме Куна-Таккера. Правило изменения запросов каждым контроллером имеет следующий вид:

$$X_{k+1,i} = X_{k,i} - C \cdot \left[ \alpha_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N f_i(X_i) - Y_3 \right) \cdot f_i'(X_i) - \alpha_2 \cdot \left( X - \sum_{i=1}^N X_{k,i} \right) - \lambda \right] \quad (1)$$

Поскольку в процессе изменения запросов  $X_i$ , контроллерами  $\sum f_i(X_i)$  будет равняться  $Y_3$ , а  $\sum X_i = X$ , то может наблюдаться ситуация, когда  $X_{k+1,i} = X_{k,i} - 0 + 0$ , то есть изменения на  $(k+1)$ -м шаге не происходят. Тогда

ресурс будет распределен, а отклонение выхода системы от заданного значения не наблюдается. Следовательно, задача управления выполнена.

В результате процесса изменения запросов  $X_i$  контролерами на  $(k+1)$ -м шаге значения  $X_i$  не изменяется. Но при этом  $X \neq \sum X_i$  и  $Y_3 \neq \sum f_i(X_i)$ . Это возможно в том случае, если

$$\alpha_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N f_i(X_i) - Y_3 \right) \cdot f_i'(X_i) = \left( X - \sum_{i=1}^N X_{k,i} \right) = A \quad (2)$$

Тогда выражение правила изменения запросов приобретает следующий вид:

$$X_{k+1,i} = X_{k,i} - A + A \quad (3)$$

то есть ресурс не распределен, а величина конечного продукта не равняется заданной, а процесс изменения запросов на ресурс закончен. Следовательно, задача управления не выполнена. Этот анализ показывает, что коллектив контролеров, которые руководствуются правилом поведения, не всегда способен выполнить поставленную задачу. Анализируя выражение (2), можно сделать вывод, что второй случай возможен, если глобальный экстремум функции цели лежит не в зоне ограничения. В этом случае правило поведения контролера должно учитывать неопределенный множитель  $\lambda$ . Тогда алгоритм изменения запросов  $X_i$  (алгоритм изменения поведения) будет выглядеть так, как показано на рисунке 1.

В приведенном алгоритме:  $\delta$  - точность вычисления шага,  $\varepsilon$  - точность распределения ресурса.

Рассмотрим функционирование алгоритма: поскольку исходное значение  $\lambda = 0$ , то выражение в блоке 2 не отличается от выражения (1) и, если после прекращения изменения  $X_i$  (блок 3), ресурс распределен (блок 4), то задача управления выполнена (блок 6). Если исходное значение  $\lambda \neq 0$ , экстремум функции цели лежит не на поверхности ограничения, процесс изменения  $X_i$  закончен (блок 3), но ресурс не распределен (блок 6). Тогда исходной величине  $\lambda$  присваивается значение  $A$  (блок 5). При этом:

$$C \cdot \left[ \alpha_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N f_i(X_i) - Y_3 \right) \cdot f_i'(X_i) - \lambda \right] = 0 \quad (4)$$

$$\alpha_2 \cdot \left( X - \sum_{i=1}^N X_{k,i} \right) = A$$

Это обусловит последующее изменение  $X_i$ . Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока выполняется условие в блоках 3 и 4. После этого зада-

ча управления будет решена. Таким образом, сеть контроллеров, каждый из которых работает по приведенному алгоритму, осуществляет числовое решение системы уравнений, которые лежат в основе задачи управления объектом в целом.

Структура системы, которая осуществляет выполнение задачи управления соответственно изложенному принципу, является децентрализованной. Любой из контроллеров, которые входят в общую сеть, кроме выполнения задачи управления отдельным объектом (машиной), принимает участие в выполнении задачи оптимизации технологического процесса в целом. Рассмотрим, что дает такая техническая реализация с точки зрения живучести системы.

