

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ

к.т.н. О.И. Богатов, к.т.н. Д.П. Лабенко, И.И. Прокопенко, В.В. Богатова
(представил д.т.н., проф. Г.А. Поляков)

Обоснованы выбор показателей эффективности ВС при реализации параллельных алгоритмов, позволяющих произвести количественную оценку эффективности параллельной реализации алгоритмов АСУ на заданных ВС и выдача рекомендации о целесообразности параллельной реализации алгоритмов АСУ на основе оптимального сочетания методов параллельной обработки информации.

Постановка проблемы. Одним из основных путей совершенствования технических характеристик (ТХ) вычислительных систем (ВС) реального масштаба времени является рациональное использование параллельной обработки информации [1], оценки эффективности их применения для различных алгоритмов АСУ, разработки методов формализованного синтеза параллельных ВС для АСУ, создание средств автоматизации проектирования параллельных ВС с заданными ТХ, обеспечивающими повышение тактико-технических характеристик (ТТХ) АСУ. Решение этой задачи требует, в первую очередь, выбора показателей эффективности ВС при реализации параллельных алгоритмов, с одной стороны, и анализа потенциальной эффективности известных методов параллельной обработки информации, с другой стороны.

Анализ литературы. Современные вычислительные средства АСУ и реализуемый ими комплекс алгоритмов (КА) имеют характерные черты сложных систем и к ним применяются основные положения системного анализа [2, 3]. Качество функционирования сложных систем обычно оценивают с помощью показателей (критериев) эффективности, которые служат для определения степени приспособленности системы к выполнению поставленных перед ней задач [4]. Для сложных систем трудно выделить (или построить) единый критерий эффективности [2, 3, 4, 5]. Поэтому на практике применяется совокупность показателей (называемых частными), которые зависят от целевого назначения, тактико-технических и технико-эксплуатационных параметров системы [6]. В результате доминирующими становятся один или несколько критериев, к кото-

рым предъявляются следующие основные требования [2]:

- критерий должен численно характеризовать степень выполнения основной целевой функции системы, наиболее важной для данного анализа и синтеза;

- критерий должен обеспечивать возможность определения затрат, необходимых для достижения его различных значений, а также степени влияния на показатель качества различных внешних факторов;

- критерий должен быть по возможности простым по содержанию, хорошо измеряемым и иметь малую дисперсию, т.е. слабо зависеть от множества неконтролируемых факторов.

При этом общее количество частных критериев не должно быть велико.

Выбранные показатели должны способствовать решению системно-технических задач: *анализу* – определению численных значений показателей эффективности при заданных параметрах и ограничениях; *синтезу* – выбору оптимальной структуры, параметров системы, алгоритмов взаимодействия и др.

Поскольку выбранный показатель должен отражать основное назначение и область использования средства, то показатели эффективности процесса реализации алгоритмов определяются назначением и показателями АСУ в целом как системы более высокого порядка.

Цель статьи: выбор показателей эффективности ВС при реализации параллельных алгоритмов позволяющих:

- произвести количественную оценку эффективности параллельной реализации алгоритмов АСУ на заданных ВС;

- выдать рекомендации о целесообразности параллельной реализации алгоритмов АСУ на основе оптимального сочетания методов параллельной обработки информации.

Применительно к процессу реализации комплекса алгоритмов АСУ требование решения задач управления и обработки информации в масштабе реального времени означает обработку данных об обслуживаемых объектах в течение заданных директивных сроков, определяемых требованиями к АСУ и особенностями обслуживания объектов различных типов.

Обработка всех заявок на обслуживание объектов на заданном интервале реализации комплекса алгоритмов означает, что комплекс алгоритмов реализуем. Однако наличие необработанных заявок в общем случае, свидетельствует не о том, что система неработоспособна, а о том, что снижается качество обслуживания объектов (снижается эффективность реализации комплекса алгоритмов). Поэтому в качестве показателя эффективности процесса реализации КА примем взвешенную приоритетами различных заявок системы пропускную способность АСУ, т.е.

$$K_{\text{ка}} = \sum_{\theta \in \Theta_0} d(\theta) \cdot \sum_{v=1}^{N(\theta)} a_v^\theta \left/ \left(\sum_{\theta \in \Theta_0} d(\theta) \cdot N(\theta) \right) \right.,$$

где θ_0 – множество различных типов объектов, обслуживаемых системой, или различных типов заявок на обслуживание объектов соответствующих типов; $N(\theta)$ – число заявок типа θ , имеющих в системе на некотором интервале ее функционирования $T_{\text{зад}}$; $d(\theta)$ – приоритет заявки (объекта) типа θ ; значение a_v^θ определяется следующим образом:

$$a_v^\theta = \begin{cases} 1, & \text{при удовлетворении на рассматриваемом интервале заявки } v; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В данного выражении числитель определяет взвешенное приоритетами количество обработанных в АСУ заявок на заданном интервале функционирования $T_{\text{зад}}$, а знаменатель – взвешенное приоритетами общее количество заявок на заданном интервале функционирования $T_{\text{зад}}$, которые поступают в АСУ.

