

УДК 004.051

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ INTEL ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ В СРЕДЕ MICROSOFT EXCEL

### ANALYSIS OF USAGE EFFICIENCY OF MODERN INTEL PROCESSORS FOR SOLVING THE OPTIMIZATION TASKS IN MICROSOFT EXCEL

Шарипов М. И.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Стерлитамак, Российская Федерация  
г. Уфа, Российская Федерация

M.I. Sharipov

Ufa State Petroleum Technological University, branch of Sterlitamak, the Russian Federation  
e-mail: sharipovm@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается методика решения задач псевдобулевой оптимизации в среде Microsoft Excel. Также исследуется эффективность использования современных многоядерных процессоров Intel с поддержкой команд векторной обработки данных при решении задач.

**Annotation.** A technique for solving the pseudoboollean optimization tasks in Microsoft Excel is observed. Analysis of usage efficiency of modern Intel processors with SIMD support is also provided.

**Ключевые слова:** информационные системы; проблемы принятия решений; оптимизация; процессор; команды векторной обработки данных.

**Key words:** information systems; decision problems; optimization; processor; single instruction multiple data (SIMD).

**Введение.** Современные информационные системы класса ERP (Enterprise Resources Planning) [1] при всей многофункциональности, в том числе в плане подготовки разнообразных отчетов по различным критериям, не содержат инструменты для решения задач дискретной оптимизации, к которым приводят большинство проблем принятия решений [2].

Так, например, информационная система «1С: Предприятие» [3] позволяет сформировать отчет по суммовым остаткам запчастей на складах. Однако, на основе отчета информационная система не может, например, поставить задачу дискретной оптимизации [4], и тем более рассчитать ее решение и сообщить руководителю предприятия рекомендации о том, какие именно запчасти нужно докупить в первую очередь при заданных показателях важности закупки тех или иных товаров, стоимости этих запчастей, и заданном финансовом ограничении (доступные средства для закупки запчастей).

В то же время большинство современных информационных систем имеют возможности для экспорта отчетов в существующие средства для обработки и анализа данных, такие как Microsoft Excel [5]. Более того, MS Excel содержит в себе специальную надстройку «Поиск решения», которая входит в состав программного обеспечения, но по умолчанию отключена. Эта надстройка предназначена для решения задач линейной и нелинейной оптимизации с непрерывными, дискретными и булевыми, переменными.

В рамках научных исследований [6] автором было проведено экспериментальное исследование эффективности решения задач в среде MS Excel на совре-

менных многоядерных процессорах Intel [7] с поддержкой команд векторной обработки данных [8].

Методика решения задач оптимизации в MS excel. Программное обеспечение MS Excel в отличие от специализированных математических пакетов (MathCAD, MathLab, Maple) уже имеется в большинстве организациях и не требует докупки дополнительного математического программного обеспечения и обучения специалистов навыкам программирования в них задач оптимизации.

MS Excel содержит в себе специальную надстройку «Поиск решения», которая входит в состав программного обеспечения. Надстройка специально предназначена для поиска решений уравнений, а также задач линейной и нелинейной оптимизации с непрерывными, дискретными и булевыми, переменными. По умолчанию надстройка отключена, и добавить ее можно в разделе «Надстройки» в окне «Параметры MS Excel», запустив его в главном меню MS Excel (рисунок 1).

Рассмотрим теперь простейшую задачу дискретной оптимизации на примере задачи закупки недостающих на складе запчастей при заданных коэффициентах важности (срочности) запчастей, стоимостях запчастей и ограниченной сумме денежных средств, доступной для закупки. Конкретные названия и типы запчастей не имеют никакого значения с точки модели и метода решения задачи, и мы их не будем приводить.

