

Как показывают предварительные оценки и опыт исследований и создания больших ИС, такой комплексный подход к решению проблемы повышения функциональных возможностей и характеристик специализированных ИС позволит заметно повысить оперативность автоматизированного управления, обеспечить высокое качество обработки решений на средствах ИС и заданную устойчивость управления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Балыбердин В.А., Пенкин О.М., Полушин А.И.* Проблемные вопросы создания и внедрения новых информационных технологий в автоматизированных системах военного назначения. – М.: СВТП РИА, 2001.
2. *Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Степанов О.А.* Оптимизация информационных процессов в автоматизированных системах с распределённой обработкой данных. – М.: Технология, 2002.
3. *Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Дружинин М.А.* Генетические алгоритмы поиска в задачах оптимизации систем сетцентрического управления специального назначения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 153-159.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.Л. Беляков.

**Балыбердин Валерий Алексеевич** – Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации; e-mail: baliberdinv@yandex.ru; 107564, г. Москва, пер. Погонный, 10; тел.: 89162386854; д.т.н.; профессор; заслуженный деятель науки РФ; ведущий научный сотрудник.

**Белевцев Андрей Андреевич** – ООО «Рукс Солюшенс»; e-mail: ambevtsev@yandex.ru; 121522, г. Москва, ул. Оршавская, 3; тел.: 89218550885; генеральный директор.

**Степанов Олег Алексеевич** – НИИ микробиологии Министерства обороны РФ; e-mail: stepoleg@post.ru; 107564, г. Москва Погонный пер, 10; тел.: 89165095834; к.т.н.; начальник управления.

**Baliberdin Valery Alecseevich** – The Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation; e-mail: baliberdinv@yandex.ru; 10, Pogonnyi, Moscow, 107564, Russia; phone: +79162386854; dr. of eng. sc.; professor; a leading researcher.

**Belevtsev Andrey Andreevich** – CEO RooX Solutions LLC; e-mail: ambevtsev@yandex.ru; 3, Orshavckay street, Moscow, 121522, Russia; phone: +79218550885; general director.

**Stepanov Oleg Alecseevich** – Scientific Research Institute of Microbiology of the Ministry of Defence of the Russian Federation; e-mail: stepoleg@post.ru; 10, Pogonnyi, Moscow, 107564, Russia; phone: +79165095834; cand. of eng. sc.; head of department.

УДК 621.05.1

**О.Н. Пьявченко**

#### **СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МИКРОКОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

*Представлены результаты исследований и разработок процессов сбора информации датчиков физических переменных и организации процессов обработки этой информации в распределенных информационных микрокомпьютерных системах. Рассмотрены ситуации, когда использование способа последовательных аналого-цифровых преобразований сигналов датчиков и циклического сбора их результатов приводит к появлению недопустимо боль-*

шой погрешности. В таких случаях рекомендуется применять способ последовательного сбора результатов параллельных аналого-цифровых преобразований сигналов датчиков. Представлены версии последовательной и параллельно-последовательной схем процесса сбора и обработки информации датчиков. Показано, что применение параллельно-последовательной схемы решения задач обеспечивает многократный рост производительности распределенных информационных микрокомпьютерных систем при увеличении числа параллельных ветвей.

*Распределенные информационные микрокомпьютерные системы; датчики физических переменных; последовательная схема; параллельно-последовательная схема.*

**O.N. Pyavchenko**

### **STRUCTURAL FEATURES OF THE ORGANIZATION OF GATHERING AND PROCESSING OF THE INFORMATION OF SENSORS IN THE DISTRIBUTED INFORMATION MICROCOMPUTER SYSTEMS OF REAL TIME**

*In the given work results of researches and workings out of processes of information collection of sensors of physical variables and the organization of processes of processing of this information in the distributed information microcomputer systems are presented. Situations when use of a way of serial analogue-digital conversions of signals of sensors and cyclic gathering of their results leads to occurrence is inadmissible the big error are considered. In such cases it is recommended to apply a way of serial gathering of results of parallel analogue-digital conversions of signals of sensors. Versions of serial and parallel-serial schemes of process of gathering and information processing of sensors are presented. It is shown that application of the parallel-serial scheme of the decision of problems provides multiple growth of productivity of the distributed information microcomputer systems at increase in number of parallel branches.*

