УДК 518.5:681.325.5
doi:10.15217/issn1684-8853.2016.3.100

# О СХОДИМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ РАЗРЯДНОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

***А. М. Сергеев***[a], *старший преподаватель*
***О. В. Мишура***[a], *доцент, канд. техн. наук*
[a]*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ*

***Цель:*** *показать основные характеристики разрядного метода решения систем линейных алгебраических уравнений и его модификации, построенные на основе нестационарного итерационного процесса, а также продемонстрировать перспективу их использования для решения плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений.* ***Методы:*** *теоретически обосновывается сходимость, оценивается скорость сходимости как ограниченная снизу геометрической прогрессией со знаменателем, равным норме матрицы перехода. С помощью норм оценивается устойчивость к возмущениям в виде ошибок округления.* ***Результаты:*** *на основе анализа большого вычислительного эксперимента делается вывод о нестрогом выполнении для рассмотренных итерационных разрядных методов условия строгого диагонального преобладания в матрице коэффициентов, а также слабой зависимости количества итераций для достижения требуемой точности решения от числа обусловленности системы уравнений.* ***Практическая значимость:*** *полученные теоретически и подтвержденные практически результаты показывают перспективность разрядных методов при использовании в специализированных процессорах систем встраиваемого класса.*

***Ключевые слова*** *— нестационарный итерационный процесс, система линейных алгебраических уравнений, СЛАУ, разрядный метод решения СЛАУ, плохо обусловленные СЛАУ, устойчивость к возмущениям, скорость сходимости.*

## Введение

Одной из часто решаемых задач, к которой в математической постановке сводится широкий круг прикладных задач, является решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) вида $\mathbf{A}X = B$ [1–6].

Традиционный взгляд на применение итерационных методов для решения СЛАУ заключается в том, что они предпочтительны для реализации при распараллеливании, при невысоких требованиях по точности решения, при наличии строгого диагонального преобладания в матрице $\mathbf{A}$, при высоких порядках СЛАУ [6–8]. Однако они представляются малоперспективными из-за существенной зависимости числа итераций от обусловленности матрицы исходной системы уравнений.

Особое место среди итерационных методов решения СЛАУ занимают разрядные итерационные методы [2, 9], решение в которых формируется в виде накапливаемых сумм разрядных приращений. Эти методы существенно отличаются от традиционных и хорошо известных итерационных методов, поскольку в их основе лежит нестационарный итерационный процесс вида

$$X^k = X^{k-1} - \mathbf{H}_k(\mathbf{A}X^{k-1} - B),$$

где $k$ — номер итерации, а $\mathbf{H}_k$ — последовательность диагональных матриц на итерациях.

В настоящей работе рассматриваются основные характеристики базового метода разрядных формирований неизвестных и его модификации. Результаты решения ряда тестовых СЛАУ с большим числом обусловленности позволяют надеяться на слабую зависимость от него скорости сходимости методов, что существенно расширяет решаемый ими класс задач.

## Базовый разрядный метод

Важными характеристиками качества численных методов при обеспечении безусловной сходимости к решению являются [1, 7, 8] сложность (операционный состав, общее число операций, затрачиваемых на вычисления), численная устойчивость (чувствительность к ошибкам округления), точность (обеспечиваемая погрешность вычислений), область сходимости (ограничения на класс решаемых задач).

Базовый итерационный разрядный метод решения СЛАУ, если вектор невязок $k$-й итерации $\varepsilon^k = \mathbf{A}X^k - B$ вычислять через невязки предыдущей итерации, представляется следующим образом [2, 9]:

$$X^k = X^{k-1} - \mathbf{H}_k\varepsilon^{k-1};$$

$$\varepsilon^k = \varepsilon^{k-1} - \mathbf{A}\mathbf{H}_k\varepsilon^{k-1}.$$

Задача реализации разрядных вычислений сводится к необходимости представления элементов вектора приращений неизвестных $\mathbf{H}_k\varepsilon^{k-1}$ в виде основания системы исчисления $\alpha$ в некоторой целой степени. Число и регулярность требуемых действий для выполнения соотношений итерации определяет выбор вида матрицы $\mathbf{H}_k$, а операционный состав — ее элементы.

