

УДК 004.315

М.В. ЛОБАЧЕВ<sup>1</sup>, М. САИД МОУАФАК МОНТАХА<sup>2</sup>, И.Г. МИЛЕЙКО<sup>2</sup>, А.В. ДРОЗД<sup>2</sup><sup>1</sup>Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Украина<sup>2</sup>Одесский национальный политехнический университет, Украина

## ВЫБОР ВЕРНОЙ ВЕРСИИ В СИЛЬНОСВЯЗАННЫХ ВЕРСИОННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены особенности сильносвязанных версионных компьютерных систем, которые строятся на основе однородных компьютерных систем и защищены от отказов по общей причине при использовании версий с наименьшей отличительной частью. Показана обратная зависимость затрат оборудования сильносвязанной версионной системы от количества ее версий, что позволяет строить такие системы проще диверсных компьютерных систем. Рассмотрены вопросы использования методов рабочего диагностирования для выбора верной версии. Проведен анализ возможностей рабочего диагностирования и соответствия понятия достоверности его методов применительно к задаче корректной оценки верной и неверной версии. Показано, что версия должна оцениваться как неверная при вычислении недостоверных результатов, которые выявляются методами рабочего диагностирования обнаружением существенных ошибок, вызываемых как отказами, так и сбоями. Выполнен обзор методов рабочего диагностирования, обеспечивающих высокую достоверность контроля приближенных результатов с использованием естественной информационной и временной избыточности.

**Ключевые слова:** многоверсионная технология, сильносвязанные версионные компьютерные системы, методы рабочего диагностирования, обработка приближенных данных.

### Введение

Многоверсионные компьютерные системы (МКС) имеют более одной версии решения вычислительной задачи и направлены на повышение надежности, обеспечивая защиту от отказа по общей причине [1].

Под версией понимают средства решения вычислительной задачи. При повышенных требованиях к производительности, к таким средствам, прежде всего, относятся аппаратные, и поэтому построение МКС связано с большими затратами оборудования.

Для противодействия отказу по общей причине стремятся обеспечить независимую реализацию отдельных версий, обуславливая прямую зависимость затрат оборудования МКС от количества ее версий. Отсюда следует вывод о наименее затратных диверсных системах, т.е. состоящих только из двух версий [2]. Очевидно, что диверсные компьютерные системы исчерпывают возможности дальнейшего упрощения МКС в рамках приведенных выше рассуждений.

В данной работе предлагается рассмотреть класс сильносвязанных версионных систем (СВС), направленных на получение наиболее экономичных решений путем использования версий с наименьшей отличительной частью, при которой сохраняется возможность противодействия отказу по общей причине [3]. Такой подход позволяет строить МКС проще диверсных систем.

### 1. Особенности СВС

Согласно известному определению к СВС относятся такие МКС, для которых исключение средств выполнения какой-либо одной версии исключает возможности выполнения любой другой версии [4]. Сильносвязанные версионные системы строятся на базе однородных компьютерных систем (ОКС), т.е. составляемых из однородных элементов. Эти элементы объединяются в укрупненные однородные элементы – секции.

Пусть исходная ОКС содержит  $R$  элементов, объединенных в  $K$  секций. Для построения МКС в состав ОКС вводится  $L$  дополнительных секций, где  $L$  – количество ожидаемых одновременных отказов. При исключении каких-либо  $L$  секций образуется версия ОКС. Общее количество таких версий определяется как:

$$Z = C_M^K = C_M^L, \quad (1)$$

где  $M = K + L$  – количество секций в МКС.

Секции, дополняющие версию до СВС, составляют дополнение этой версии.

Согласно определению СВС, каждая версия имеет больше секций, чем ее дополнение.

Для противостояния отказам СВС должна включать в себя две компоненты:

- множество версий, среди которых есть хотя бы одна верная, т.е. неподверженная отказам;
- средства выбора верной версии.

В наиболее вероятном случае одного отказа для создания СВС в исходную ОКС вводится одна дополнительная секция, обеспечивая  $Z = K + 1$  версий. При этом минимальное количество версий – три – достигается путем добавления к двухсекционной ОКС третьей секции, что определяет наибольшее усложнение ОКС в части однородных элементов – в 1,5 раза. С увеличением количества секций исходной ОКС, с одной стороны, растет количество версий, а с другой стороны – дополнительная секция становится меньшей частью СВС.