*The distributed information microcomputer systems; sensors of physical variables; the serial scheme; the parallel-serial scheme.*

Одним из условий реализации наблюдения и управления сложных высокодинамичных процессов и технических объектов является создание высокопроизводительных и высокоточных информационных микрокомпьютерных систем (ИМКС), функционирующих в режиме «жесткого» реального времени.

При этом решающую роль играют не только успехи в разработках методов и алгоритмов задач наблюдения и управления, но и архитектур ИМКС.

В данной работе частично представлены результаты исследований и разработок процессов сбора и обработки информации датчиков (СОИД) [1], реализация которых оказывает определяющее влияние на технико-экономические характеристики ИМКС. Основное внимание уделяется проблемам организации процессов СОИД, аппаратная поддержка которых позволяет строить ИМКС, наиболее полно удовлетворяющие поставленным требованиям.

В названии «системы сбора и обработки информации датчиков» сделан акцент на содержании реализуемых процессов. Процессы рассматриваются как некоторые последовательности действий, устанавливающие порядок решения задач сбора и обработки с принятой степенью детализации.

Состав и объем задач определяются целевой функцией системы и использованным методом ее реализации.

В обобщенном виде схема решения задач СОИД представляется в ярусной форме. На нижнем первом ярусе решаются задачи  $Z_1 = \{Z_{1d} \ (d = \overline{1, D})\}$  аналоговой обработки (АО) сигналов датчиков физических величин и аналого-цифровых преобразований (АЦП). К более высокому второму ярусу отнесены задачи  $Z_2 = \{Z_{2d} \ (d = \overline{1, D})\}$  первичной цифровой обработки (ПЦО), сформированных на первом ярусе числовых значений сигналов  $D$ -датчиков. На третьем ярусе расположены задачи первого уровня

вторичной цифровой обработки (2ВЦО) группы  $Z_3 = \{Z_{3d} \ (d = \overline{1, D})\}$ , которую составляют задачи измерений значений сигналов в физических единицах, определений состояний физических величин и их оценок и т.д. На верхнем, четвертом ярусе решаются задачи второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО) –  $Z_4$ . К ним относятся задачи:

- ◆ концентрации входных данных, в том числе сортировки и сохранения результатов первого уровня вторичной цифровой обработки и др.;
- ◆ вычисления траекторий изменения состояния, оценок текущего и прогнозируемого состояний локального объекта, сигналы переменных которого обрабатываются в ИМКС;
- ◆ формирования информационного объекта и отправки его на более высокий уровень информационной микрокомпьютерной системы.

Объем и вычислительная сложность задач  $Z_4$  определяются целевой функцией, реализуемой ИМКС.

В простейшем случае на четвертом ярусе решаются задачи сортировки и концентрации результатов обработки на третьем ярусе, формирования информационного объекта и организации его отправки внешним абонентам.

Проблемная ориентация (целевая функция) отражается в архитектуре системы СОИД и в содержании задач обработки, прежде всего, в наличии/отсутствии органов управления, соответствующих интерфейсов и каналов связи, а также программ формирования управляющих воздействий.

Для того, чтобы погрешность наблюдения определялась преимущественно погрешностью датчика, т.е.

$$\varepsilon_H \approx K_{МК} \varepsilon_{Дv}, \quad (1)$$

необходимо выполнение соотношений

$$\varepsilon_{vс} \ll \varepsilon_{Дv}, \quad (2)$$

и

$$\varepsilon_{МК} \ll K_{МК} \varepsilon_{Дv}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{Дv}$  – трансформированная через устройство сопряжения среднеквадратическая погрешность датчика,  $K_{vс}$  – коэффициент трансформирования через устройство сопряжения и, соответственно  $K_{МК}$  – микрокомпьютера [2].