В работе [2] $\mathbf{H}_k$ на итерациях формируется в виде диагональной матрицы $\mathbf{H}_k = \mathrm{diag}\left(h_{11}^{(k)}, h_{22}^{(k)}, \ldots, h_{nn}^{(k)}\right)$ с элементами $h_{ii}^{(k)}$ такими, что $\mathbf{H}_k\varepsilon^{k-1}$ есть основание системы счисления $\alpha$ в целой степени.

*Условие сходимости приведенного* итерационного процесса — матрица $\mathbf{A}$ со строгим диагональным преобладанием [7]. Из него следует, что норма матрицы перехода $\mathbf{T}_k = \mathbf{E} - \mathbf{H}_k\mathbf{A}$ на $k$-й итерации $\|\mathbf{T}_k\| \leq \rho < 1$, и процесс сходится.

*Скорость сходимости*. Вектор ошибки вычисляемого решения $Z^k = X^* - X^k$, где $X^*$ — единственное решение, а $X^k$ — приближение к решению на $k$-й итерации. Представим вектор ошибки $Z^k$ в виде $Z^k = \mathbf{T}_k Z^{k-1}$. В работах [2, 9] показано, что $Z^k = \mathbf{T}_k\mathbf{T}_{k-1}\mathbf{T}_{k-2}\ldots\mathbf{T}_1 Z^0$, а учитывая, что для любого значения $k$ $\|\mathbf{T}_k\| = \rho$, получаем $Z^k = \rho^k Z^0$. Таким образом, последовательность векторов $Z^k$ сходится к нулю со скоростью, которая ограничена снизу геометрической прогрессией со знаменателем $\rho$, и для решения СЛАУ с точностью $\omega$ необходимо выполнить $K \geq \ln(1/\rho)/\ln(1/\omega)$ итераций [2].

*Устойчивость вычислительного процесса*. Ограниченная разрядная сетка вычислительных средств является в каждом акте вычислений источником ошибки, связанной с округлениями. Пусть $X^{k-1}$ вычислено с ошибкой $\delta_{k-1}$, т. е. вместо точного значения получено $X^{k-1} = X^{k-1} + \delta_{k-1}$. Тогда на $k$-й итерации получим приближенное значение в виде

$$X^k = X^{k-1} + \delta_{k-1} - \mathbf{H}_k(\mathbf{A}(X^{k-1} + \delta_{k-1}) - B) =$$

$$= X^{k-1} - \mathbf{H}_k(\mathbf{A}X^{k-1} - B) + (\mathbf{E} - \mathbf{H}_k\mathbf{A})\delta_{k-1}.$$

Отсюда следует, что ошибки $\delta_k$ и $\delta_{k-1}$ связаны уравнением $\delta_k = \mathbf{T}_k\delta_{k-1}$, и метод устойчив, поскольку $\|\mathbf{T}_k\| < 1$.

*Окончание вычислительного процесса*. Как и ранее, определим вектор ошибки на итерациях как $Z^k = X^* - X^k$. Очевидно, итерационный процесс нужно заканчивать всякий раз, когда некоторая мера ошибки становится достаточно малой, т. е. когда $\|Z^k\| \leq \omega$ либо при выполнении условия $\|Z^k\| \leq \nu\|Z^0\|$, т. е. при уменьшении вектора начальной ошибки в $\nu$ раз.

Точное решение $X^*$ заранее неизвестно, значение $\|Z^k\|$ нельзя вычислить непосредственно. Для аппроксимации $Z^k$ обычно применяется вектор невязок $\varepsilon^k$. Есть лучшие способы получения меры относительной и абсолютной ошибок, но они требуют значительных дополнительных вычислительных затрат и дополнительной памяти. При условии сходимости методов более приемлемо использование критерия остановки по величине нормы вектора разности $\Delta X^k = X^k - X^{k-1}$, который позволяет получить разумную нижнюю оценку ошибки на каждой итерации. Конечно, $\|\Delta X^k\|$ несколько недооценивает $\|Z^k\|$, однако имеется возможность для каждого конкретного применения метода разработать критерий остановки итераций по $\|\Delta X^k\|$, который будет более точно оценивать вектор ошибки [7]. На практике такой способ нашел наиболее широкое применение, поскольку, во-первых, вектор $\Delta X^k$ либо непосредственно вычисляется в процессе выполнения итерации (методы Якоби, Ричардсона, простой итерации, вариационные), либо его вычисление легко осуществимо; во-вторых, значение $\|\Delta X^k\|$ в ряде случаев применяется как относительный допуск при проверке потери значимости.

