

УДК 004.315

## Повышение достоверности контроля цифровых компонентов в системах критического применения

А. В. Дрозд<sup>1</sup>, М. М. Аль-Даби<sup>1</sup>, М. А. Дрозд<sup>1</sup>, И. Н. Николенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина

<sup>2</sup> Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одеса, 65039, Украина

✉ e-mail: drozd@ukr.net

*Рассмотрены возможности повышения достоверности методов рабочего диагностирования в контроле результатов, вычисляемых в цифровых компонентах информационных управляющих систем критического применения, широко используемых в энергетике, включая криогенные приложения. Предложен подход к повышению достоверности контроля результатов на основе различения существенных и несущественных ошибок, вызываемых в приближенном результате неисправностями цифровых схем с повышенной функциональной контролепригодностью. Для операций умножения и деления мантисс предложены модели результата, являющиеся его верхней и нижней границами. На множестве моделей результата определены и оценены методы контроля по неравенствам, обеспечивающие различение существенных и несущественных ошибок для матричных умножителей и делителей с функциональной контролепригодностью, повышенной сокращением матричных структур.*

**Ключевые слова:** Система критического применения; Матричный умножитель и делитель; Контролепригодность схемы; Рабочее диагностирование; Модель результата; Контроль мантисс по неравенствам; Достоверность контроля результатов.

## Підвищення достовірності контролю цифрових компонентів в системах критичного застосування

О. В. Дрозд<sup>1</sup>, М. М. Аль-Даби<sup>1</sup>, М. О. Дрозд<sup>1</sup>, І. М. Ніколенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна

<sup>2</sup> Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна

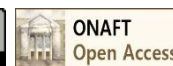
*Розглянуто можливості підвищення достовірності методів робочого діагностування в контролі результатів, що обчислюються в цифрових компонентах інформаційних управляючих систем критичного застосування, які поширені в енергетиці, включаючи криогенні використання. Запропоновано підхід до підвищення достовірності контролю результатів на основі розрізнення суттєвих і несуттєвих помилок, що викликаються в наближеному результаті несправностями цифрових схем з підвищеною функціональною контролепридатністю. Для операцій множення та ділення мантис запропоновано моделі результату, що є його верхньою та нижньою границями. На множині моделей результату визначено та оцінено методи контролю за нерівностями, що забезпечують розрізнення суттєвих і несуттєвих помилок для матричних помножувачів і поділювачів з функціональною контролепридатністю, яка підвищується скороченням матричних структур.*

**Ключові слова:** Системи критичного застосування; Матричний помножувач і поділювач; Контролепридатність схем; Робоче діагностування; Модель результату; Контроль мантис за нерівностями; Достовірність контролю результатів.

© The Author(s) 2017. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



### 1 Введение

Информационные управляющие системы критического применения играют важную роль в обеспечении функциональной безопасности объектов повышенного риска, получивших широкое распространение в энергетике, включая криогенные приложения [1].

В мониторинге функциональной безопасности систем критического применения и объектов управления ключевое место занимают средства оперативной оценки обстановки, использующие методы рабочего диагностирования, контролирующие достоверность результатов, вычисляемых в цифровых компонентах [2].

Следует отметить, что системы критического

применения являются развитием компьютерных систем общего назначения, что проявляется в диверсификации рабочего режима на нормальный и аварийный. Двухрежимность систем критического применения оказывает на рабочее диагностирование существенное влияние, в частности, направляя в этих режимах контроль достоверности результатов на достижение различных целей.

В нормальном режиме достоверность результатов оценивается для выявления и устранения неисправностей. В аварийном режиме – для контроля и поддержания функциональности.

Важно также различать тип неисправностей – сбой, т.е. кратковременные самоустраниющиеся неисправности, и отказы, проявляющие постоянный характер нарушения функционирования. Системы критического применения строятся с использованием отказоустойчивых компонентов, которые, в действительности, являются устойчивыми к сбоям, поскольку, отразив один сбой, готовы отражать следующие. Отказ снижает отказоустойчивость компонента, если он был рассчитан на несколько отказов, или уже не позволяет парировать следующие отказы. Следует также отметить, что и сбой, и отказ может вызывать ошибки, которые являются существенными и несущественными для достоверности результатов.