Таким образом, с ростом количества версий СВС упрощается относительно исходной ОКС, т.е. действует обратная зависимость количества оборудования секций и составляющих их однородных элементов от числа версий.

Верная версия может выбираться параллельно во времени или путем ее последовательного поиска перебором версий.

С увеличением количества версий усложняется задача выбора верной версии, и соответственно усложняются используемые для этого средства. При последовательном поиске верной версии растет также время ее выбора.

Для оценки сложности СВС принимается предположение о прямой пропорциональной зависимости сложности средств выбора верной версии от количества версий с коэффициентом пропорциональности  $\lambda$ . В этом случае минимальная сложность СВС достигается при  $K = \sqrt{R/\lambda}$  и составляет  $Q_{\text{СВС мин}} = R(1 + 1/K)^2$ , что в  $2(1 - 2K/(K + 1))^2$  раз проще диверсной системы. С увеличением  $K$  упрощение стремится к двукратному [4].

Условие получения СВС минимальной сложности обеспечивается соответствующим разбиением ОКС на секции, т.е. по параметру  $K$ .

Выбор верной версии осуществляется по методам рабочего диагностирования с использованием разработанных по ним средств контроля, которые должны оценить версию, идентифицируя ее как верную или нет.

## 2. Диагностирование СВС для выбора верной версии

Корректный выбор верной версии требует использования достоверных методов рабочего диагностирования для оценки версий СВС.

Однако, что такое верная версия и когда она перестает ею быть? В чем заключается достоверность методов рабочего диагностирования и насколько она отвечает требованиям идентификации верной версии?

Согласно теории самопроверяемых схем, рабочее диагностирование направлено на оценку ис-

правности цифровой схемы, а к методам рабочего диагностирования предъявляется требование обнаружения неисправности схемы по первой ошибке результата, вычисляемого на ее выходах [5].

Теория самопроверяемых схем сложилась под влиянием модели точных данных, которая все числовые данные, независимо от их настоящей природы, относит к точным, т.е. целым, нумерующим элементы множеств [6].

Методы рабочего диагностирования, такие как контроль по паритету и модулю, разработанные в рамках этой теории для случая точных данных, получили наибольшее распространение и стали традиционными [7, 8].

Следует отметить, что по первой ошибке обнаруживаются, прежде всего, наиболее часто встречающиеся неисправности, т.е. сбои, что целесообразно только с позиции оценки достоверности результата.

Однако частный случай точных данных уже давно не отвечает уровню развития компьютерных систем, направленных, как правило, на обработку результатов измерений, т.е. приближенных данных.

Особенностью результатов обработки приближенных данных является наличие не только верных разрядов (каковыми являются все разряды точного числа), но также и младших неверных разрядов, веса которых находятся ниже уровня абсолютной погрешности вычислений.

Результат является достоверным, если сохраняется заданное количество старших верных разрядов [9].

Ошибки, вызываемые неисправностями в старших верных и младших неверных разрядах, являются соответственно существенными и несущественными для правильной оценки приближенного результата как недостоверного. Причем существенные ошибки происходят значительно реже несущественных ошибок [10].

В условиях обработки приближенных данных рабочее диагностирование демонстрирует свою истинную направленность, которая состоит в оценке достоверности результатов, вычисляемых в процессе выполнения основных операций на фактических данных [11].

Достоверность результатов оценивается отношением количества успешно решенных задач или полученных достоверных результатов к их общему количеству [12].

Правомерное игнорирование несущественных ошибок в значительной мере корректирует оценку достоверности приближенных результатов, смещая ее в сторону увеличения, поскольку результат с несущественной ошибкой, будучи ошибочным, является достоверным [13].

Для корректного выбора верной версии необходимо определиться с тем, при каких условиях версия перестает быть верной: при любых ошибках результата или только существенных, вызванных только отказами или любыми неисправностями, включая наиболее вероятные – сбои.

При несущественной ошибке версия содержит неисправность, при которой вычисляет достоверные результаты, т.е. справляется с выполнением поставленной вычислительной задачи, сохраняя ресурс для противостояния неисправностям, вызывающим в других версиях существенные ошибки.