Существенное влияние на характеристики ИМКС оказывает организация сбора информации аналоговых датчиков. На практике широко используется циклическая организация, в соответствии с которой в каждом цикле по показанию счетчика адреса (номера) датчика  $CTd=d$  аналоговый коммутатор (мультиплексор) выбирает сигнал датчика  $d$  за время  $T_{AK}$ . После аналоговой обработки в течение  $T_{AC}$  сигнал оцифровывается и полученное данное сохраняется. Затем изменяется адрес датчика  $CTd = CTd + 1$  и начинается новый цикл.

Начало опроса и преобразования первого датчика  $d=1$  привязывается к моменту времени  $t_i$ , идентифицирующему начало шага времени задач СОИД. Процедура сбора завершается после  $d = D$  цикла.

В точке  $t_i$  определяется значение только первого аналогового сигнала. Значения остальных сигналов формируются со сдвигами по времени для точек

$$t_{id} = t_i + (T_{AC} + T_{AK}) (d - 1) \quad (d = \overline{1, D}). \quad (4)$$

В результате в ИМКС вместо числовых данных  $\bar{u}_d(t_i) \ (d = \overline{1, D})$  используются в вычислениях числовые данные  $\bar{u}_d(t_{id})$ , сформированные в точках  $t_{id}$  (4). По сравнению с данными в точке  $t_i$  они содержат погрешности организации сбора

$$\Delta u_{di} = |\bar{u}_d(t_i) - \bar{u}_d(t_{id})| \quad (d = \overline{1, D}).$$

Когда функция  $u_d(t)$  не имеет точек разрыва, для оценки относительных погрешностей можно воспользоваться формулой

$$\delta u_d = 0,01(d-1)[T_{AK} + T_{AЦ}] u'_{max} \% \quad (5)$$

Например, при сборе значений одинаковых сигналов  $u = \sin \alpha t$ , у которых  $f_{dmax}=100$  Гц, и затратах времени на одно преобразование  $(T_{AK}+T_{AЦ})=1,1 T_{AЦ}=5,5$  мкс, рассчитанные по формуле

$$\delta u_d = 200\pi f_{dmax}(d-1) T_{AЦ} \% \quad (d = 2,4,8,16),$$

относительные погрешности составят  $\delta u_2 = 0,345 \%$ ,  $\delta u_4 = 1,035 \%$ ,  $\delta u_8 = 2,4 \%$ ,  $\delta u_{16} = 5,2 \%$ .

Современная микроконтроллерная база позволяет добиться выполнения условия (2) с высокой точностью при реализации на первом ярусе циклического сбора информации нескольких датчиков (рис.1). Например, условие (2) выполняется в случае, когда организуется циклический сбор значений до  $D=4$  аналоговых сигналов переменного тока, максимальная частота  $f_{dmax}$  которых не превышает 1 Гц и погрешность сбора составляет 0,01 %. Однако уже с увеличением частоты  $f_{dmax}$  до 5 Гц и более организация циклического сбора таких сигналов не приемлема, так как погрешность сбора 0,01 % обеспечивается только при независимой оцифровке сигнала каждого датчика (рис. 2).

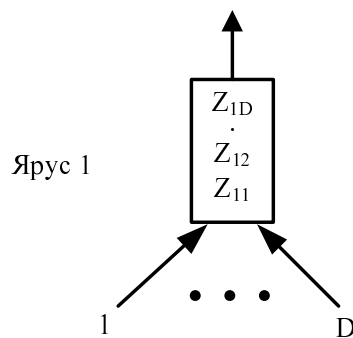


Рис. 1. Схема оцифровки и последовательного (циклического) сбора на первом ярусе

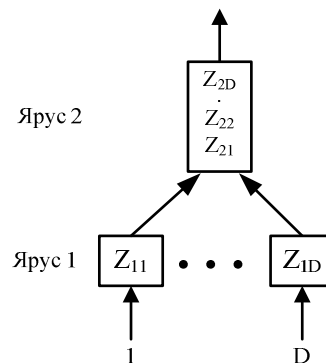


Рис. 2. Схема параллельной оцифровки на первом ярусе

Таким образом, частота  $f_{dmax}$  сигналов и необходимость обеспечения погрешности  $\delta u_{Dmax}$  ограничивают количество датчиков  $D$ , для сбора информации которых используется циклический способ (рис. 3).