В нормальном режиме целесообразно выявлять отказы, вызывающие существенные ошибки, с целью устранения таких отказов. В аварийном режиме важно игнорировать неисправности, вызывающие несущественные ошибки, поскольку обнаружение каждой ошибки отвлекает часть ресурсов от решения основной задачи – предотвращения аварии или, если предотвратить аварию не удается, то снижения потерь от ее последствий. В случае несущественной ошибки ресурсы необоснованно отвлекаются в ущерб решению основной задачи.

Описанные особенности использования рабочего диагностирования в системах критического применения указывают на целесообразность использования методов, различающих существенные и несущественные ошибки [3].

К таким методам рабочего диагностирования относится контроль по неравенствам, который оценивает достоверность результатов путем их сравнения с верхней и нижней границами [4].

Следует также отметить, что возможности рабочего диагностирования ограничиваются в системах критического применения двухрежимной функциональной контролепригодностью, которая проявляется в обнаружении потенциально опасных точек цифровых схем. К ним относятся точки, в которых в нормальном режиме могут накапливаться скрытые неисправности, снижающие отказоустойчивость цифровых схем при переходе системы в аварийный режим [5].

Одной из основных причин ограниченной контролепригодности цифровых схем является их матричный параллелизм. Сокращение матричных структур при сокращенном выполнении арифметических операций обеспечивает существенное повышение двухрежимной функциональной контролепригодности [6, 7].

В таблице 1 показаны результаты моделирования:

значения  $C_C$  и  $C_T$  двухрежимной функциональной контролепригодности и показатель повышения  $\Delta C = (C_T - C_C) / C_C$  для 12-разрядного матричного умножителя, выполняющего соответственно полную и сокращенную операции.

Таблица 1 – Результаты моделирования

$n$	1	2	3	4	5
$C_C, \%$	23,5	30,3	35,7	38,2	44,7
$C_T, \%$	41,8	45,5	47,5	49,2	51,8
$\Delta C, \%$	78	50	33	29	16

Контролепригодность оценивается как дополнение до единицы процента потенциально опасных точек схемы.

Данная работа нацелена на повышение достоверности рабочего диагностирования путем развития методов контроля по неравенствам, различающих существенные и несущественные ошибки, для матричных умножителей и делителей мантисс с повышенной двухрежимной функциональной контролепригодностью. Методы основываются на предложенных моделях результата, служащих ему верхней и нижней границами.

## 2 Модели и методы контроля мантисс по неравенствам

Можно выделить две группы моделей результата: базовые, непосредственно получаемые из ограничений на нормализованные данные в стандартах [8, 9], и комбинированные, т.е. построенные на основе базовых моделей.

Нормализованное число ограничивает мантиссу  $M$  в пределах:  $1 \leq M < 2$ . Мантиссы  $M_1$  и  $M_2$  нормализованных сомножителей определяют произведение  $V = M_1 M_2$ , для которого может быть получено множество базовых моделей нижних и верхних границ результата.

Базовые модели нижних границ результата  $L_1 = M_1 + M_2 - 1$  и  $L_2 = 2M_1 + 2M_2 - 4$  выводятся соответственно из неравенств  $(M_1 - 1)(M_2 - 1) \geq 0$  и  $(M_1 - 2)(M_2 - 2) > 0$ , которые получаются путем сочетания ограничений, накладываемых на мантиссы нормализованных сомножителей.

Базовые модели верхних границ результата  $H_1 = 2M_1 + M_2 - 1$  и  $H_2 = M_1 + 2M_2 - 4$  аналогичным образом следуют соответственно из неравенств  $(M_1 - 1)(M_2 - 2) \leq 0$  и  $(M_1 - 2)(M_2 - 2) \leq 0$ .

На основе полученных базовых моделей строятся комбинированные модели с учетом их взаимной независимости, т.е. ни одна из базовых моделей не является более близкой к результату на всех значениях сомножителей.

Комбинированные модели имеют следующий вид:  $L_{1,2} = \max(L_1, L_2)$  и  $H_{1,2} = \min(H_1, H_2)$ . Они отличаются от базовых моделей лучшим приближением к результату.