С содержательной точки зрения значение $K_{\text{ка}}$ характеризует степень соответствия КА и реализующих его ВС требованиям пропускной способности и показывает какую часть заявок "успевает" обработать АСУ на заданном временном интервале. Одним из основных путей повышения взвешенной приоритетами различных заявок системы пропускной способности АСУ является уменьшение времени реализации КА и увеличение ширины спектра обрабатываемой информации за счет использования методов параллельной обработки информации. Ширина спектра обрабатываемой информации при реализации КА определяет число заявок, которые система обработки может физически выполнить (безотносительно ко времени выполнения заявок) с учетом соответствия ширины спектра полосы пропускания реальной цифровой системы и ширины спектра обрабатываемой информации. В качестве стоимостного показателя эффективности процесса реализации КА будем использовать показатель экономичности системы $R(P)$ [6], определяемый как максимум целевой функции

$$R(P) = \sum_{P^p \in P} q^p \cdot \sum_{\mu=1}^{M(P^p)} R(P_\mu^p) \cdot b_\mu^p,$$

где $P = \{P^p\}$ – комплекс алгоритмов; P^p – частный алгоритм с номером p ($p = 1, 2, \dots, n_a$); P_μ^p – одна из конструктивных форм частного алгоритма P^p , представленного в параллельной форме; $M(P^p)$ – множество всех возможных

для частного алгоритма P^p конструктивных форм, каждая из которых гарантирует выполнение КА в реальном масштабе времени, имея показатель качества реализации, превышающий минимально допустимое значение; $R(P_\mu^p)$ – коэффициент эффективности распараллеливания, учитывающий снижение временных затрат за счет параллельной реализации частного алгоритма P^p , с одной стороны, и значения коэффициента использования оборудования, с другой стороны, и представляющий собой произведение коэффициента снижения временных затрат на коэффициент использования оборудования; q^p – вероятность реализации частного алгоритма с номером p .

В качестве системы ограничений выступают: $b_\mu^p = 1, 0$; $\sum_{\mu=1}^{M(P^p)} b_\mu^p = 1$.

С содержательной точки зрения $b_\mu^p = 1$ означает, что частный алгоритм с номером p представлен в составе КА μ -й конструктивной формой.

Задача максимизации целевой функции экономичности системы решается методами целочисленного линейного программирования.

В качестве частных показателей, характеризующих эффективность параллельной реализации КА обычно используются производительность вычислительных средств при реализации алгоритмов, достоверность реализации алгоритмов, точность результатов, время выполнения КА, цена эффективного быстрогодействия, помехозащищенность, стоимость однократной реализации КА, коэффициент загрузки аппаратуры, ширина спектра обрабатываемой информации при реализации КА [2, 3, 6, 7].

Одним из основных требований к ВС АСУ реального масштаба времени является необходимость обработки данных со скоростью протекания реальных процессов управления. Выполнение этого требования непосредственно связано с временем реализации алгоритмов. Поэтому в качестве одного из показателей, характеризующих эффективность монопараллельной реализации алгоритмов, целесообразно принять время выполнения алгоритма. Под монопараллельной реализацией алгоритма понимается его выполнение с использованием какого-либо одного метода параллельной обработки информации. Среднее время реализации КА определяется следующим соотношением:

$$\bar{T}(P) = \sum_{p=1}^{n_\alpha} q^p \cdot T(P^p) = \sum_{p=1}^{n_\alpha} q^p \cdot \sum_{\xi=1}^{n_\xi^p} q_{\xi}^p \cdot T^p(\xi),$$