Обнаружение несущественной ошибки ведет к отбраковке достоверного результата и приводит в действие средства выбора верной версии.

При параллельном поиске верной версии это отвлекает ресурс, который мог быть использован для устранения существенной ошибки в другой версии.

При последовательном поиске верной версии возможно также изменение веса ошибки и ее смещение в область старших верных разрядов. В этом случае несущественная ошибка становится существенной, и вычисление недостоверного результата является только следствием обнаружения несущественных ошибок.

Кроме того, переход к следующей версии может активировать неисправность, ранее исключенную из вычислений.

Все названное ограничивает возможности СВС по противодействию неисправностям. Поэтому направленность рабочего диагностирования на обнаружение только существенных ошибок приближенных результатов соответствует требованиям выбора верной версии СВС. При этом достоверность методов рабочего диагностирования определяется как достоверность контроля результатов из условия обнаружения существенных ошибок и игнорирования несущественных ошибок, что описывается следующей формулой [14]:

$$D = P_O P_C + (1 - P_O) (1 - P_C), \quad (2)$$

где  $P_O$  – вероятность того, что происшедшая ошибка является существенной;

$P_C$  – вероятность обнаружения ошибки.

Традиционные методы рабочего диагностирования имеют низкую достоверность контроля приближенных результатов, используя высокую обнаруживающую способность на выявление наиболее часто встречающихся несущественных ошибок и брака достоверные результаты.

Повышение достоверности методов рабочего диагностирования путем лучшего различения существенных и несущественных ошибок содействует эффективному функционированию СВС за счет корректного выбора верной версии.

Следующим вопросом является тип неисправности – отказ или сбой и отказ, по которым следует идентифицировать неверную версию.

При параллельном поиске верной версии отключается ее неверное дополнение. В этом случае ставится задача не только исключить неисправность, что имеет отношение только к отказам, поскольку сбой – кратковременная самоустраняющаяся неисправность. Кроме того, необходимо получить достоверный результат, т.е. найти верную версию, не подверженную неисправности, включая сбой, если она может вызывать существенные ошибки. Следовательно, необходимо противодействовать и отказу и сбою, в случае генерации существенных ошибок.

Из формулы (2) следует, что при вероятности  $P_C > 0,5$  и ее увеличении достоверность  $D > 0,5$  и также растет в случае использования методов рабочего диагностирования с высокой вероятностью обнаружения ошибки  $P_O > 0,5$ .

Для форматов с плавающей точкой одинарной точности разработаны такие методы рабочего диагностирования с контролем по модулю и паритету для параллельных арифметических сдвигателей и сумматоров, матричных умножителей и делителей [15 – 18]. Они основаны на использовании сокращенных арифметических операций, которые позволяют почти вдвое уменьшить количество оборудования и время вычислений в одноктактных устройствах с матричным параллелизмом без потери одинарной точности форматов с плавающей точкой. Одновременно в этих операциях повышается почти вдвое вероятность  $P_C$  и соответственно растет достоверность методов рабочего диагностирования за счет лучшего обнаружения существенных ошибок [19].

При последовательном выборе верной версии ее поиск инициируется в случае идентификации текущей версии как неверной. Такой поиск может выполняться при остановленном потоке входных данных, т.е. с потерей производительности СВС, или на новых входных данных с потерей достоверности вычисляемых результатов. В обоих случаях на поиск верной версии отводится определенное количество тактов СВС и на промежуточных неверных версиях могут вычисляться недостоверные результаты. Пропуск сбоев увеличивает время поиска верной версии, сохраняя количество результатов, вычисляемых с ошибкой, т.е. без дополнительного снижения достоверности результатов.

Из формулы (2) следует, что при вероятности  $P_C < 0,5$  и ее снижении достоверность контроля приближенных результатов  $D > 0,5$  и увеличивается в случае использования методов рабочего диагностирования с низкой вероятностью обнаружения ошибки  $P_O < 0,5$ .

Такие методы рабочего диагностирования разработаны на основе использования естественной информационной избыточности, присущей результатам арифметических операций в форме запрещенных значений [20, 21].

Для обработки приближенных данных ключевой операцией является умножение, которое содержится в самой записи числа в форматах с плавающей точкой, а, следовательно, и во всех действиях, выполняемых над мантиссами чисел [22].