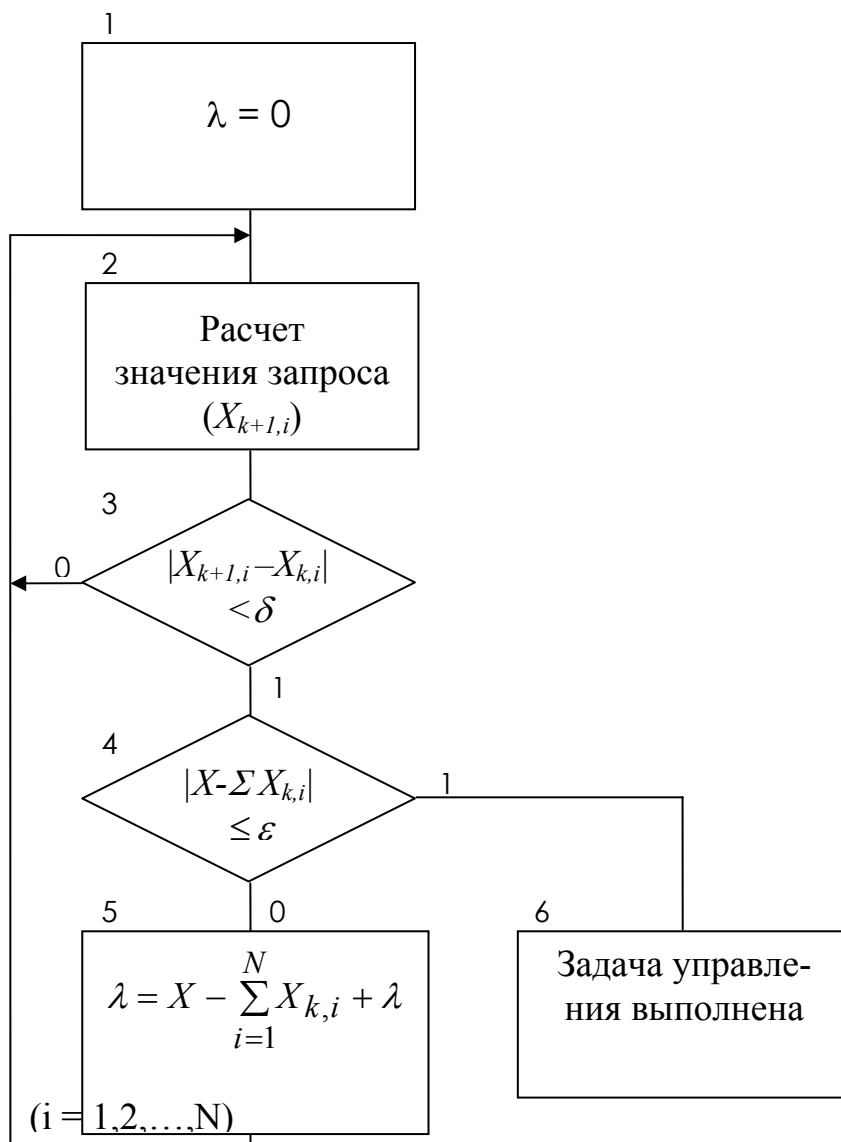


Рис. 1. Обобщенный алгоритм функционирования узла ДСУ

Допустим, что в процессе функционирования выходит из строя часть машин  $M$ , контроллеров или же в систему включаются новые машины с собственными контроллерами. При этом в системе изменяется только параметр  $N$ , что не ведет к необходимости изменения алгоритма выполнения задачи, то есть, ес-

ли каждый из контролеров работает соответственно предложенному алгоритму (рисунок 1), то независимо от количества машин, которые исправно работают в данный момент, и контролеров управление технологическим процессом осуществляется соответственно критерию управления.

Для проведения эксперимента был выполнен синтез графа пошагового обмена данными между узлами CAN-сегмента (1) и приведенного выше алгоритма функционирования узла ДСУ. Полученный граф описывает работу отдельного CAN-модуля, в соответствии с задачей распределения ограниченного ресурса, который задается константным целочисленным значением (рисунок 2).

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). 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. 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), определяющей, 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 передачи 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.