Именно описанный выше способ является наиболее приемлемым при реализации разрядных методов. Поскольку элементы вектора $\Delta X^k$ кратны степени основания счисления и непосредственно связаны с номером итерации и величиной приращения, то можно оканчивать итерационный процесс по значению номера итерации. Более того, в ряде случаев можно судить о необходимости окончания вычислений только по номеру итерации.

Рассмотренный метод может быть реализован как с обычным двоичным, так и знакоразрядным представлением операндов [9–11]. Он хорошо распараллеливается вплоть до уровня обработки отдельных разрядов [10–13].

## Разрядный метод с коррекцией модуля шага

Основное отличие предлагаемого метода от описанного базового состоит в том, что в итерационную схему вводится коэффициент регулирования модуля шага $\gamma_k$:

$$X^k = X^{k-1} - \gamma_k\, \mathbf{H}_k(\mathbf{A}X^{k-1} - B),$$

$$\gamma_k = (\mathbf{A}X^{k-1} - B,\, S_k)/(\mathbf{A}S_k,\, S_k),$$

$$S_k = \mathbf{H}_k(\mathbf{A}X^{k-1} - B).$$

Коэффициент $\gamma_k$ представляет собой величину шага в направлении $\mathbf{S}_k$, выбираемую из условия минимизации функционала невязки [9]

$$\mathbf{F}(X) = 1/2\, (\mathbf{A}X_{k-1}, X_{k-1}) - (\mathbf{B}, X_{k-1}).$$

Для сохранения операционной простоты итераций на уровне базового метода значение модуля шага можно вычислять в виде $\gamma_k = \alpha^{\log_\alpha(((\mathbf{A}X_{k-1} - B), S_k)/(\mathbf{A}S_k, S_k))}$, что, как и в базовом методе, осуществляется простыми операциями сравнения. Вычисление значений элементов векторов $S_k = \mathbf{H}_k(\mathbf{A}X^{k-1} - B)$ и $\mathbf{A}S_k = \mathbf{A}\mathbf{H}_k\varepsilon^{-1}$, являющихся результатами основных вычислений, практически не вносит дополнительных вычислительных затрат.

**Результаты численного эксперимента**

Для экспериментальной оценки методов на большом количестве тестовых СЛАУ [2, 14, 15] были получены сравнительные характеристики поведения базового метода разрядных формирований неизвестных, метода с коррекцией модуля шага, а также результаты вычислений MathCad. Данные о спектре матрицы и числе ее обусловленности вычислялись с помощью функций MathCad. Базовой характеристикой, подлежавшей исследованию, являлась зависимость числа итераций, необходимых для получения заданной точности решения СЛАУ, которая вычислялась как отношение нормы вектора разницы между точным решением и приближением на $k$-м шаге к норме точного решения.

Анализ результатов показал, что для СЛАУ с хорошо обусловленными матрицами коррекция шага обеспечивает существенное увеличение скорости сходимости (приблизительно в 2 раза), поскольку введение $\gamma_k$ гарантирует выбор правильного направления и величину шага итерационного процесса. Для ряда тестовых СЛАУ метод с коррекцией шага сходится за одну-две итерации.

Существенным с точки зрения проведенных в работе исследований является отсутствие строгой зависимости количества итераций от числа обусловленности и требования выполнения условия строгого диагонального преобладания в матрице коэффициентов. Так, для СЛАУ с $\mathrm{cond1}(\mathbf{A}) = 2{,}235 \times 10^7$, матрицей коэффициентов $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1\cdot 10^7 & 0{,}167 & 0{,}167 & 0{,}167 \\ 0{,}167 & 1\cdot 10^6 & 0{,}167 & 0{,}167 \\ 0{,}167 & 0{,}167 & 1 & 0{,}9 \\ 0{,}167 & 0{,}167 & 0{,}167 & 1 \end{bmatrix}$ и вектором свободных членов $\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix}$ требуемой точности $1\times 10^{-7}$ решение достигло на 16-й итерации:

$$X_{16} = \begin{bmatrix} 4{,}31372355\cdot 10^{-8} \\ 1{,}43137259\cdot 10^{-6} \\ -0{,}70588238 \\ 4{,}11764682 \end{bmatrix}.$$

Решение, полученное в MathCad:

$$X = \begin{bmatrix} 4{,}313723554316657\cdot 10^{-8} \\ 1{,}431372586804224\cdot 10^{-6} \\ -0{,}705882381853134 \\ 4{,}117646817890552 \end{bmatrix}.$$

Для СЛАУ с подобными характеристиками порядков 10, 100 и 500 метод показал аналогичные результаты.