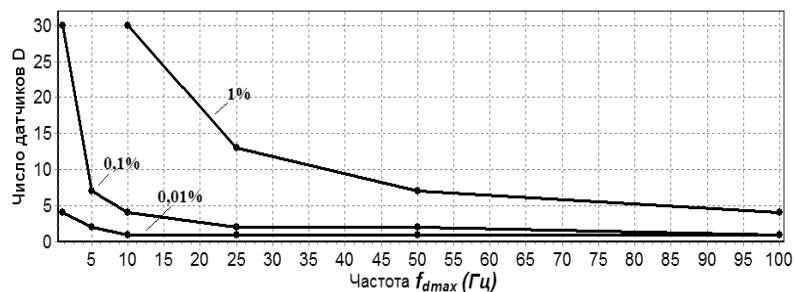


Рис. 3. Зависимости количества датчиков  $D$  от максимальной частоты сигналов

Чем больше допустимая погрешность  $\delta u_{Dmax}$ , тем для большего количества сигналов  $D$ , имеющих более высокую максимальную частоту  $f_{umax}$ , применим циклический способ сбора информации.

При правильном выборе способа организации сбора информации датчиков основное влияние на выполнение условий (2), (3) может оказать динамическая погрешность, которая зависит от времени обработки информации датчиков. В свою очередь это время во многом определяется реализуемой в ИМКС схемой процесса организации обработки.

Наиболее экономичные и в то же время потенциально наименее производительные распределенные ИМКС строятся при организации в них последовательной схемы процесса решения задач СОИД [3].

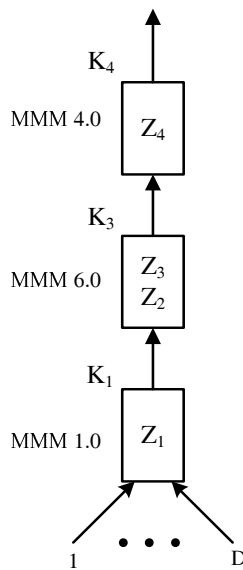


Рис. 4. Схема S1

Распределенная последовательная ИМКС может быть построена на основе 4-х типов информационных микропроцессорных модулей (ИММ), специализированных на решение задач 1–4:

- 1) ИММ 1.0 аналоговой обработки, аналого-цифровых преобразований и сохранения значений  $D$  сигналов ( $D \geq 1$ ) датчиков физических величин (задачи  $Z_{1d}$  ( $d = \overline{1, D}$ ) яруса 1);
- 2) ИММ 2.0 формирования достоверных значений сигналов датчиков (задачи  $Z_{2d}$  ( $d = \overline{1, D}$ ) яруса 2);
- 3) ИММ 3.0 измерений физических величин, определений и оценок их состояний (задачи  $Z_{3d}$  ( $d = \overline{1, D}$ ) яруса 3);
- 4) ИММ 4.0 определений и оценок состояний объекта наблюдения (задачи  $Z_4$  яруса 4).

В результате соединений этих модулей межмодульными сетевыми каналами  $K_1, K_2, K_3$  строится версия S1 последовательной распределенной системы СОИД, схема которой приведена на рис. 4.

Время решения задач  $Z_1 - Z_4$  от момента считывания значений сигналов в начале  $t_i$  шага дискретизации  $T_i$  до момента выдачи результатов вычислений на входе сетевого канала  $K_4$  в момент окончания шага дискретизации  $t_{i+1}$  составляет

$$T_{S1} = \sum_{j=1}^4 T_{Zj} + \sum_{j=1}^3 T_{Kj}. \quad (6)$$

Первая сумма определяет затраты времени на решение задач СОИД на всех ярусах. Величина этих затрат зависит от количества датчиков  $D$ , вычислительной сложности решаемых задач и производительности используемых модулей ИММ1.0 – ИММ4.0.