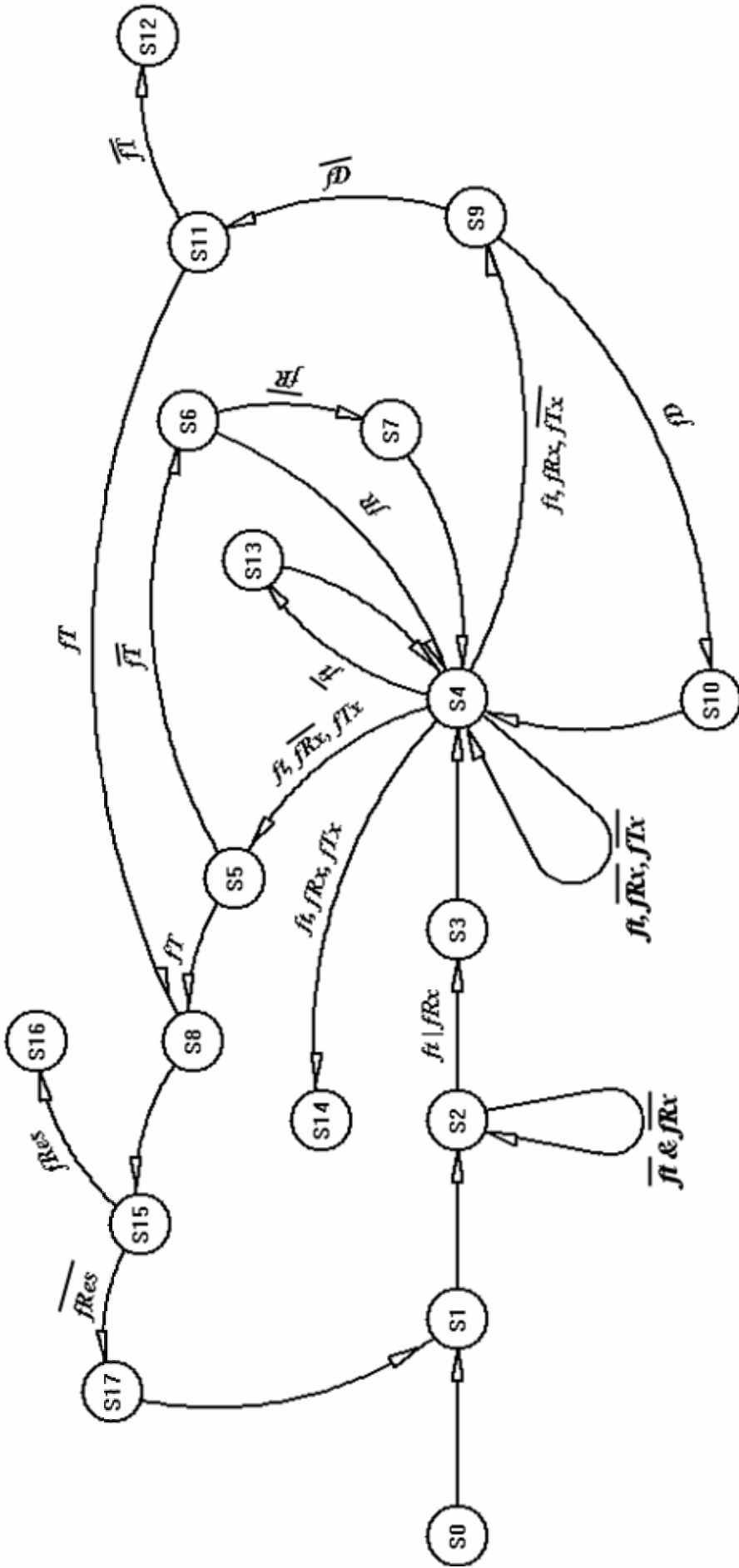


Рис. 2. Граф распределения ограниченного ресурса в CAN-сегменте

$f_t$  – флаг контроля окончания задержки;

$f_{Tx}$  – флаг контроля передачи кадра;

$f_{Rx}$  – флаг контроля получения кадра;

$f_{Res}$  – флаг контроля передачи кадра запроса;

$f_{tR}$  – флаг контроля передачи кадра за полный шаг;

$f_{tD}$  – флаг контроля соответствия кадра;

$f_{Res}$  – флаг контроля выполнения задачи распределения ограниченного ресурса.