Результат двуместной операции умножения имеет запрещенные значения, поскольку при одинаковом количестве  $2^{2n}$  входных слов, составленных из двух  $n$ -разрядных операндов, и выходных слов ( $2n$ -разрядного произведения) несколькими входным словам, например, полученным переменной мест сомножителей, соответствует одно выходное слово. Наличие запрещенных слов в произведении наследуется другим действиям над мантиссами. Использование естественной информационной избыточности позволяет строить простые схемы контроля.

Информационная избыточность может быть создана искусственно при ограничении множества входных слов, на которых выполняется контроль результата. Такой подход упрощает операцию и проверку ее результата, а также снижает вероятность обнаружения ошибки  $P_C$ , повышая достоверность  $D$ . Методы рабочего диагностирования с контролем по упрощенной операции позволяют проверять результаты сокращенных операций как результаты полных операций по модулю, накладывая соответствующие ограничения на входные слова [23].

Еще одна группа методов рабочего диагностирования обеспечивает высокую достоверность  $D$  контроля приближенных результатов без особых ограничений на вероятность  $P_C$ , благодаря высокой вероятности обнаружения существенных ошибок и низкой вероятности обнаружения несущественных ошибок. Такое различие существенных и несущественных ошибок достигается при оценке величины результата и его ошибки. К таким методам относятся логарифмический контроль, контроль по неравенствам и контроль по сегментам.

Логарифмический контроль учитывает естественную информационную избыточность форматов данных с фиксированной и плавающей точкой. Такая избыточность состоит в неполном использовании разрядной сетки в полях этих форматов. Данный метод контроля обеспечивает логарифмическую оценку приближенного результата, точность которой повышается в направлении от младших неверных разрядов к старшим верным разрядам, увеличивая вероятность обнаружения существенных ошибок по сравнению с несущественными ошибками [24, 25].

Контроль по неравенствам оценивает результат в сравнении с его с нижней и верхней границами, которые вычисляются по операндам с использованием простых линейных зависимостей. При этом существенные ошибки обнаруживаются на большем множестве входных слов по сравнению с несущественными ошибками, также повышая вероятность обнаружения существенных ошибок [26].

Метод контроля по сегментам учитывает естественную временную избыточность в форме пассивного запаса времени контроля, который позволяет обнаруживать ошибку в течение некоторого времени. Использование этого времени ведет к снижению вероятности обнаружения существенной ошибки для сегментов результата. Метод разбивает результат на сегменты разрядов и обеспечивает для них вероятности обнаружения ошибки, определяемые величиной естественной информационной избыточности [27].

## Заключение

Сильносвязанные версионные системы решают задачу построения экономичных МКС с защитой от отказа, по общей причине при обратной зависимости затрат оборудования однородных элементов от количества версий, что позволяет получать решения проще диверсных компьютерных систем.

Один из наиболее значимых вопросов при построении СВС состоит в использовании методов рабочего диагностирования для выбора верной версии. Для успешного решения этой задачи необходимо обеспечивать высокую достоверность контроля результатов, обнаруживая существенные ошибки, вызываемые как отказами, так и сбоями.

Для СВС, выполняющих обработку приближенных данных, высокая достоверность рабочего диагностирования достигается с учетом особенностей организации и функционирования современных вычислительных устройств, используя естественную информационную и временную избыточность, присущую результатам и условиям выполнения арифметических операций.

К методам рабочего диагностирования, отвечающим этим требованиям, относится контроль по паритету и модулю сокращенных операций, обеспечивающий высокую достоверность контроля приближенных результатов при высокой вероятности обнаружения существенных ошибок.

Контроль по запрещенным значениям результатов арифметических операций и контроль по упрощенной операции достигают высоких значений достоверности снижением вероятности обнаружения несущественных ошибок.

Логарифмический контроль, контроль по неравенствам и контроль по сегментам повышают достоверность контроля приближенных результатов, различая существенные и несущественные ошибки соответственно повышением и понижением вероятности их обнаружения.