где $P = \{P^\rho\}$ – комплекс алгоритмов; P^ρ – частный алгоритм с номером ρ ($\rho = 1, 2, \dots, n_\alpha$); q^ρ – вероятность реализации частного алгоритма с номером ρ ; $T(P^\rho)$ – время реализации частного алгоритма P^ρ ; n_ξ^ρ – число ветвей в частном алгоритме P^ρ ; q_ξ^ρ – вероятность реализации ξ -й ветви частного алгоритма P^ρ ; $T^\rho(\xi)$ – время реализации ξ -й ветви параллельного алгоритма P^ρ ; определяемое следующим образом:

$$T^\rho(\xi) = \max_{P_j^\rho \in P^{\rho(\xi)}} (t_j^H + t_j^O),$$

где $P^\rho = \{P_j^\rho\}$ – множество операторов частного алгоритма P^ρ ; $P^{\rho(\xi)}$ – множество операторов ξ -й ветви частного алгоритма P^ρ , t_j^H и t_j^O – момент начала и относительная временная глубина оператора P_j^ρ . Отметим, что рассмотренное соотношение обеспечивает возможность оценок по максимальному времени реализации КА. Для этого достаточно значения q_ξ^ρ и q^ρ положить равными единице для соответствующей ветви соответствующего частного алгоритма.

Среднее время реализации КА существенно влияет на пропускную способность и длительность цикла управления АСУ. При решении многих классов задач с помощью ВС (например, задачи первичной обработки радиолокационной информации, распознавания, обработки изображений и т.п.) одним из существенных требований является необходимость обработки широкополосных сигналов, содержащих подробную информацию о структуре и характеристиках исследуемых объектов. Поэтому в качестве одного из показателей, характеризующих эффективность реализации алгоритмов в АСУ, целесообразно принять ширину спектра обрабатываемой информации при выполнении КА.

Средняя ширина спектра обрабатываемой информации при монопараллельной реализации КА определяется соотношением:

$$\bar{F}(P) = \sum_{\rho=1}^{n_\alpha} q^\rho \cdot F(P^\rho),$$

где $P = \{P^\rho\}$ – комплекс алгоритмов; P^ρ – частный алгоритм с номером ρ ($\rho = 1, 2, \dots, n_\alpha$); q^ρ – вероятность реализации частного алгоритма с

номером ρ ; $F(P^\rho)$ – требуемая ширина спектра обрабатываемой информации при реализации частного алгоритма P^ρ . Средняя ширина спектра обрабатываемой информации влияет на пропускную способность и точностные характеристики (точность, разрешающая способность, вероятность правильного распознавания и прочие).

Введем в состав показателей эффективности реализации КА дисперсии времени выполнения $D[T(P)]$ и ширины спектра обрабатываемой информации $D[F(P)]$, характеризующие степень разброса конкретных значений $T(P)$ и $F(P)$ относительно их средних значений $\bar{T}(P)$ и $\bar{F}(P)$:

$$D[T(P)] = \sum_{\rho=1}^{n_\alpha} (T(P^\rho) - \bar{T}(P^\rho)) \cdot q^\rho; \quad D[F(P)] = \sum_{\rho=1}^{n_\alpha} (F(P^\rho) - \bar{F}(P^\rho)) \cdot q^\rho.$$

Конкретные значения времени реализации комплекса алгоритмов $T(P)$ и ширины спектра обрабатываемой информации $F(P)$ определяются по результатам моделирования процесса параллельной реализации КА вычислительными средствами АСУ. В ряде случаев необходимо уметь оценивать снижение временных затрат на выполнение КА и увеличение ширины спектра обрабатываемой информации, обеспечиваемое за счет перехода к монопараллельной реализации алгоритмов.

Коэффициент снижения временных затрат определяется следующим соотношением

$$\Delta T = \frac{T_{\text{посл}}(P) - T_{\text{пар}}(P)}{T_{\text{посл}}(P)},$$

где $T_{\text{посл}}(P)$ и $T_{\text{пар}}(P)$ – среднее время реализации КА соответственно при последовательной и параллельной его реализации.

Коэффициент увеличения ширины спектра обрабатываемых данных определяется следующим соотношением

$$\Delta F = \frac{F_{\text{пар}}(P) - F_{\text{посл}}(P)}{F_{\text{посл}}(P)}.$$

В этом соотношении $F_{\text{пар}}(P)$ и $F_{\text{посл}}(P)$ – средняя ширина спектра обрабатываемой информации соответственно при параллельной и последовательной реализации КА, определяемые шириной полосы пропускания элементной базы ВС. Введем показатели эффективности мультипараллельной реализации КА: время мультипараллельной реализации КА; коэффициент снижения временных затрат; ширина спектра обрабатываемой информации; коэффициент увеличения ширины спектра обрабатываемой информации. Под мультипара-

параллельной реализацией КА понимается выполнение данного КА с использованием совокупности методов параллельной обработки информации.