После индикации суммы, рассчитанной в ходе текущего шага, устройство выполняет проверку соответствия вычисленного значения заданному ресурсу (S15) и при превышении максимально допустимой величины отклонения пересчитывает новое значение запроса (S17), после чего переходит в состояние запуска таймера (S1). Если поставленная задача была решена, то распределение прекращается (S16).

Для проведения эксперимента по распределению ограниченного ресурса использована физическая модель CAN-сегмента, структурная схема которой рассмотрена на рисунке 3.

Верхний уровень модели представляет собой персональный компьютер с программным обеспечением для мониторинга информационных потоков в CAN-сегменте.

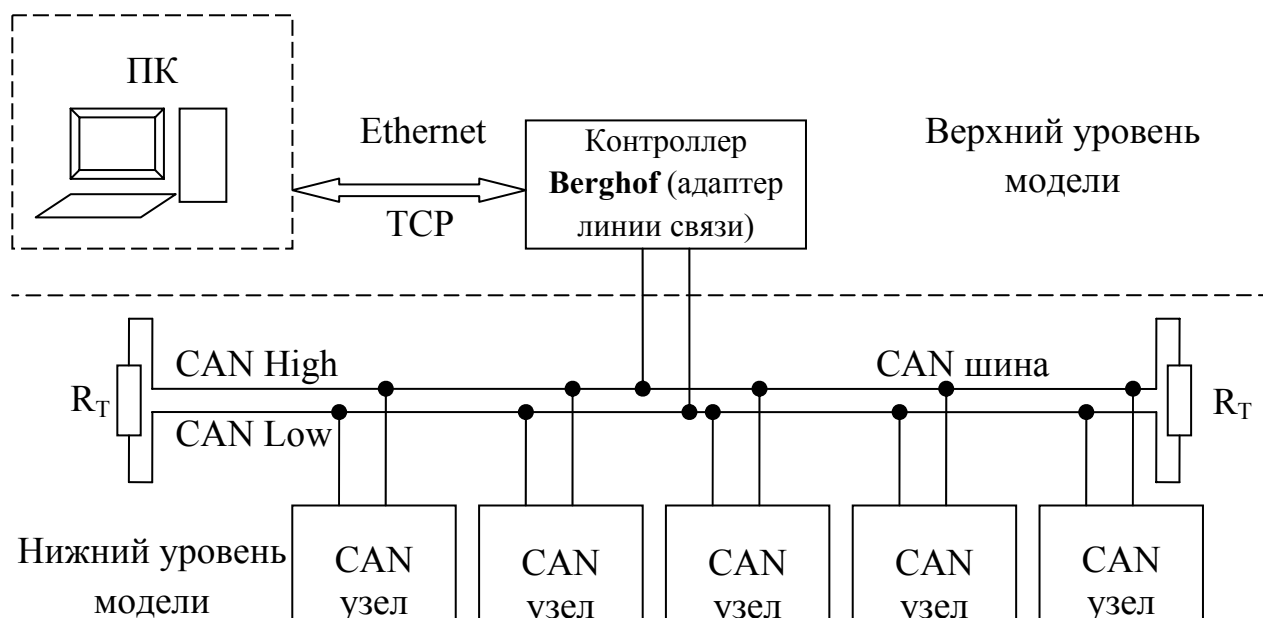


Рис. 3. Структурная схема физической модели CAN-сегмента

Нижний уровень представлен пятью идентичными CAN узлами, которые участвуют в решении задачи распределения ограниченного ресурса.

Для соединения верхнего и нижнего уровней используется промышленный контроллер Berghof, обеспечивающий функцию адаптера линии связи.

В таблице 1 приведены входные и выходные данные трех наиболее показательных опытов.

По выходным данным опытов построены кривые зависимостей величины запроса на ресурс от текущего шага распределения  $X_i(k_i)$  (рисунок 4).