На передаче данных в сетевых каналах  $K_j$  ( $j = \overline{1, 4}$ ) учтены во второй сумме (1). Для сокращения этих потерь используются различные подходы к повышению скорости межмодульного обмена данными. Наиболее радикальным решением является исключение какого-либо сетевого канала из последовательной схемы S1 (рис. 4). С этой целью используются ИММ, специализированные на решение допустимых совокупностей задач, принадлежащих различным ярусам.

Такие ИММ создаются для решения задач, принадлежащих группам:

- 1) пар ярусов [Я1, Я2], [Я2, Я3], [Я3, Я4];
- 2) трех ярусов [Я1, Я2, Я3], [Я2, Я3, Я4];
- 3) четырех ярусов [Я1, Я2, Я3, Я4].

Благодаря сокращению до минимума количества сетевых каналов распределенные ИМКС, построенные по схемам S1.1 (рис. 5), S1.2 (рис. 6), обеспечивают более высокую производительность и сохраняют способность органично вписываться в габаритные объекты.

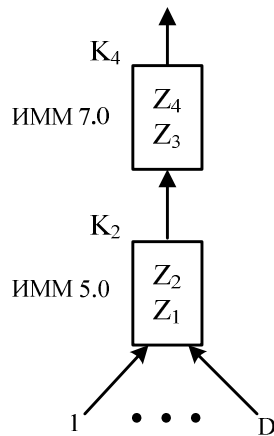


Рис. 5. Схема S 1.1

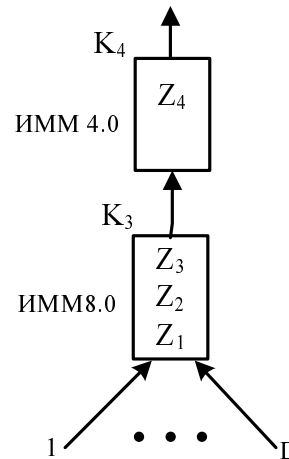


Рис. 6. Схема S 1.2

Одной из принципиальных особенностей последовательной схемы S1 является низкая производительность и ограниченные возможности, реализуемые в рамках ИМКС, так как затраты времени на обработку определяются количеством задач  $D$ , решаемых последовательно на ярусах 1–3, а для решения задач  $Z4$  может потребоваться микрокомпьютер, который в настоящее время, например, учитывая технико-экономические ограничения, не целесообразно вводить в состав ИМКС.

Высокопроизводительные ИМКС строятся по параллельно-последовательным схемам, в которых осуществляется различная степень распараллеливания решения задач 1–3 ярусов. Для оценки возможностей повышения производительности сравним время решения задач СОИД в ИМКС, построенных по последовательной схеме S1 (рис. 4) и параллельно-последовательной схеме S2 [4] (рис. 7).

В параллельно-последовательной схеме S2 (рис. 7) реализуются

$$G = \frac{D}{n} \quad (7)$$

ветвей, в каждой из которых обрабатывается информация  $n$  датчиков. На каждом ярусе  $j$  вошедшие в  $g$  группу ( $g = 1, 2, \dots, G$ ) задачи  $Z_{jd}$  ( $d = [(g-1)n+1, (g-1)n+2, \dots, gn]$ ) решаются последовательно.

Результаты решений передаются с яруса  $j$  на  $(j+1)$ -ярус  $G$  пакетами. Каждый пакет ярусов 1, 2 содержит минимум  $N_j = n$  ( $j=1, 2$ ) данных. Формируемые на ярусе 3 пакеты включают  $N_3 \geq n$  данных.