Среднеквадратичное отклонение моделей от результата, выраженное в процентах, приведено в табл. 2 для различной разрядности мантисс  $n$ .

Таблица 2 – Среднеквадратичное отклонение моделей

$n$	8	9	10	11	12	13	14	15
$L_1, L_2, \%$	7,7	7,6	7,6	7,4	7,1	6,7	6,1	5,3
$L_{1-2}, \%$	1,9	1,8	1,6	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0
$H_1, H_2, \%$	7,4	7,4	7,3	7,2	7,0	6,6	5,8	4,7
$H_{1-2}, \%$	1,7	1,7	1,7	1,1	1,1	0,0	0,0	0,0

Таблица 2 показывает совпадение между собой среднеквадратичного отклонения от результата базовых моделей  $L_1$  и  $L_2$ ,  $H_1$  и  $H_2$ , а также его снижение с переходом от базовых моделей к комбинированным и ростом разрядности мантисс  $n$ .

Контроль по неравенствам использует пару моделей, поэтому полученное множество моделей: 3 нижних и 3 верхних, определяет 9 методов контроля по неравенствам с различными возможностями.

Каждый из методов может быть реализован путем одновременного сравнения результата с его границами или последовательным сравнением результата с текущей границей, которая поочередно принимает значения нижней и верхней границы. Чередувание границ обеспечивается с использованием разряда управления  $C$ , принимающего на них противоположные значения. Первый вариант является более быстродействующим, а второй вариант – более простым.

В качестве примера рассматривается пара базовых моделей  $L_1$  и  $H_1$ .

По первому варианту выполняется одновременное вычисление нижней  $L_1$  и верхней  $H_1$  границ результата по следующим формулам:

$$L_1 = (A\{2, \dots, n\} + B\{2, \dots, n\}) * 2;$$

$$H_1 = 2A\{2, \dots, n\} + B\{1, \dots, n\}.$$

Нижняя граница произведения определяется удвоенной суммой двоичных кодов дробных частей  $A\{2, \dots, n\}$  и  $B\{2, \dots, n\}$  мантисс сомножителей. Исключение из мантисс целой части, т.е. единицы, равносильно вычитанию константы 4 в их удвоенной сумме. Удвоение суммы выполняется перенумерацией разрядов суммы со сдвигом на одну позицию в сторону целой части.

Верхняя граница произведения определяется суммой удвоенного двоичного кода дробной части мантиссы  $A\{2, \dots, n\}$  множимого и двоичного кода  $B\{2, \dots, n\}$  мантиссы множителя. Исключение из удвоенной мантиссы целой части, т.е. единицы, равносильно вычитанию константы 2.

Одновременное сравнение результата с его границами определяет разряды кода контроля  $K_L = \text{cmp}(V \leq L_1)$  и  $K_H = \text{cmp}(V > H_1)$ . Каждый из разрядов принимает единичное значение при обнаружении ошибки и нулевое значение в противном случае.

Модели  $L_1$  и  $H_1$  описывают нижнюю и верхнюю границы результата по формулам, которые аналогичны в использовании суммы мантисс сомножителей и их разности с константой. Это позволяет совместить вычисления при определении текущей границы произведения и его сравнения с текущей границей по второму варианту.

Контрольные вычисления используют разряд управления  $C$  и формируют текущую границу  $LH$

такую, что  $LH = L_1$  при  $C = 1$  и  $LH = H_1$  при  $C = 0$ .

Для формирования текущей границы вычисляется двоичный код

$$B_S\{1, \dots, n\} = \text{shl}(B\{1, \dots, n\}, C),$$

принимающий значения  $B_S\{1, \dots, n\} = B\{1, \dots, n\}$  и  $B_S\{1, \dots, n\} = 2B\{2, \dots, n\}$  соответственно при  $C = 0$  и  $C = 1$ . Случай  $C = 1$  обеспечивается сдвигом двоичного кода мантиссы множителя  $B\{1, \dots, n\}$  на одну позицию влево с потерей старшего разряда и записью нулевого значения на место младшего разряда.