Таблица 1

## Входные и выходные данные опытов

Величина	Устр-во	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Входные данные				
<b>X (ресурс)</b>		1000	1000	1000
<b><math>\varepsilon</math> (точность распределения ресурса)</b>		15	15	15
<b><math>\delta</math> (точность вычисления шага)</b>		1	1	1
<b>C (коэффициента шага)</b>		0,008	0,2	0,38
<b>Величина начального запроса</b>	<b>Узел 1</b>	10	10	10
	<b>Узел 2</b>	20	20	20
	<b>Узел 3</b>	30	30	30
	<b>Узел 4</b>	40	40	40
	<b>Узел 5</b>	50	50	50
Выходные данные				
<b>Доля ресурса после распределения</b>	<b>Узел 1</b>	177,3	179,9	176,9
	<b>Узел 2</b>	187,3	189,9	186,9
	<b>Узел 3</b>	197,3	199,9	196,9
	<b>Узел 4</b>	207,3	209,9	206,9
	<b>Узел 5</b>	217,3	219,9	216,9
<b>Количество шагов распределения</b>		64	3	33

По результатам проведенного эксперимента сделаны следующие выводы:

- полученные кривые соответствуют приведенным в работе (2), основанным на имитационной модели контроллера, участвующего в распределении ограниченного ресурса;

- число шагов распределения ограниченного ресурса непосредственно зависит от коэффициента шага и в общем случае достигает минимума в диапазоне значений от 0,001 до 0,5;

- весь диапазон значений для коэффициента шага итерации условно может быть разделен на три зоны. Наименьшее число шагов при распределении ограниченного ресурса наблюдается в зоне 2 (рисунок 4, б);

- разработанный алгоритм позволяет решить задачу распределения ограниченного ресурса в CAN-сегменте.