Время мультипараллельной реализации КА определяется соотношением:

$$T_{МП} = \max_{\rho} T_{\rho}^{МП} = \max_{\rho} (T_{\rho} \cdot \Delta T_{\rho}^{МП}) = \max_{\rho} \left(T_{\rho} \cdot \prod_{i=N_M} \Delta T_{\rho,i}^{\alpha_i^{\rho}} \right),$$

где $\rho = \overline{1, n_A}$ – номер алгоритма, $T_{\rho}^{МП}$ – время мультипараллельной реализации частного алгоритма с номером ρ , $\Delta T_{\rho}^{МП}$ – значение коэффициента снижения временных затрат при переходе к мультипараллельной реализации частного алгоритма с номером ρ , $\Delta T_{\rho,i}^{\alpha_i^{\rho}}$ – значение коэффициента снижения временных затрат при переходе к монопараллельной реализации ρ -го частного алгоритма с использованием i -го метода параллельной обработки, значение α_i^{ρ} определяется следующим соотношением:

$$\alpha_i^{\rho} = \begin{cases} 1, & \text{при использовании } i\text{-го метода параллелизма} \\ & \text{монопараллельной реализации } \rho\text{-го КА;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Коэффициент снижения временных затрат при мультипараллельной реализации КА определяется соотношением:

$$\Delta T_{МП} = \frac{T_{\text{посл}} - T_{МП}}{T_{\text{посл}}} = \left(\sum_{\rho=1}^{n_A} T_{\rho} - T_{МП} \right) / \sum_{\rho=1}^{n_A} T_{\rho}.$$

Ширина спектра обрабатываемой информации при мультипараллельной реализации КА определяется следующим соотношением

$$F_{МП} = \max_{\rho} F_{\rho}^{МП} = \max_{\rho} (F_{\rho} \cdot \Delta F_{\rho}^{МП}) = \max_{\rho} \left(F_{\rho} \cdot \prod_{i \in N_M} \Delta F_{\rho,i}^{\alpha_i^{\rho}} \right),$$

где $F_{\rho}^{МП}$ – ширина спектра обрабатываемой информации при мультипараллельной реализации ρ -го частного алгоритма, F_{ρ} – ширина спектра обрабатываемой информации при последовательной реализации ρ -го алгоритма, $\Delta F_{\rho}^{МП}$ – значение коэффициента увеличения ширины спектра обрабатываемой информации при переходе от последовательной к мультипараллельной реализации ρ -го частного алгоритма, $\Delta F_{\rho,i}^{\alpha_i^{\rho}}$ – значение коэффициента увеличения спектра обрабатываемой информации при переходе к монопараллельной реализации ρ -го алгоритма на основе i -го метода параллелизма.

Коэффициент увеличения ширины спектра обрабатываемой информации при мультипараллельной реализации КА определяется соотношением:

$$\Delta F_{\text{МП}} = \frac{F_{\text{МП}} - F_{\text{посл}}}{F_{\text{посл}}} = \left(\min_{\rho \in n_A} F_{\rho} - F_{\text{посл}} \right) / F_{\text{посл}}.$$

Для систем реального масштаба времени, ввиду их сложности, большее значение имеют также показатели, характеризующие экономическую сторону использования цифровых вычислительных средств для моно- или мультипараллельной реализации КА. Показателем, наиболее полно характеризующим экономическую сторону цифровой обработки данных, является степень использования стоимости аппаратно-программных средств при реализации определенных алгоритмов. Средний стоимостный коэффициент использования оборудования (включая в него и стоимость программных средств) при реализации КА определяется как

$$C(P) = \sum_{\rho=1}^{n_{\alpha}} q^{\rho} \cdot C(P^{\rho}) = \sum_{\rho=1}^{n_{\alpha}} q^{\rho} \cdot \sum_{\xi=1}^{n_{\xi}^{\rho}} q_{\xi}^{\rho} \cdot C^{\rho}(\xi),$$

где $C(P^{\rho})$ – стоимостный коэффициент использования оборудования при реализации частного алгоритма P^{ρ} ; $C^{\rho}(\xi)$ – стоимостной коэффициент использования оборудования при реализации множества $P^{\rho}(\xi)$ операторов ξ -й ветви алгоритма P^{ρ} .