Рассмотрим математическую модель задачи закупки 20 различных запчастей. Ограничивающее неравенство задачи оптимизации при заданных стоимостях запчастей (в тыс. рублей) и доступной сумме денежных средств:

$$10x_1 + 15x_2 + 12x_3 + 40x_4 + 20x_5 + 40x_6 + 30x_7 + 20x_8 + 36x_9 + 22x_{10} + 12x_{11} + 30x_{12} + 14x_{13} + 15x_{14} + 12x_{15} + 80x_{16} + 20x_{17} + 30x_{18} + 12x_{19} + 30x_{20} \leq 100.$$

Целевая функция задачи (максимизация суммарной важности закупаемых запчастей) при заданных коэффициентах важности запчастей (коэффициенты имеют безразмерную величину и определяются путем ранжирования запчастей по важности на усмотрение руководителя, решающего задачи):  
 $5x_1 + 3x_2 + 4x_3 + 5x_4 + 6x_5 + 7x_6 + 2x_7 + 3x_8 + 4x_9 + 5x_{10} + 4x_{11} + 10x_{12} + 6x_{13} + 7x_{14} + 2x_{15} + 4x_{16} + 11x_{17} + 3x_{18} + 4x_{19} + 5x_{20} \rightarrow \max.$

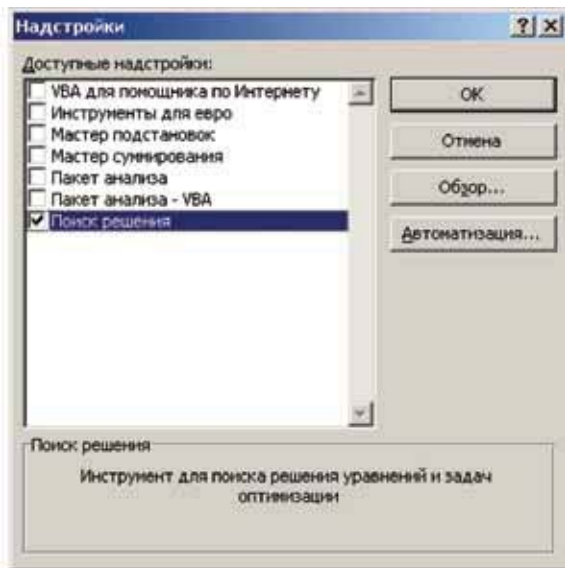


Рисунок 1. Окно для добавления надстройки «Поиск решения» в MS Excel

Рассмотрим методику решения задачи оптимизации при помощи надстройки «Поиск решения» в среде MS Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
1	Решение		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Цель		0	5	3	4	5	6	7	2	3	4	5	4	10	6	7	2	4	11	3	4	5
3		100	0	10	15	12	40	20	40	30	20	36	22	12	30	14	15	12	80	20	30	12	30

Рисунок 2. Таблица MS Excel с исходными данными задачи оптимизации

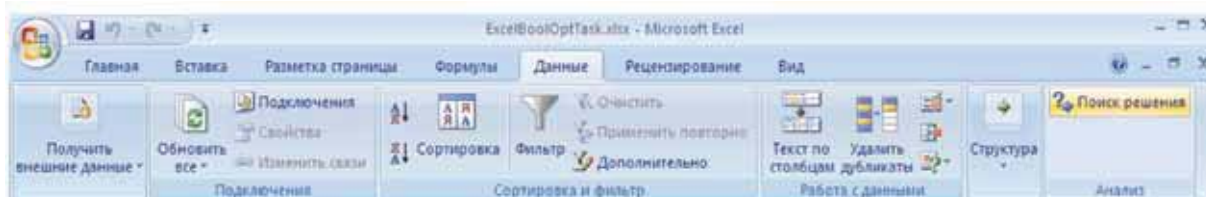


Рисунок 3. Выбор и запуск надстройки «Поиск решений» в MS Excel



Рисунок 4. Добавление основного ограничения задачи оптимизации

Записываем нулевой вектор решений в ячейки C1 – V1 (в качестве начального допустимого решения в данной задаче оптимизации принимается нулевой вектор).

Записываем коэффициенты важности в ячейки C2 – V2.

Записываем стоимости запчастей в ячейки C3 – V3.

Формируем вычисление в ячейке B2 целевой функции, как сумму произведений коэффициентов важностей запчастей на соответствующие компоненты вектора решений, хранящиеся в соответствующих ячейках. В нашем случае будет функция «СУММПРОИЗВ (C1:V1;C2:V2)».

Аналогично формируем вычисление в ячейке B3 левой части неравенства-ограничения, как сумму произведений стоимостей запчастей на соответствующие компоненты вектора решений, хранящиеся в соответствующих ячейках. В нашем случае это будет функция «СУММПРОИЗВ (C1:V1;C3:V3)».

Записываем значение правой части ограничения в ячейку A3.