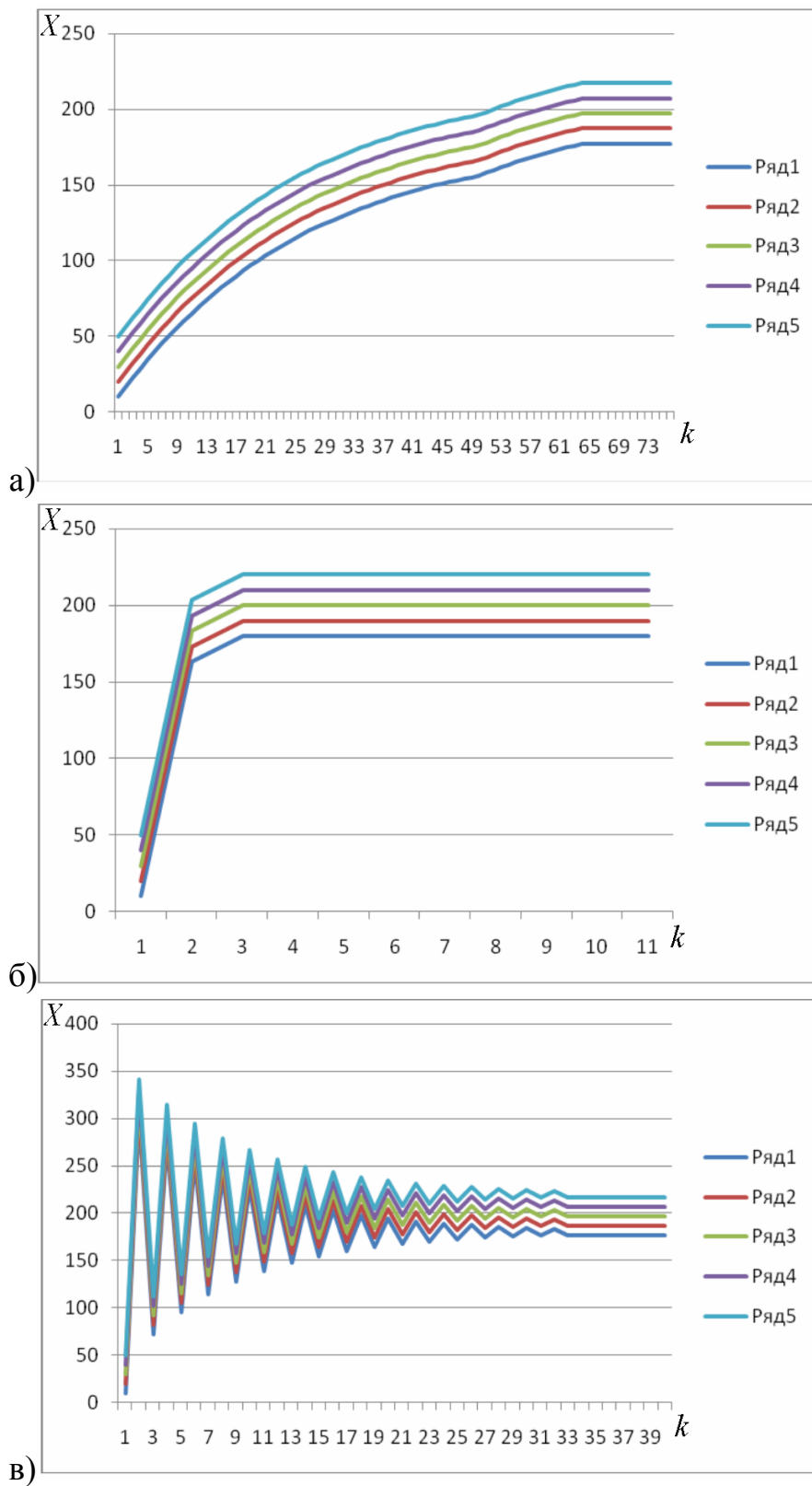


Рис. 4. а) кривые распределения ресурса при  $C = 0,008$ ; б) кривые распределения ресурса при  $C = 0,2$ ; в) кривые распределения ресурса при  $C = 0,38$

#### Список литературы

1. В. В. Ткачев, П. Ю. Огеенко, А. В. Лозовягин, «Децентрализованное управление в задачах минимизации удельных энергозатрат», Науковий вісник НГУ №4, 2011
2. Г. Г. Пивняк, С. Н. Проценко, С. М. Стадник, В. В. Ткачев, Децентрализованное управление: Монография. – Д.: НГУ 2007. – 107 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 681.5.015: 62-52

© А.В. Герасина

## **КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ И САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД**

Разработан комплексный метод идентификации нелинейных процессов крупного дробления и самоизмельчения руд, который осуществляется путем определения тенденции к изменению режимов функционирования этих процессов, по значениям чего выполняется структурно-параметрическая или параметрическая оптимизация интеллектуальных прогнозирующих моделей с вариацией типов их структур.

Розроблено комплексний метод ідентифікації нелінійних процесів крупного дроблення та самоздрібнювання руд, що здійснюється шляхом визначення тенденції до зміни режимів функціонування цих процесів, за значеннями чого виконується структурно-параметрична або параметрична оптимізація інтелектуальних прогнозуючих моделей з варіацією типів їх структур.

The complex method of identification of nonlinear comminution processes is developed, which is carried out by definition of the tendency to variation of modes of functioning of these processes, on values of that structural-parametrical or parametrical optimization of intellectual predicting models is executed with variation of types structures.

**Введение.** Нелинейные процессы крупного дробления и самоизмельчения руд с позиций управления являются сложными динамическими объектами, модели которых имеют нестационарные параметры, нелинейные зависимости и стохастические переменные. Кроме того, эти процессы имеют различные режимы работы (переменную структуру). Создание эффективных систем управления данными процессами предусматривает их идентификацию как на стадии проектирования, так и в процессе функционирования.

**Постановка задачи.** Анализ методов и алгоритмов идентификации нелинейных объектов управления (ОУ) показал, что в работах ученых проводилась параметрическая либо структурно-параметрическая идентификация ОУ. Однако, применение параметрической идентификации является недостаточным, учитывая характер идентифицируемых процессов, а выбор структурно-параметрической идентификации не обоснован.

Реализация структурно-параметрической идентификации ОУ, предложенная Марьютой А.Н., Новицким И.В., Поркуян О.В., Корниенко В.И. и др., ориентирована на определенную структуру моделей. Однако, предполагаемое постоянство структуры приводит к существенной потере точности идентификации, и, следовательно, к снижению качества управления. Решение этой проблемы предложил Ка-