Разряды кода контроля  $K\{1\} = C$  и  $K\{2\} = \text{cmp}(V \leq V_{LH})$  принимают одинаковые значения  $00_2$  или  $11_2$  при обнаружении соответственно положительной или отрицательной ошибки и взаимно инверсные значения  $01_2$  или  $10_2$  в противном случае при проверке соответственно верхней или нижней границы произведения.

Вероятности обнаружения ошибок оцениваются по дополнению к единице, исходя из условий их пропуска

Обнаружение отрицательной ошибки  $E_N$  на основе модели  $L_1$  нарушается при выполнении неравенства  $V - E_N > L_1$ , которое после подстановки значения нижней границы  $L_1$  и записи произведения через сомножители преобразуется к следующему виду:  $A B - 2A - 2B + 4 - E_N > 0$ .

Из него и ограничений на мантиссу нормализованного числа следует неравенство

$$1 \leq A < 2 - E_N / (2 - B),$$

определяющее объем диапазона изменения множимого  $A$  разностью его верхней и нижней границы:  $\Delta A = 1 - E_N / (2 - B)$ .

Из условия  $0 < \Delta A < 1$  следуют ограничения на величину ошибки и изменение множителя:  $E_N < 2 - B$ ;  $1 \leq B < 2 - E_N$ .

Тогда вероятность  $P_{L1}$  обнаружения ошибки  $E_N$  определяется следующим образом:

$$P_{L1} = 1 - \int_1^{2-E_N} (1 - E_N / (2 - B)) dB,$$

что приводится к виду  $P_{L1} = E_N (1 - \ln E_N)$ .

Обнаружение положительной ошибки  $E_P$  на основе модели  $H_1$  нарушается при выполнении неравенства  $V + E_P \leq H_1$ , которое после подстановки значения верхней границы  $H_1$  и записи произведения через сомножители преобразуется к следующему виду:  $A B - 2A - B + 2 + E_P \leq 0$ .

Из него и ограничений на мантиссу нормализованного числа следует неравенство

$$1 \leq B < 2 - E_P / (A - 1),$$

определяющее объем диапазона изменения множителя  $B$ :  $\Delta B = 1 - E_P / (A - 1)$ .

Из условия  $0 < \Delta B < 1$  следуют ограничения на величину ошибки и изменение множителя:  $E_P < A - 1$ ;  $1 + E_P < A < 2$ .

Тогда вероятность  $P_{H1}$  обнаружения ошибки  $E_P$  определяется следующим образом:

$$P_{H1} = 1 - \frac{2}{1+E_P} \int (1 - E_P / (A - 1)) dA,$$

что приводится к виду  $P_{H1} = E_P (1 - \ln E_P)$ .

В таблице 3 приведены значения вероятности  $P(E) = P_{L1} = P_{H1}$  обнаружения отрицательной  $E_N$  и положительной  $E_P$  ошибок результата для ряда их значений.

**Таблица 3** – Вероятности обнаружения ошибок

$E_N, E_P$	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$P(E), \%$	0,8	5,6	33	66	85	95	99

Полученные оценки демонстрируют обнаружение ошибок обоих знаков в зависимости от их величины: существенные ошибки в старших верных разрядах обнаруживаются с большей вероятностью по сравнению с несущественными ошибками в младших неверных разрядах приближенного результата.

Пусть  $E_S$  – величина, разделяющая ошибки на существенные и несущественные. Тогда вероятность обнаружения несущественной и существенной ошибки может быть оценена как

$$P_{OH} = \int_{2^{-n}}^{E_S} P(E) dE; P_{OC} = \int_{E_S}^1 P(E) dE,$$

а достоверность метода контроля по неравенствам – по следующей формуле [12]:

$$D_E = P_{OC} P_C + (1 - P_{OH}) (1 - P_C),$$

где  $P_C$  – вероятность существенной ошибки.

Для  $P(E) = E (1 - \ln E)$  вероятности обнаружения несущественной и существенной ошибки можно оценить по следующим формулам:

$$P_{OH} = 0,25 E_S^2 (3 - 2 \ln(E_S));$$

$$P_{OC} = 0,75 - P_{OH}.$$

Например, пусть  $P_C = 0,1$ . Тогда для  $E_S = 0,1$  и  $E_S = 0,01$  достоверность контроля по неравенствам на основе моделей  $L_1$  и  $H_1$  составляет  $D_{0,1} = 94,7\%$  и  $D_{0,01} = 97,5\%$ , соответственно.