**Заключение**

При очевидной простоте рассмотренных методов их непосредственная программная реализация может быть значительно упрощена как за счет использования дополнительных преобразований при разработке разных вариантов вычислительных алгоритмов, ориентированных на конкретные вычислительные средства, так и за счет специфики машинного представления числовой информации, влияющего на точность, быстродействие и простоту реализации.

Следует отметить, что приведенные в статье оценки основываются на использовании аппарата норм — максимальных оценок матриц и векторов, что существенно занижает на практике показатели рассмотренных методов. Работа над тематикой разрядных вычислений на основе нестационарной итерационной процедуры далека от завершения и требует построения соответствующей теории, детализирующей механизм зависимости скорости сходимости от ряда параметров разрядных методов, а также характеристик решаемых СЛАУ.

## Литература


1. **Hageman L. A., Yuang D. M.** Applied Iterative Methods. — Academic Press, 1981. — 386, xvii p..
2. **Байков В. Д., Вашкевич С. Н., Сергеев М. Б.** Прикладные задачи микропроцессорных систем контроля и управления. — СПб.: Политехника, 1994. — 111 с.
3. **Kung S. Y., Whitehouse H. J., Kailath T.** VLSI and Modern Signal Processing. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1985. — 481 p.
4. **Краснопольский Б. И., Медведев А. В.** О решении систем линейных алгебраических уравнений на многоядерных вычислительных системах с графическими ускорителями // Параллельные вычислительные технологии 2013 (ПаВТ'2013): тр. Междунар. науч. конф. 2013. С. 409–420.
5. **Пакляченко М. Ю.** Применение итерационных методов решения систем линейных алгебраических уравнений для анализа многоканальных систем обработки информации // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 12-1 (19). С. 118–120.
6. **Wolf T., Schrüfer E., Webster K.** Solving Large Linear Algebraic Systems in the Context of Integrable Non-Abelian Laurent ODEs//Programming and Computer Software. 2012. Vol. 38. Iss. 2. P. 73–83.

7. **Воеводин В. В., Кузнецов Ю. А.** Матрицы и вычисления. — М.: Наука, 1984. — 320 с.
8. **Соренков Э. И., Телига А. И., Шаталов А. С.** Точность вычислительных алгоритмов и устройств. — М.: Машиностроение, 1976. — 200 с.
9. **Сергеев М. Б., Касем К. М.** Алгоритмы разрядных вычислений в микропроцессорных системах. — СПб.: Политехника, 1997. — 96 с.
10. **Сергеев А. М.** Об особенностях представления чисел при знакоразрядном кодировании и вычислительный эксперимент с ними // Информационно-управляющие системы. 2006. № 3(22). С. 56–58.
11. **Сергеев А. М.** О соизмеримости точности вычислений разрядным итерационным методом в двоичной и знакоразрядной системах счисления // Научная сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч II. Технические науки. — СПб.: ГУАП, 2013. С. 153–157.
12. **Байков В. Д., Сергеев М. Б.** Систолические структуры для решения систем линейных уравнений // Электронное моделирование. 1988. № 5. С. 14–17.
13. **Сергеев М. Б.** Битовая конвейеризация. Организация вычислений в СБИС модульных систем // Информационно-управляющие системы и сети. Структуры, моделирование, алгоритмы. — СПб.: Политехника, 1999. С. 28–36.
14. **Фаддеева В. Н., Колотилина Л. Ю.** Вычислительные методы линейной алгебры: Набор матриц для тестирования. — Л.: Наука, Ч. 1, 1982; Ч. 2 и 3, 1983. — 387 с.
15. **Сергеев М. Б.** Методы и структуры разрядных вычислений для задач систем обработки информации и управления: дис. ... д-ра техн. наук/ГУАП. СПб., 2001. — 231 с.