В итоге имеем следующую исходную таблицу для задачи оптимизации, представленную на рисунке 2.

Для формирования задачи оптимизации и ее решения в надстройке «Поиск решения» необходимо перейти запустить эту надстройку во вкладке «Данные» программы MS Excel (рисунок 3).

В появившемся окне (рисунок 6) необходимо установить диапазон изменяемых ячеек, в которых находятся компоненты вектора решения (в нашем случае это ячейки C1 – V1).

Установить целевую ячейку, в которой вычисляется целевая функция (нашем случае это ячейка B2), а также направление оптимизации – в нашем случае это максимизация значения.



Рисунок 5. Добавление ограничения на область определения переменных

Добавить основное ограничение задачи оптимизации, указав в качестве левой стороны ограничения ячейку В3, в которой мы сформировали вычисление левой части ограничения, а в качестве правой стороны ограничения ячейку А3, в которой мы указали значение правой стороны ограничения, а в качестве знака неравенства указать знак меньше либо равно (рисунок 4).

Наконец, для решения задачи именно дискретной (или псевдодвоичной) оптимизации, также необходимо наложить ограничения на сами переменные. Для снижения объема поискового пространства и решения задачи за приемлемое время в данном примере мы сделаем наши переменные булевыми (двоичными). Для этого добавим ограничение на все изменяемые ячейки С1 - V1 (в которых содержится вектор решения), ограничив их двоичными значениями (рисунок 5).

В итоге имеем сформированную в MS Excel задачу (рисунок 6).

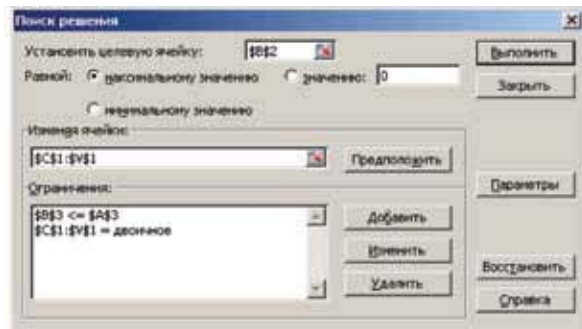


Рисунок 6. Окно надстройки «Поиска решений» для задачи оптимизации

После этого можно запустить решение задачи кнопкой «Выполнить» и дождаться завершения решения задачи.

В результате в ячейках С3 - V3 будет сформирован вектор решения задачи, вместе со значением левой стороны неравенства-ограничения в ячейке В3, а также значением целевой функции в ячейке В2 (рисунок 7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
1	Решение		1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	
2	Цель		41	5	3	4	5	6	7	2	3	4	5	4	10	6	7	2	4	11	3	4	5
3		100	95	10	15	12	40	20	40	30	20	36	22	12	30	14	15	12	80	20	30	12	30

Рисунок 7. Таблица MS Excel с результатами решения задачи оптимизации

Таким образом, решением является двоичный вектор:

$x_1 = 1, x_2 = 0, x_3 = 1, x_4 = 0, x_5 = 0, x_6 = 0, x_7 = 0, x_8 = 0, x_9 = 0, x_{10} = 0, x_{11} = 1, x_{12} = 0, x_{13} = 1, x_{14} = 1, x_{15} = 0, x_{16} = 0, x_{17} = 1, x_{18} = 0, x_{19} = 1, x_{20} = 0.$

Целевая функция задачи при этом достигает значение 41. Левая часть ограничения при этом достигается значение 95, и оно не превышает 100.

Для проверки корректности и степени оптимальности решения данная задача также была запрограммирована на языке высокого уровня в математической среде Maple, и решена методами целочисленного линейного программирования (ЦЛП) и полного перебора всевозможных комбинаций (всего  $220 = 1048576$  вариантов) значений неизвестных переменных.

Результаты решения в обоих случаях получился таким же, как в MS Excel, и таким образом решение, полученное в MS Excel для данной задачи, является абсолютным (глобальным) оптимумом. Ниже на рис. 8 показано решение задачи в среде Maple методами целочисленного линейного программирования и полного перебора.