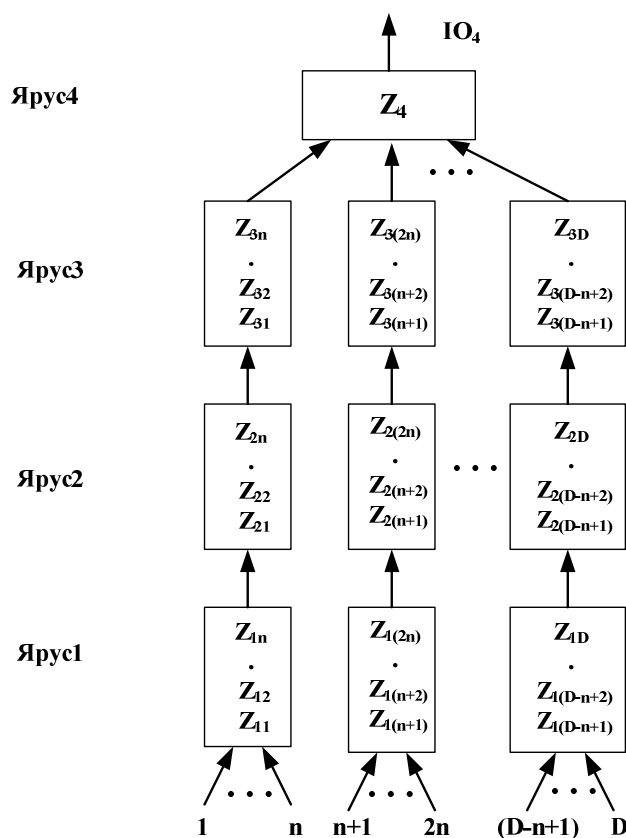


Рис. 7. Параллельно-последовательная схема S2

На величину отношения

$$W = \frac{T_{S1}}{T_{S2}}, \tag{8}$$

характеризующего повышение производительности ИМКС при переходе от последовательной схемы S1 к параллельно-последовательной схеме S2, оказывает влияние соотношение между затратами времени на решение задач  $T_{Zj}$  на ярусах  $j = \overline{1,3}$  и времени  $T_{MKj}$  передачи их результатов на соответствующие ярусы ко времени  $T_{Z4}$  решения задачи  $Z_4$  четвертого яруса.

Для доказательства этого представим (8) в виде

$$W = \frac{\sum_{j=1}^3 (T_{Zj} + T_{MKj}) + T_{Z4}}{\frac{1}{G} \sum_{j=1}^3 (T_{Zj} + T_{MKj}) + T_{Z4}}. \tag{9}$$

Введя коэффициент

$$k = \frac{\sum_{j=1}^3 (T_{Zj} + T_{MKj})}{T_{Z4}}, \tag{10}$$

после подстановки его в (9) и преобразований получим

$$W = \frac{(1+k)G}{(G+k)}. \quad (11)$$

Задавая  $k=0,1; 0,5; 1; 5; 10; 15$ , рассчитаем  $W$  для числа ветвей  $G=2, 4, 8, 12, 16$ . Результаты расчетов представлены графиками, приведенными на рис. 8.

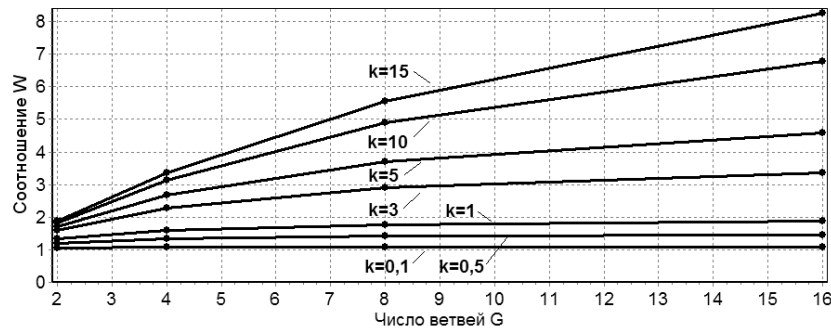


Рис. 8. Зависимости производительности ИМКС для различных  $k$  (12), решающих задачи СОИД по параллельно-последовательной схеме

Из графиков следует, что применение параллельно-последовательной схемы процессов решения задач СОИД обеспечивает более чем двукратный рост производительности ИМКС, когда отношение  $k$  (10) существенно больше единицы, а число ветвей  $G \geq 1$ .