### 3 Выводы

Достоверность рабочего диагностирования в контроле результатов вычислений существенно ограничивается функциональной контролепригодностью цифровых схем, которая для компонентов систем критического применения носит двухрежимный характер, проявляясь в нормальном и аварийном режимах. Улучшение двухрежимной функциональной контролепригодности достигается при сокращении матричных структур цифровых схем, что способствует повышению функциональной безопасности сложных энергетических систем, включая криогенную технику.

Другим важным фактором, влияющим на достоверность рабочего диагностирования, является структура результата вычислений, который, как правило, следует из результатов измерений, т.е. относится к приближенным данным. Ошибки, вызываемые неис-

правностями, могут быть существенными и несущественными для достоверности результата, т.е. их следует различать.

Предлагаемый подход к повышению достоверности рабочего диагностирования основывается на контроле результатов с различением существенных и несущественных ошибок в устройствах с функциональной контролепригодностью, повышенной сокращением матричных структур.

Предложенные модели результата определяют его нижнюю и верхнюю границы в соответствии с ограничениями, которые накладываются на нормализованные числа действующими стандартами арифметики с плавающей точкой.

На множестве моделей результата определены методы контроля мантисс по неравенствам. Они позволяют контролировать результат независимо от способа его получения, т.е. распространяются на схемы с сокращенной матричной структурой и соответственно повышенной функциональной контролепригодностью.

Методы обнаруживают существенные ошибки в старших верных разрядах с большей вероятностью, чем несущественные ошибки в младших неверных разрядах, что обеспечивает высокую достоверность контроля мантисс.

### Литература

1. **Kharchenko V.S.** (edits). FPGA-based NPP I&C Systems: Development and Safety Assessment [Text] / V. S. Kharchenko, V. V. Sklyar. – Ukraine: RPC Radiy, National Aerospace University “KhAI”, SSTC on Nuclear and Radiation Safety, 2008. – 188 p.
2. **Nicolaidis M.** On-Line Testing for VLSI – a Compendium of Approaches. Electronic Testing: Theory and Application (JETTA) [Text] / M. Nicolaidis, Y. Zorian // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. – 1998. – Vol. 12. – P. 7-20.
3. **Drozd A.** The problem of on-line testing methods in approximate data processing [Text] / A. Drozd, M. Lobachev, J. Drozd // On-Line Testing: Proceedings of 12th IEEE International Symposium, Como, Italy, 10 – 12 July 2006. – P. 251-256.
4. **Drozd A.** New on-line testing methods for approximate data processing in the computing circuits [Text] / A. Drozd, S. Antoshchuk // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings of 6th IEEE International Conference, Prague, Czech Republic, 2011. – Vol. 1. – P. 15-17.
5. **Drozd M.** Safety-Related Instrumentation and Control Systems and a Problem of the Hidden Faults [Text] / M. Drozd, A. Drozd // Digital Technologies: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference, Zhilina, Slovak Republic, 9 – 11 July 2014. – P. 137-140.
6. **Drozd J.** Effectiveness of Matrix and Pipeline FPGA-Based Arithmetic Components of Safety-Related Systems [Text] / J. Drozd, A. Drozd, S. Antoshchuk, A. Kushnerov, V. Nikul // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications: Proceedings of 8th IEEE International Conference, Warsaw, Poland, 2015. – P. 785-789.
7. **Drozd J.** Green IT engineering in the view of resource-based approach [Text] / J. Drozd, A. Drozd, S. Antoshchuk

// In book: Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures, Studies in Systems, Decision and Control, V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk (edits), Vol. 74. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing, 2017. – P. 43-65.

8. ANSI/IEEE Std 754-1985. IEEE Standard for Binary

Floating-Point Arithmetic, 1985.

9. IEEE Std 754™-2008 (Revision of IEEE Std 754-1985) IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic. IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016–5997, USA, 2008.