Исследование вычислительной эффективности. Исследуем эффективность использования вычислительных ресурсов современных компьютеров при решении задач оптимизации в MS Excel. Для этого

будем использовать компьютер с современным 4-ядерным процессором Intel Core i9 с поддержкой всех современных технологий, в том числе команд векторной обработки данных SSE (Streaming SIMD Extensions, SIMD – Single Instruction Multiple Data). Для мониторинга загрузки ядер процессоров будем использовать системную утилиту диагностики, управления и мониторинга Process Explorer для операционных систем MS Windows.

Результаты мониторинга загрузки ядер процессора во время решения задачи оптимизации представлены на рисунке 9.

Достаточно очевидно, что время решения задачи активно используется только одно ядро процессора, загрузка остальных ядер близка к нулю. Справедливости ради стоит отметить, что MS Excel запускает при этом 5 исполняемых потоков (threads) – один управляющий и 4 рабочих потока, которые назначаются на различные ядра процессора. Однако, основную нагрузку несет на себе один управляющий поток, а участие 4 рабочих потоков в вычислительном процессе незначительно. Иными словами, в программном обеспечении MS Excel присутствует распараллеливание вычислительного процесса при поиске решения задач оптимизации, но оно, очевидно, неэффективно.

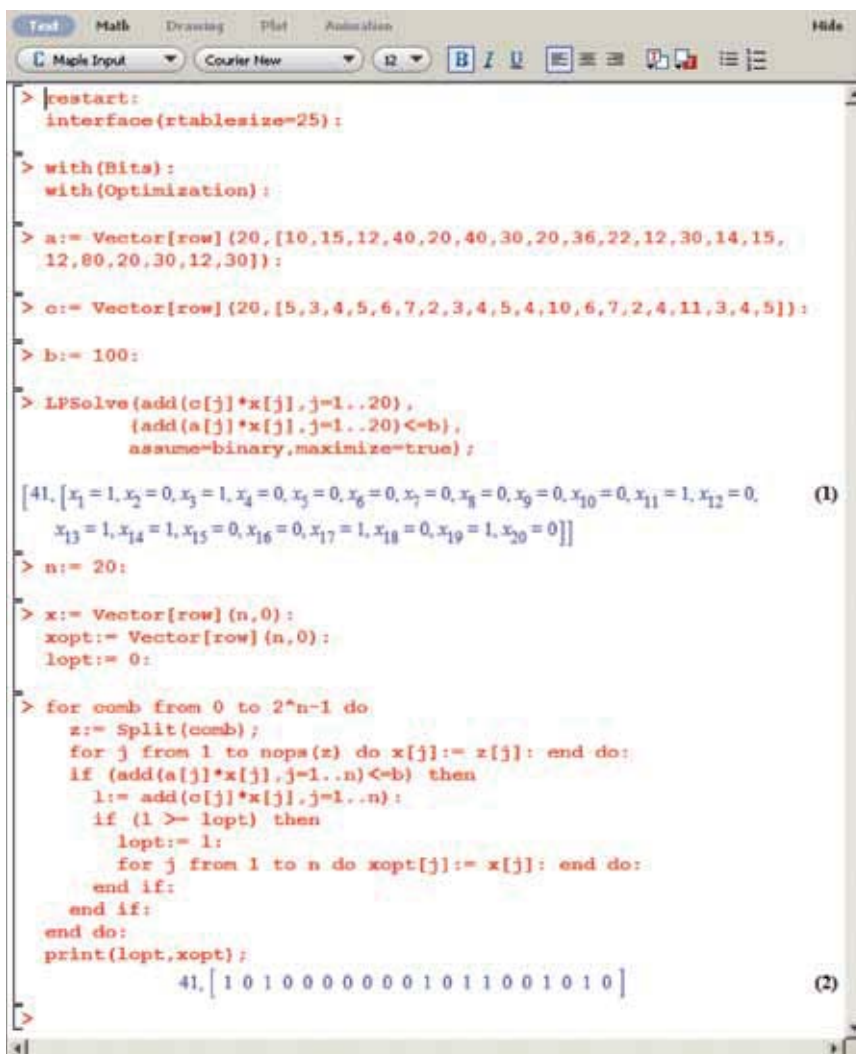


Рисунок 8. Окно программной среды Maple с решением задачи

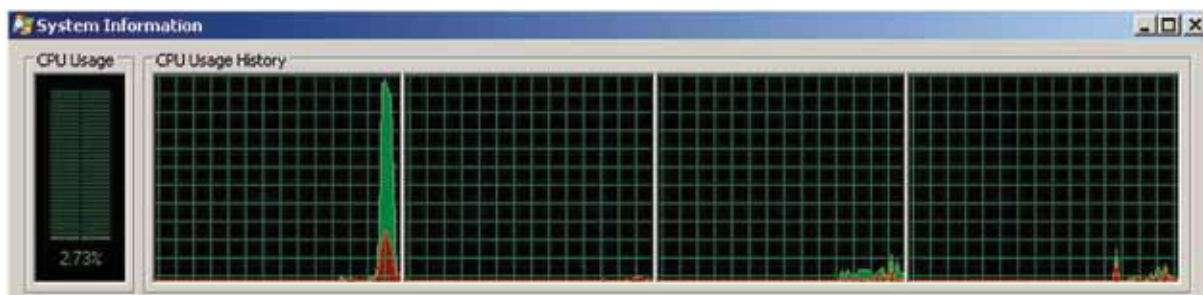


Рисунок 9. Загрузка ядер процессора при решении задачи в MS Excel

Рассмотрим теперь время решения исходной задачи с одной целевой функцией и одним ограничением, а также модифицированных задач с дополнительными одним ограничением и двумя ограничениями. Число переменных при этом оставим неизменным равным 20.

Для модифицированных задач будем использовать следующие 2-е и 3-е ограничение. Второе ограничение:

$$5x_1 + 7x_2 + 9x_3 + 8x_4 + 2x_5 + 5x_6 + 7x_7 + 3x_8 + 8x_9 + 7x_{10} + 5x_{11} + 6x_{12} + 8x_{13} + 9x_{14} + 6x_{15} + 5x_{16} + 2x_{17} + 3x_{18} + 4x_{19} + 5x_{20} \leq 40.$$

Третье ограничение:

$$19x_1 + 13x_2 + 17x_3 + 20x_4 + 25x_5 + 35x_6 + 12x_7 + 8x_8 + 14x_9 + 22x_{10} + 33x_{11} + 25x_{12} + 26x_{13} + 12x_{14} + 44x_{15} + 25x_{16} + 75x_{17} + 12x_{18} + 22x_{19} + 13x_{20} \leq 140.$$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
Решение		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Цель		0	5	3	4	5	6	7	2	3	4	5	4	10	6	7	2	4	11	3	4	5
	100	0	10	15	12	40	20	40	30	20	36	22	12	30	14	15	12	80	20	30	12	30
	40	0	5	7	9	8	2	5	7	3	8	7	5	6	8	9	6	5	2	3	4	5

Рисунок 10. Таблица MS Excel для задачи с двумя ограничениями

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
Решение		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Цель		0	5	3	4	5	6	7	2	3	4	5	4	10	6	7	2	4	11	3	4	5
	100	0	10	15	12	40	20	40	30	20	36	22	12	30	14	15	12	80	20	30	12	30
	40	0	5	7	9	8	2	5	7	3	8	7	5	6	8	9	6	5	2	3	4	5
	140	0	19	13	17	20	25	35	12	8	14	22	33	25	26	12	44	25	75	12	22	13

Рисунок 11. Таблица MS Excel для задачи с тремя ограничениями

Соответственно, модифицированная задача с двумя ограничения в MS Excel выглядит следующим образом (рисунок 10).

Соответственно, модифицированная задача с тремя ограничениями в MS Excel выглядит следующим образом (рисунок 11).

Ниже на линейчатой диаграмме (рисунок 12) наглядно показано сравнение времен решения в MS Excel исходной задачи с одним ограничением, и модифицированных задач с двумя и тремя ограничениями.

Таким образом, с одной стороны при неизменном числе переменных рост количества ограничений все же приводит к заметному росту времени решения задач в MS Excel, поскольку, очевидно, дополнительные ограничения приводят к дополнительным операциям умножения и сложения.