На практике это возможно не только тогда, когда вычислительная сложность задачи  $Z_4$  меньше вычислительной сложности задач младших ярусов, но и когда для решения задачи  $Z_4$  используется более производительный микрокомпьютер, чем микрокомпьютеры, решающие задачи младших ярусов.

Возможны модификации представленных схем организации процессов решения задач СОИД. Их разновидности определяются использованием на ярусах, 1, 2, 3 различных уровней распараллеливания решений задач  $Z_{jd}$ . Но такие модификации не ставят под сомнение целесообразность использования в высокопроизводительных распределенных ИМКС различных форм распараллеливания решения задач обработки информации датчиков.

Таким образом, при создании распределенных ИМКС, способных обеспечить минимальную динамическую погрешность, необходимо обосновано выбирать схему сбора информации датчиков и соответствующую технико-экономическим требованиям схему организации решения задач СОИД.

Следует заметить, что принятые решения не устраняют, а сокращают динамическую погрешность, порождаемую затратами времени на обработку. В то же время они не влияют на динамические погрешности, вносимые используемыми численными методами, например, методами фильтрации сигналов, сглаживания и др., которые вместо результатов в точке  $t_i$  рассчитываются результаты для точки  $t_{i,j}$   $j \in \{1, 2, \dots, J\}$ , где  $j$  принимает одно из значений  $\{1, 2, \dots, J\}$ .

Для компенсации таких погрешностей необходимо использовать специальные математические методы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
2. Пьявченко О.Н., Клевцов С.И. Интеллектуальные микропроцессорные модули сбора и обработки информации. – Берлин: LAP LAMBERT, 2011. – 102 с.



3. *Пьявченко О.Н.* Модули и конфигурации последовательных распределенных систем сбора и обработки информации датчиков. Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'11»: В 4 т. – М.: Физматлит, 2011. – Т. 1. – С. 541-549.
4. *Пьявченко О.Н.* Распределение системы сбора и обработки информации датчиков динамических объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 5 (118). – С. 9-15.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Белевцев.

**Пьявченко Олег Николаевич** – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: kafmps@tppark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328052; кафедра микропроцессорных систем; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор,

**Pyavchenko Oleg Nikolaevich** – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kafmps@tppark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328052; the department of microprocessor systems; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 615.47, 004.75

**С.Ю. Байдаров, Е.А. Мокров, А.С. Митрохин**

#### **ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*Своевременная медицинская диагностика играет ведущую роль в успехе лечения заболеваний. Но правильная диагностика возможна только при полноценной информационной поддержке принимаемых решений. Предлагается комплексная распределенная организация информационного обеспечения, в центре которой – лечащий врач, имеющий широкий доступ к информационным ресурсам, интеллектуальным экспертным системам, экспертам-специалистам, а также имеющий оперативные и достоверные данные о состоянии пациента, в том числе находящегося вне клиники. Предложение обосновано растущими возможностями и снижением стоимости информационно-коммуникационных технологий, программных приложений и сетевого оборудования. Однако для обеспечения полноценной работы системы необходимо создание нового медицинского оборудования, имеющего возможность удаленного использования, в том числе беспроводных медицинских сенсоров.*

*Медицинская диагностика; распределенные информационные системы; экспертные системы; беспроводные датчики.*

**S.U. Baydarov, E.A. Mokrov, A.S. Mitrohin**

#### **THE ORGANIZATION AND HARDWARE-SOFTWARE MAINTENANCE OF THE DISTRIBUTED SYSTEMS OF INFORMATION SUPPORT OF MEDICAL DIAGNOSTICS**

*Early medical diagnosis plays a major role in the successful treatment of diseases. The correct diagnosis is possible only when the full information decision support. Provides for an integrated, distributed information management organization, centered on the doctor who has access to information resources, intellectual, expert systems, experts and specialists. He also has a rapid and reliable data on the status of the patient, including those located outside the clinic. The pro-*