Для определения $C^{\rho}(\xi)$ обозначим через υ количество различных типов процессоров (имеющих одинаковую систему команд, одинаковое время выполнения команд одного типа и одинаковую стоимость). Обозначим через $N = \{n_d\} (d = \overline{1, \upsilon})$ множество количеств n процессоров типа n_d в составе МПВК, примем, что $\theta = \{\theta_d\}$ – множество различных типов θ_i операторов, которые могут выполняться с помощью МПВК ($\theta_d = \{\theta_{\ell}\}$, где $\ell = \overline{1, k_d}$), обозначим через $K = \{K_d\}$ множество количеств K_d различных типов операторов, которые могут выполняться одновременно процессором типа d , введем также множество $\tilde{K} = \{K_{d\ell}\} (d = \overline{1, \upsilon} \text{ и } \ell = \overline{1, k_d})$ количеств $K_{d\ell}$ операторов типа θ_i , которые могут выполняться процессором типа d , и множество $T = \{t_{d\ell}\} (d = \overline{1, \upsilon} \text{ и } \ell = \overline{1, k_d})$ значений времени выполнения операторов различных типов $\theta_i \in \theta$ процессорами различных типов, используем также множество $\Delta = \{\Delta_d\} (d = \overline{1, \upsilon})$, в котором $\Delta_d = \{\delta_{dj\ell}\} (j = \overline{1, n_d} \text{ и } \ell = \overline{1, k_d})$, где $\delta_{dj\ell}$ – выраженная в условных единицах стоимость части оборудования j -го

процессора типа d при реализации одного оператора типа θ_i на единичном временном интервале, и множество $H^P(\xi) = \{H_d^{\xi P}(t)\}$ ($d = \overline{1, v}$), где $H_d^{\xi P}(t) = \{H_{dj\ell}^{\xi P}(t)\}$ ($j = \overline{1, n_d}$ и $\ell = \overline{1, k_d}$) и $H_{dj\ell}^{\xi P}(t)$ – множество операторов типа θ_i , реализуемых процессором с номером j d -го типа при выполнении множества $P^P(\xi)$ операторов в дискретный момент времени t .

Фактическая стоимость использования оборудования процессором типа d и всех процессоров различных типов определяется при реализации множества $P^P(\xi)$ следующими соотношениями соответственно:

$$\sum_{j=1}^{n_d} \sum_{t=1}^{T_\xi^P} \sum_{\ell=1}^{k_d} H_{dj\ell}^{\xi P}(t) \cdot \delta_{dj\ell}; \quad \sum_{d=1}^v \sum_{j=1}^{n_d} \sum_{t=1}^{T_\xi^P} \sum_{\ell=1}^{k_d} H_{dj\ell}^{\xi P}(t) \cdot \delta_{dj\ell}.$$

Полную стоимость использования оборудования при реализации множества $P^P(\xi)$ операторов можно определить при 100%-й загрузке всех процессоров как

$$\tilde{T}^P(\xi) \cdot \sum_{d=1}^v \sum_{j=1}^{n_d} \sum_{\ell=1}^{k_d} K_{d\ell}(t) \cdot \delta_{dj\ell},$$

где $\tilde{T}^P(\xi)$ – число интервалов дискретности в ξ -й ветви.

Тогда стоимостной коэффициент использования оборудования средств цифровой обработки при реализации множества $P^P(\xi)$ операторов можно определить как соотношение фактической стоимости к полной стоимости использования оборудования при 100%-й загрузке всех процессоров

$$C^P(\xi) = \left(\sum_{d=1}^v \sum_{j=1}^{n_d} \sum_{t=1}^{T_\xi^P} \sum_{\ell=1}^{k_d} H_{dj\ell}^{\xi P}(t) \cdot \delta \right) / \left(\tilde{T}^P(\xi) \cdot \sum_{d=1}^v \sum_{j=1}^{n_d} \sum_{\ell=1}^{k_d} K_{d\ell}(t) \cdot \delta_{dj\ell} \right).$$

Используемые в этом соотношении значения v и элементов множеств N , θ , K , \tilde{K} и T представляют собой значения структурных характеристик средств цифровой обработки. Множество $H_{dj\ell}^{\xi P}(t)$ определяется результатами моделирования процесса параллельного выполнения операторов множества $P^P(\xi)$ путем непосредственного подсчета. Для определения значений элементов $\delta_{dj\ell}$ можно использовать известную методику определения цены эффективного быстрогодействия при известном

времени, по истечении которого необходима замена цифровых средств вследствие морального старения, при известной общей стоимости вычислительных средств (складывающейся из затрат на проектирование, производство и эксплуатацию). Подразделив эти затраты на затраты, связанные с выполнением всех операций, и затраты, связанные с реализацией определенных операций, можно рассчитать значения элементов множества Δ . Отметим, что стоимость оборудования может быть выражена и в условных единицах (например, в количестве микросхем и т.п.).