### Литература

1. Харченко В.С. Теоретические основы дефектоустойчивых цифровых систем с версионной избыточностью / В.С.Харченко. – ХВУ, 1996. – 506 с.
2. Харченко В.С. Многоверсионные системы, технологии / В.С. Харченко, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко, Н.В. Нечипорук. – Х.: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьковский авиационный ин-т», 2003. – 486 с.
3. Лобачев М. В. Особенности сильносвязанных версионных компьютерных систем / М.В. Лобачев, А.В. Дрозд // Тр. десятой междунаро. научно-практической конф. “Современные информ. и электрон. технологии”. – Одесса, 2009. – С. 185.
4. Лобачев М. В. Сильносвязанные версионные компьютерные системы / М.В. Лобачев, С.Г. Антощук, А. Русинский, А. В. Дрозд // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2009. – № 6. – С. 32-35.
5. Anderson D. Design of Totally Self-Checking Circuits for n-out-of-m Codes / D. Anderson, G. Metze // IEEE Transactions on Computers, 1973. – Vol. C-22. – P. 263-269.
6. Дрозд А. В. Рабочее диагностирование в обработке приближенных данных / А.В. Дрозд // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 6 (25). – С. 135-140.
7. Saposhnikov V. Self-dual parity checking – a new method for on-line testing / V. Saposhnikov, M. Dmitriev, M. Goessel and others // Proc. IEEE VLSI Test Symposium. – 1996. – P. 162-168.
8. Noufal I. A. CAD Framework for Generating Self-Checking Multipliers Based on Residue Codes / I. Noufal, M. Nicolaidis // Proc. of IEEE Design, Automation and Test in Europe, Munich, Germany. – 1999. – P. 122-129.
9. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – М.: Физматгиз, 1966. – 664 с.
10. Drozd A. On-line testing of computing circuits at approximate data processing / A. Drozd // Радиоелектроніка та інформатика. – 2003. – № 3. – С. 113-116.
11. Drozd A. The problem of on-line testing methods in approximate data processing / A. Drozd, M. Lobachev, J. Drozd // Proc. 12<sup>th</sup> IEEE International On-Line Testing Symposium. – Como (Italy). – 2006. – P. 251-256.
12. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств / Н.С. Щербаков. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
13. Мілейко І.Г. Метод оцінки інформаційної надійності в інформаційно-вимірjuвальних системах / І.Г. Мілейко // Холодильна техніка і технологія. – 2009. – № 4. – С. 75-77.
14. Дрозд А.В. Нетрадиционный взгляд на рабочее диагностирование вычислительных устройств / А.В. Дрозд // Проблемы управления. – 2008. – № 2. – С. 48-56.
15. Drozd A. Parity prediction method for on-line testing A Barrel-shifter / A. Drozd, S. Antoshchuk, A. Rucinski, A. Martinuk // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium. – Lviv, 2008. – P. 208-213.
16. Drozd A. Efficient On-line Testing Method for Floating-Point Adder / A. Drozd, M. Lobachev // Proc. Design, Automation and Test in Europe. Conference and Exhibition. – Munich, 2001. – P. 307-311.
17. Дрозд А. В. Контроль по модулю однотактного умножителя с сокращением выполнением операции / А. В. Дрозд // Электронное моделирование. – Том 20. – 1998. – № 3. – С. 90-98.
18. Drozd A. V. Efficient On-line Testing Method for a Floating-Point Iterative Array Divider / A. V. Drozd, M. V. Lobachev, J. V. Drozd // Proc. Design, Automation and Test in Europe Conf., Paris, 2002. – P. 1127.
19. Дрозд О.В. Контроль за модулем обчислювальних пристроїв / О.В. Дрозд. – Одеса: АО Бахва, 2002. – 144 с.
20. Drozd A. V. Efficient Method of Failure Detection in Iterative Array Multiplier. / A. V. Drozd // Proc. Design, Automation and Test in Europe. Conference and Exhibition, Paris, 2000. – P. 764.
21. Drozd A. Increase in reliability of the on-line testing methods using features of approximate data processing / A. Drozd, S. Antoshchuk, A. Rucinski, J. Drozd // Proc. 1<sup>st</sup> International Conference on Waterside Security. – Copenhagen, 2008. – P. 137-140.
22. Goldberg D. What Every Computer Scientist Should Know About Floating-Point Arithmetic / D. Goldberg // ACM Computer Surveys. – 1991. – Vol. 23, No 1. – P. 5-18.
23. Саїд М. Робоче діагностування матричного поділювача мантис за спрощеною операцією / М. Саїд // Холодильна техніка і технологія. – 2009. – № 4. – С. 72-74.
24. Drozd A. The logarithmic checking method for on-line testing of computing circuits for processing of the approximated data / A. Drozd, R. Al-Azzeh, J. Drozd, M. Lobachev // Proc. of Euromicro Symposium on Digital System Design. – Rennes, 2004. – P. 416-413.
25. Зуда М. Логарифмический контроль операции арифметического сдвига в устройствах с плавающей точкой / М. Зуда. // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2001. – Вып. 2 (14). – С. 93-95.
26. Огинская Е.В. Достоверность контроля результатов по неравенствам в устройстве возведения в квадрат / Е.В. Огинская // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2004. – Вып. 1 (21). – С. 99-102.
27. Колахи Р. Использование посегментного контроля в вычислительных устройствах с матричным параллелизмом / Р. Колахи // Холодильна техніка і технологія. – 2007. – № 1. – С. 102-104.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., директор інститута С.Г. Антошук, Одеський національний політехнічний університет, Одеса.