UDC 518.5:681.325.5
doi:10.15217/issn1684-8853.2016.3.100

Sergeev A. M.[a], Senior Lecturer, asklab@mail.ru
Mishura O. V.[a], PhD, Tech., Associate Professor, olga_mishura@mail.ru
[a]Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaia St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Purpose:** The goal of this work is to show the main characteristics of the bit-wise method for solving systems of linear algebraic equations, discuss the modifications of this method built on the base of nonstationary iterative process, and demonstrate the ways of using them for solving ill-conditioned systems of linear equations. **Methods:** We theoretically substantiate the convergence, estimating its rate as bounded below by a geometrical progression with a ratio equal to the transfer matrix norm. Using the norms, we esimate the steadiness against perturbations like round-off errors. **Results:** After analyzing the results of a big computational experiment, we make a conclusion that for the discussed iterative bit-wise methods, the condition of strict diagonal dominance in the matrix of coefficients can be met in a nonstrict way, and that the number of iterations to achieve the required solution accuracy weakly depends on the conditioning number of the system of equations. **Practical relevance:** Our theoretically obtained and practically substantiated results demonstrate how promising the bit-wise methods are for using in specialized processors of built-in systems.

**Keywords** — Nonstationary Iterative Process, System of Linear Equations, Bit-Wise Method of SLE solution, Ill-Conditioned SLE, Steadiness against Perturbations, Convergence Rate.

**References**

1. Hageman L. A., Yuang D. M. *Applied Iterative Methods.* Academic Press, 1981. 386, xvii p.
2. Baikov V. D., Vashkevich S. N., Sergeev M. B. *Prikladnye zadachi mikroprotsessornykh sistem kontrolia i upravleniia* [Applied Problems of Microprocessor Systems of Control and Monitoring]. Saint-Petersburg, Politekhnika Publ., 1994. 111 p. (In Russian).
3. Kung S. Y., Whitehouse H. J., Kailath T. *VLSI and Modern Signal Processing.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1985. 481 p.
4. Krasnopol'skii B. I., Medvedev A. V. About the Solving of Systems of Linear Algebraic Equations on Multinuclear Computing Systems with Graphic Accelerators. *Trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Parallel'nye vychislitel'nye tekhnologii 2013" (PaVT'2013)* [Works of the International Scientific Conference "Parallel Computing Technologies 2013"], 2013, pp. 409–420 (In Russian).
5. Paclyachenko M. Y. Application of the Iterative Methods of Systems of Linear Algebraic Equations Solutions for Multi-Cannel Information Systems Analysis. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2013, no. 12-1 (19), pp. 118–120 (In Russian).
6. Wolf T., Schrüfer E., Webster K. Solving Large Linear Algebraic Systems in the Context of Integrable Non-Abelian Laurent ODEs. *Programming and Computer Software*, 2012, vol. 38, iss. 2, pp. 73–83.
7. Voevodin V. V., Kuznetsov Iu. A. *Matritsy i vychisleniia* [Matrices and Computation]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 320 p. (In Russian).
8. Sorenkov E. I., Teliga A. I., Shatalov A. S. *Tochnost' vychislitel'nykh algoritmov i ustroistv* [Accuracy of Computing Algorithms and Devices]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 200 p. (In Russian).
9. Sergeev M. B., Kasem K. M. *Algoritmy razriadnykh vychislenii v mikroprotsessornykh sistemakh* [Algorithms of Bitwize Computation in Microprocessor Systems]. Saint-Petersburg, Politekhnika Publ., 1997. 96 p. (In Russian).
10. Sergeev A. M. On the Signed-Digit Representation of Numbers and a Related Computational Experiment. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2006, no. 3(22), pp. 56–58 (In Russian).
11. Sergeev A. M. About Commensurability of Accuracy of Computation by a Bit Iterative Method in Binary and Sign-Binary Numeration Systems. *Nauchnaia sessiia GUAP. Ch II. Tekhnicheskie nauki* [Scientific Session of SUAI. Vol. II. Technical Science]. Saint-Petersburg, 2013, pp. 153–157 (In Russian).