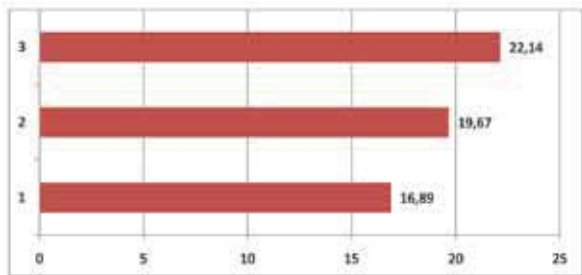


Рисунок 12. Времена решения задач при различном числе ограничений

С другой стороны, векторные команды (SSE) современных процессоров позволяют одной командой выполнять операции одновременно над 4-мя

парами операндов одинарной точности или над 2-мя парами операндов двойной точности. Соответственно, вычисление целевой функции и левых частей ограничений, по сути являющихся аддитивно-взвешенными функциями, задач оптимизации при поиске решений можно осуществлять параллельно. Однако, достаточно очевидно, что в MS Excel эти возможности не задействованы, поскольку при использовании команд SSE-команд в процессе решения задач добавление одного или двух дополнительных ограничений не приводило бы к росту времени решения за счет распараллеливания арифметических операций для группы из нескольких (до 4) аддитивно-взвешенных функций.

Заключение. Таким образом, подводя итог, можно сказать, что хотя и большинство современных информационных систем класса ERP не включают в себя функционал математической оптимизации для широкого класса задач поиска и принятия решений, но обеспечивают взаимодействие с повсеместно доступным средством анализа и обработки данных – MS Excel. Данное программное средство к тому содержит в себе специальную надстройку для решения задач линейной и нелинейной оптимизации с непрерывными, дискретными и булевыми переменными.

Однако, экспериментальное исследование показывает что вычислительные мощности современных компьютеров с многоядерными процессорами с поддержкой векторной обработки множества данных используются неэффективно – фактически используется только одно ядро процессора, а векторные команды и вовсе не задействуются.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Аверченков В.И., Лозбинев Ф.Ю., Тищенко А.А. Информационные системы в производстве и экономике: учебное пособие. – 2-е изд. – М.: ФЛИНТА, 2011.

2 Листьев Г.А., Попова И.В. Технологии поддержки принятия решений. – 2-е изд. – М.: ФЛИНТА, 2011.

3 Кашаев С.М. 1С: Предприятие 8.3. Программирование и визуальная разработка на примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015.

4 Ковалев М.М. Дискретная оптимизация. – М.: УРСС, 2011.

5 Карлберг К. Бизнес-анализ с помощью Excel / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.

6 Шарипов М.И. Оценка эффективности использования вычислительных ресурсов современных процессоров Intel при решении задач псевдобулевой оптимизации средствами Microsoft Excel // *Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещения: проблемы и пути решения: сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием.* – Т. 2 – Уфа: Издательство УГНТУ, 2015. – С. 328-329.

7 Барри Брэй. Микропроцессоры Intel: 8086/8088, 80186/80188, 80286, 80386, 80486, Pentium, Pentium Pro Processor, Pentium II, Pentium III, Pentium IV. Архитектура, программирование и интерфейсы. – 6-е изд. – СПб: БХВ-Петербург, 2005.

8 Зубков С.В. Assembler для DOS, Windows и UNIX. – 3-е изд. – М.: ДМК, 2004.

9 Быковский Н.А., Федоров В.М. Компьютерное моделирование электрических и электронных схем в курсе «Основы электротехники и электроники» // *Актуальные проблемы химической технологии и подготовки кадров. Всероссийская научно-практическая конференция.* – Уфа: Издательство УГНТУ, 2006. – С. 85.

10 Быковский Н.А., Федоров В.М. Электродиализная обработка раствора аминокислот в трехкамерном электролизаторе с ионообменными мембранами // *Актуальные проблемы химической технологии и подготовки кадров. Всероссийская научно-практическая конференция.* – Уфа: Издательство УГНТУ, 2006. – С. 128-129.

11 Боев Е.В., Афанасенко В.Г., Насыров Р.Р., Федоров В.М. О необходимости совершенствования насадочных устройств промышленных градирен // *Техника и технология. Теория. Практика. Сборник научных докладов.* – Warszawa: «Diamond trading tour», 2014. – С. 29-30.

12 Назаров Э.И., Федоров В.М. Автоматизация системы управления паровым котлом ДЕ 16-14 // *Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещения: проблемы и пути*

*решения: сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием.* – Т. 2 – Уфа: Издательство УГНТУ, 2015. – С. 286-288.