Отримана в редакції 11.04.2017, прийнята до друку 06.06.2017

## Increase in Trustworthiness of Checking the Digital Components in Safety-Related Systems

O. V. Drozd<sup>1</sup>✉, M. M. Al-Dhabi<sup>1</sup>, M. O. Drozd<sup>1</sup>, I. M. Nikolenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Odessa National Polytechnic University, 1, Shevchenko ave., Odesa, 65044, Ukraine

<sup>2</sup> Odessa National Academy of Food Technologies, 112, Kanatna str., Odesa, 65039, Ukraine

✉ e-mail: drozd@ukr.net

*The possibilities of increase in trustworthiness of on-line testing methods in checking of the results calculated in digital components of instrumentation and control safety-related systems which are widely used in power engineering including cryogenic applications are considered. Approach to increase in trustworthiness of checking the results on the basis of distinguishing of the essential and inessential errors caused in approximate result by failure of digital circuits with raised functional checkability is offered. For operations of multiplication and division of mantissas, the result models which are its upper and lower boundaries are proposed. These models are based on the restrictions determined for the normalized numbers by the modern floating-point formats. Models are evaluated on their root mean square deviation from results. On a set of models of result, the methods checking the mantissas by inequalities are defined. They provide distinguishing of essential and inessential errors. The methods are oriented on circuits of the iterative array multipliers and dividers executing the truncated operations with mantissas. Such circuits are characterized by the raised dual-mode functional checkability which is provided due to abbreviation of array structures. Methods are evaluated on probability of error detection and trustworthiness in checking of results. Errors are detected depending on their value more likely in most significant bits in comparison with least significant bits. It provides the high trustworthiness in checking of mantissas important for safety-related systems.*

**Keywords:** Safety-related system; Iterative array multiplier and divider; Checkability of a circuit; On-line testing; Result model; Checking of mantissas by inequalities; Trustworthiness in checking of results.

### References

1. Kharchenko, V. S., Sklyar, V. V. (edits). (2008) FPGA-based NPP I&C Systems: Development and Safety Assessment. Ukraine: RPC Radiy, National Aerospace University “KhAI”, SSTC on Nuclear and Radiation Safety, 188 p.
2. Nicolaidis, M., Zorian, Y. (1998). On-Line Testing for VLSI – a Compendium of Approaches. Electronic Testing: Theory and Application (JETTA). *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications*. vol. 12, pp. 7-20. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6069-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6069-9_1)
3. Drozd, A., Lobachev, M., Drozd, J. (2006). The problem of on-line testing methods in approximate data processing. *Proceedings of 12th IEEE International On-Line Testing Symposium*. Como, Italy, pp. 251-256. Doi: <https://doi.org/10.1109/iolts.2006.61>
4. Drozd, A., Antoshchuk, S. (2011). New on-line testing methods for approximate data processing in the computing circuits. *Proceedings of IEEE 6th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. Prague, Czech Republic, pp. 15-17. Doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2011.6072759>
5. Drozd, M., Drozd, A. (2014). Safety-Related Instrumentation and Control Systems and a Problem of the Hidden Faults. *Proceedings of the 10th International Conference on Digital Technologies (DT'2014)*. – Zhilina, Slovak Republic, P. 137-140. Doi: <https://doi.org/10.1109/dt.2014.6868692>
6. Drozd, J., Drozd, A., Antoshchuk, S., Kushnerov, A., Nikul, V. (2015). Effectiveness of Matrix and Pipeline FPGA-Based Arithmetic Components of Safety-Related Systems. *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. Warsaw, Poland, pp. 785-789. Doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2015.7341410>
7. Drozd, J., Drozd, A., Antoshchuk, S. (2017). Green IT engineering in the view of resource-based approach. In book: Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures, Studies in Systems, Decision and Control, V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk (Eds.), vol. 74. Berlin, Heidelberg: Springer International Publishing, pp. 43–65. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44162-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44162-7_3)
8. ANSI/IEEE Std 754-1985. (1985). IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic.
9. IEEE Std 754™-2008 (Revision of IEEE Std 754-1985) IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic. (2008). IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016–5997, USA.

Received 11 April 2017  
Approved 06 June 2017  
Available in Internet 03 July 2017