В тех случаях, когда определение значений элементов множества Δ является сложной задачей, можно использовать коэффициент временной загрузки оборудования. Выражение для коэффициента $S(P)$ временной загрузки оборудования при реализации параллельных алгоритмов можно получить из рассмотренного соотношения, если положить $\delta_{dj\ell} = \tau$ (где τ – интервал дискретности, в котором выражается время реализации операторов).

Таким образом, стоимостной коэффициент использования оборудования при реализации частного алгоритма P^p учитывает количество оборудования и степень его загрузки. Количество оборудования определяется для различных методов параллельной обработки значениями ΔT , ΔF или сразу обоими.

Важное значение имеет также задача определения количества процессоров, использование которого при мультипараллельной реализации алгоритма обеспечивает достаточно большое увеличение ширины спектра обрабатываемой информации (либо заданное увеличение ширины спектра обрабатываемой информации за счет параллельной реализации алгоритма), с одной стороны, и возможно более высокое значение коэффициента использования оборудования (либо достижение заданного значения этого коэффициента), с другой стороны. В этих случаях можно использовать в качестве производного показателя коэффициент эффективного увеличения ширины спектра обрабатываемой информации, представляющий собой произведение коэффициента увеличения ширины спектра обрабатываемой информации на коэффициент использования оборудования (либо коэффициент временной загрузки оборудования)

$$G(P) = \Delta F \cdot C(P).$$

Выводы. Оценка высокоэффективных параллельных ВС для АСУ должна базироваться на результатах оценки эффективности применения различных методов параллельной обработки информации и выборе конкретных комбинаций методов параллелизма для реализации конкретных алгоритмов АСУ. Для количественной оценки эффективности параллельной реализации алгоритмов АСУ целесообразно использование следующих показателей:

а) общие системные показатели – взвешенная приоритетами различных заявок пропускная способность АСУ и стоимостной показатель эффективности реализации комплекса алгоритмов АСУ;

б) основные частные показатели – среднее время реализации КА, средняя ширина спектра обрабатываемой информации, коэффициент снижения временных затрат реализации КА, коэффициент увеличения ширины спектра обрабатываемой информации, стоимостной коэффициент использования оборудования или коэффициент временной загрузки оборудования, коэффициент эффективности распараллеливания и коэффициент эффективности увеличения ширины спектра обрабатываемой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов О.И., Волокитина Е.Г., Поляков Г.А. Методы параллельной обработки информации и повышение тактико-технических характеристик систем реального времени. – ИТС ХВУ № 15. – X., 1998.
2. Липаев В.В. Качество программного обеспечения. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 263 с.
3. Системное проектирование сложных программных средств для информационных систем. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 224 с.
4. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
5. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. – М.: Нолидж, 1999. – 320 с.
6. Поляков Г.А., Умрихин Ю.Д. Автоматизация проектирования сложных цифровых систем коммутации и управления. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
7. Безкоровайный М.М., Костогрызов А.И., Львов В.М. Инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем «КОК». Руководство системного аналитика. Серия "Потенциал "оборонки" – возрождению России" – М.: СИНТЕГ. 2000. – 116 с.

Поступила 16.04.2003

БОГАТОВ Олег Игоревич, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., начальник НИО научного центра при ХВУ. В 1983 окончил Киевское ВИРТУ. Область научных интересов – параллельная обработка информации, САПР.

ЛАБЕНКО Дмитрий Петрович, канд. техн. наук, доцент, начальник НИЛ научного центра при ХВУ. В 1991 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – автоматизированные системы управления и обработки информации.

ПРОКОПЕНКО Игорь Иванович, нач. отдела ИВЦ ХВУ. В 1987 году окончил ПВУРЭ. Область научных интересов – аппаратно-программный контроль вычислительных комплексов.

БОГАТОВА Валентина Вячеславовна, инженер-программист ИВЦ ХВУ. В 1985 году окончила Киевский ТИПП. Область научных интересов – параллельная обработка информации.