13 Гильманов Р.Ф., Федоров В.М. Автоматизированная система управления содовой печью №5 цеха кальцинации №1 на ОАО «БСК» // *Фундаментальные и прикладные исследования в технических науках в условиях перехода предприятий на импортозамещения: проблемы и пути решения: сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием.* – Т. 2 – Уфа: Издательство УГНТУ, 2015. – С. 288-290.

## REFERENCES

1 Averchenkov V.I., Lozbinov F.Yu., Tishchenko A.A. Informacionnye sistemy v proizvodstve i ehkonomie: uchebnoe posobie. – 2-e izd. – М.: FLINTA, 2011.

2 List'ev G.A., Popova I.V. Tekhnologii podderzhki prinyatiya reshenij. – 2-e izd. – М.: FLINTA, 2011.

3 Kashaev S.M. IS: Predpriyatie 8.3. Programirovanie i vizual'naya razrabotka na primerah. – Spb.: BHV-Peterburg, 2015.

4 Kovalev M.M. Diskretnaya optimizaciya. – М.: URSS, 2011.

5 Karlberg K. Biznes-analiz s pomoshch'yu Excel / Per. s angl. – М.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2001.

6 Sharipov M.I. Ocenka ehffektivnosti ispol'zovaniya vychislitel'nyh resursov sovremennyh processorov Intel pri reshenii zadach psevdobulevoj optimizacii sredstvami Microsoft Excel // *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v tekhnicheskikh naukah v usloviyah perekhoda predpriyatij na importozameshcheniya: problemy i puti resheniya: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-tekhneskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* – Т. 2 – Уфа: Izdatel'stvo UGNTU, 2015. – С. 328-329.

7 Barri Brehj. Mikroprocessory Intel: 8086/8088, 80186/80188, 80286, 80386, 80486, Pentium, Pentium Pro Processor, Pentium II, Pentium III, Pentium IV. Arhitektura, programirovanie i interfejsy. – 6-e izd. – Spb: BHV-Peterburg, 2005.

8 Zubkov S.V. Assembler dlya DOS, Windows i UNIX. – 3-e izd. – М.: ДМК, 2004.

9 Bykovskij N.A., Fedorov V.M. Komp'yuternoe modelirovanie ehlektricheskikh i ehlektronnyh skhem v kurse

«Osnovy ehlektrotekhniki i ehlektroniki» // *Aktual'nye problemy himicheskoy tekhnologii i podgotovki kadrov. Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya.* – Ufa: Izdatel'stvo UGNTU, 2006. – С. 85.

10 Bykovskij N.A., Fedorov V.M. Elektrodializnaya obrabotka rastvora aminohlorgidrata v trekhkamernom ehlektrodializatore s ionoobmennymi membranami // *Aktual'nye problemy himicheskoy tekhnologii i podgotovki kadrov. Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya.* – Ufa: Izdatel'stvo UGNTU, 2006. – С. 128-129.

11 Boev E.V., Afanasenko V.G., Nasyrov R.R., Fedorov V.M. O neobhodimosti sovershenstvovaniya nasadochnyh ustrojstv promyshlennyh gradiren // *Tekhnika i tekhnologiya. Teoriya. Praktika. Cbornik nauchnyh dokladov.* – Warszawa: «Diamond trading tour», 2014. – С. 29-30.

12 Nazarov Eh.I., Fedorov V.M. Avtomatizaciya sistemy upravleniya parovym kotlom DE 16-14 // *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v tekhnicheskikh naukah v usloviyah perekhoda predpriyatij na importozameshcheniya: problemy i puti resheniya: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-tekhneskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* – Т. 2 – Уфа: Izdatel'stvo UGNTU, 2015. – С. 286-288.

13 Gil'manov R.F., Fedorov V.M. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya sodovoj pech'yu №5 cehka kal'cinacii №1 na ОАО «БСК» // *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v tekhnicheskikh naukah v usloviyah perekhoda predpriyatij na importozameshcheniya: problemy i puti resheniya: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-tekhneskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem.* – Т. 2 – Уфа: Izdatel'stvo UGNTU, 2015. – С. 288-290.

*Шарипов М.И., канд.техн.наук, доцент кафедры «Автоматизированные технологические и информационные системы», УГНТУ, филиал в г. Стерлитамаке, Российская Федерация*  
*M. I. Sharipov, candidate of technical sciences Associate professor of the chair «Automated Technological and Informational Systems», USPTU, branch in the Sterlitamak, the Russian Federation*