### ВИБІР ВІРНОЇ ВЕРСІЇ В СИЛЬНОЗВ'ЯЗАНИХ ВЕРСІЙНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

*М.В. Лобачев, М. Саїд Моуафак Монтаха, І.Г. Мілейко, О.В. Дрозд*

Розглянуто особливості сильнозв'язаних версійних комп'ютерних систем, які будуються на основі однорідних комп'ютерних систем та захищені від відмов за загальною причиною при використанні версій з найменшою відрізняючою частиною. Показано зворотну залежність витрат обладнання сильнозв'язаної версійної комп'ютерної системи від кількості її версій, що дозволяє будувати такі системи простіше диверсних комп'ютерних систем. Розглянуто питання використання методів робочого діагностування для вибору вірної версії. Проведено аналіз можливостей робочого діагностування та відповідності поняття достовірності його методів щодо задачі коректної оцінки вірної та невірної версії. Показано, що версія повинна оцінюватися як невірна при обчисленні недостовірних результатів, які виявляються методами робочого діагностування пошуком суттєвих помилок, що викликаються як відмовами, так і збоями. Виконано огляд методів робочого діагностування, що забезпечують високу достовірність контролю наближених результатів з використанням природної інформаційної та часової надмірності.

**Ключові слова:** багатоверсійна технологія, сильнозв'язані версійні комп'ютерні системи, методи робочого діагностування, обробка наближених даних.

### CHOICE OF THE TRUE VERSION IN STRONGLY CONNECTED VERSION COMPUTER SYSTEMS

*M. V. Lobachev, M. Said Mouafak Montaha, I. H. Mileyko, A. V. Drozd*

Features of the strongly connected version computer systems, which are under construction on the basis of regular computer systems and are protected from failures for the common reason by using versions with the least distinctive part are considered. Inverse relationship of the equipment expenses in the strongly connected version system from amount of its versions that allows building such systems easier two-version computer systems is shown. The problem of use of on-line testing methods for a choice of the true version is considered. Opportunities of on-line testing and conformity of reliability concept for its methods concerning to a problem of a correct estimation of the true and incorrect version is analyzed. It is shown, that the version should be estimated incorrect at calculation of non-reliable results, which are found out by on-line testing methods detecting the essential errors caused both permanent and transient faults. The review of on-line testing methods providing high reliability in checking of the approximated results with use of natural information and time redundancy is executed.

**Key words:** multi-version technology, strongly connected version computer systems, on-line testing methods, approximate data processing.

**Лобачев Михайл Вікторович** – канд. техн. наук, доцент, зам директора інститута інноваційного послєдипломного образования Одеського національного університета ім. І.І. Мечникова, Одеса, Україна, e-mail: lobachev@ukr.net.

**Монтаха Маюел Саїд Моуафак** – аспірант кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж Одеського національного політехнічного університета, Одеса, Україна, e-mail: mawel\_m\_s@hotmail.com.

**Мілейко Ігорь Генрихович** – старший преподаватель кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж Одеського національного політехнічного університета, Одеса, Україна, e-mail: mig3@ukr.net.

**Дрозд Александр Валентинович** – д-р техн. наук, професор кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж Одеського національного політехнічного університета, Одеса, Україна, e-mail: drozd@ukr.net.