12. Baikov V. D., Sergeev M. B. Systolic Structures for the Solving of Linear Equation Systems. *Elektronnoe modelirovanie*, 1988, no. 5, pp. 14–17 (In Russian).
13. Sergeev M. B. *Bitovaia konveierizatsiia. Organizatsiia vychislenii v SBIS modul'nykh sistem* [Bit Pipelining. The Organization of Computation in VLSI of Module Systems]. In: *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy i seti. Struktury, modelirovanie, algoritmy.* Saint-Petersburg, Politekhnika Publ., 1999, pp. 28–36 (In Russian).
14. Faddeeva V. N., Kolotilina L. Iu. *Vychislitel'nye metody lineinoi algebry: Nabor matrits dlia testirovaniia* [Computing Methods of the Linear Algebra: A Set of Matrixes for Testing]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., vol. 1, 1982; vol. 2 and 3, 1983. 387 p. (In Russian).
15. Sergeev M. B. *Metody i struktury razriadnykh vychislenii dlia zadach sistem obrabotki informatsii i upravleniia.* Dis. dokt. tekhn. nauk [Methods and Structures of Bitwize Computations for Tasks of Information Processing Systems and Control. Dr. techn. sci. diss.]. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2001. 231 p. (In Russian).

# Уважаемые авторы!

**При подготовке рукописей статей необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.**

Статьи должны содержать изложение новых научных результатов. Название статьи должно быть кратким, но информативным. В названии недопустимо использование сокращений, кроме самых общепринятых (РАН, РФ, САПР и т. п.).

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала Word шрифтом Times New Roman размером 13, поля не менее двух сантиметров.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание (при отсутствии — должность), полное название организации, аннотация и ключевые слова на русском и английском языках, электронные адреса авторов, которые по требованию ВАК должны быть опубликованы на страницах журнала. При написании аннотации не используйте аббревиатур и не делайте ссылок на источники в списке литературы.

Статьи авторов, не имеющих ученой степени, рекомендуется публиковать в соавторстве с научным руководителем, наличие подписи научного руководителя на рукописи обязательно; в случае самостоятельной публикации обязательно предоставляйте заверенную по месту работы рекомендацию научного руководителя с указанием его фамилии, имени, отчества, места работы, должности, ученого звания, ученой степени — эта информация будет опубликована в ссылке на первой странице.

**Формулы** набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), при необходимости можно использовать формульный редактор; для набора одной формулы не используйте два редактора; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте заводские установки редактора, не подгоняйте размер символов в формулах под размер шрифта в тексте статьи, не растягивайте и не сжимайте мышью формулы, вставленные в текст; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = –.

Для набора формул в Word никогда не используйте Конструктор (на верхней панели: «Работа с формулами» — «Конструктор»), так как этот ресурс предназначен только для внутреннего использования в Word и не поддерживается программами, предназначенными для изготовления оригинал-макета журнала.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

**Иллюстрации** в текст не заверстываются и предоставляются отдельными исходными файлами, поддающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы предоставляйте в виде отдельных исходных файлов, поддающихся редактированию, используя векторные программы: Visio 4, 5, 2002-2003 (*.vsd); Coreldraw (*.cdr); Excel (*.xls); Word (*.doc); AdobeIllustrator (*.ai); AutoCad (*.dxf); Matlab (*.ps, *.pdf или экспорт в формат *.ai);

— если редактор, в котором Вы изготавливаете рисунок, не позволяет сохранить в векторном формате, используйте функцию экспорта (только по отношению к исходному рисунку), например, в формат *.ai, *.esp, *.wmf, *.emf, *.svg;

— фото и растровые — в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

Наличие подрисуночных подписей обязательно (желательно не повторяющих дословно комментарии к рисункам в тексте статьи).

**В редакцию предоставляются:**

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, e-mail), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40×55 мм;

— экспертное заключение.

**Список литературы** составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Список литературы оформляйте двумя отдельными блоками по образцам lit.dot на сайте журнала (http://i-us.ru/paperrules) по разным стандартам: Литература — СИБИД РФ, References — один из мировых стандартов.

Более подробно правила подготовки текста с образцами изложены на нашем сайте в разделе «Оформление статей».

**Контакты**

Куда: 190000, Санкт-Петербург,
Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ
Кому: Редакция журнала «Информационно-управляющие системы»
Тел.: (812) 494-70-02
Эл. почта: ius.spb@gmail.com
Сайт: www.i-us.ru