

9. Laptev V. V., Morozov A. V. Metod otsenki deyatelnosti razrabotchikov obektno-orientirovannogo programmno obespecheniya [The method of evaluation of the development of object-oriented software]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University], 2010, no. 1, pp. 122–126.

10. Pavlov A. N. *Upravlenie proektami na osnove standarta PMI PMBOK®. Izlozhenie metodologii i opyt primeneniya* [Project Management based on the standard PMI PMBOK®. Description of the methodology and application experience]. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy, 2012. 208 p.

11. Petelin K. S., Rybakov I. M., Yurkov N. K. Modeli i metod organizatsii kontseptualnogo multiproektnogo upravleniya [Models and methods of conceptual multiproject management]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High technologies], 2014, no. 3, pp. 10–18.

12. Politsyn S. A. Sistema planirovaniya proektov razrabotki programmno obespecheniya [System planning software development projects]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of Voronezh State University. Series: System analysis and information technologies], 2013, no. 1, pp. 136–141.

13. Skorokhod P. V., Sviridov A. S. *Upravlenie IT-proektami. Standarty* [Management of IT-projects. Standards]. Rostov-on-Don, South Federal Univ. Publ., 2013. 220 p.

14. Starusev A. V. Metod otsenki trudoemkosti protsessov programmirovaniya [Evaluation method laborious process of programming]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2012, no. 4, pp. 51–54.

15. Khivintsev M. A. Tselevoe upravlenie kompaniy s ispolzovaniem system imitatsionnogo modelirovaniya [The company's management of objectives using simulation systems]. *Sovremennaya nauka: aktualnye problem teorii i praktiki. Seriya: ekonomika i pravo* [Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Economics and Law], 2003, no. 11, pp. 46–52.

16. Belov A. G., Kravets A. G. Business Performance Management in Small and Medium Businesses and Functional Automation. *World Applied Sciences Journal (WASJ)*, 2013, vol. 24, spec. issue 24: Information Technologies in Modern Industry, Education & Society, pp. 7–11.

17. Kaplan R. S., Norton D. P. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Boston, 1996. 336 p.

18. Kravets A. G., Gurtjakov A. S., Darmanian A. P. Enterprise Intellectual Capital Management by Social Learning Environment Implementation. *World Applied Sciences Journal*, 2013, no. 23 (7), pp. 956–964.

УДК 681.518.3

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ С СИГМА-ДЕЛЬТА АРХИТЕКТУРОЙ**

*Статья поступила в редакцию 14.09.2014, в окончательном варианте 23.11.2014.*

*Ашанин Василий Николаевич*, кандидат технических наук, профессор, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: eltech@pnzgu.ru

*Чувыкин Борис Викторович*, доктор технических наук, профессор, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: chuvykin\_bv@mail.ru

*Долгова Ирина Анатольевна*, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: dolgovair@mail.ru

*Коротков Алексей Александрович*, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: lexifer@mail.ru

*Сидорова Ирина Александровна*, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: irina-penza@mail.ru

Статья посвящена разработке инженерного приложения в виде системы поддержки принятия решений (СППР) с интегрированной базой данных (БД) сигма-дельта преобразователей информации. Эта задача актуальна в связи с тем, что из-за их уникальных технических и метрологических характеристик уже сегодня номенклатура выпускаемых интегральных сигма-дельта АЦП составляет несколько сотен единиц и продолжает увеличиваться. Учитывая, что основные достижения в этой области принадлежат в основном нескольким зарубежным фирмам, большой интерес представляет анализ структурных и алгоритмических решений, применяемых в их разработках. Авторами статьи собрана информация на официальных интернет-ресурсах ведущих в данной отрасли производителей интегральных микросхем (Analog Devices, Texas Instruments/Burr-Brown, Maxim Integrated Products) о более чем двухстах преобразователей информации с сигма-дельта архитектурой (ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой). Собранная информация занесена в БД формата SQLite, интегрированную в разработанное приложение. В статье описываются функциональные возможности СППР для пользователей различного уровня подготовки. Соответственно, предусмотрено два режима работы СППР: режим «Новичок» и режим «Эксперт». Режим новичка может применяться как справочно-ознакомительное пособие для студентов, аспирантов, специалистов в области высокоточного аналого-цифрового преобразования. В режиме эксперта осуществляется выбор микросхемы из данного класса преобразователей с возможностью задания приоритета поиска путем интерактивного ввода весовых коэффициентов для параметров. Для экспертов предлагается открытая форма БД с возможностью редактирования информации о ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой. Приведены экранные формы для работы с СППР. Разработанное инженерное приложение может быть использовано для оптимизации выбора электронно-компонентной базы, соответствующей требованиям инженера-разработчика; при проектировании сложных функциональных блоков в составе информационно-измерительных систем.

**Ключевые слова:** сигма-дельта модулятор, сигма-дельта АЦП, сигма-дельта архитектура, преобразователи информации, система поддержки принятия решений, выбор оптимального решения, параметры интегральных микросхем

### **THE SUPPORT DECISION SYSTEM MAKING THE SELECTION OF CONVERTERS WITH SIGMA-DELTA ARCHITECTURE**

*Ashanin Vasilij N.*, Ph.D. (Engineering), Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: eltech@pnzgu.ru

*Chuykin Boris V.*, D.Sc. (Engineering), Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: chuykin\_bv@mail.ru

*Dolgova Irina A.*, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: dolgovair@mail.ru

*Korotkov Aleksey A.*, post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: lexifer@mail.ru

*Sidorova Irina A.*, post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: irina-penza@mail.ru

The article is devoted to development of engineering applications in the form of a decision support system with an integrated database of the sigma-delta converters information. This problem is relevant in connection with the fact that because of their unique technical and metrological characteristics of today nomenclature produced integrated sigma-delta ADC is a few hundred units and growing. The main achievements in this field are due mainly to several foreign companies, of great interest is the analysis of structural and algorithmic solutions applied in their development. The authors collected information on the official internet resources in the industry's leading manufacturers of integrated circuits Analog Devices, Texas In-

struments / Burr-Brown, Maxim Integrated Products of more than two hundred converters with delta-sigma architecture. The information collected is entered into the SQLite database, integrated in the developed application. This article describes the functionality of the decision support system for users of different skill levels. Accordingly, there are two modes: mode "Beginner" and mode "Expert". Mode "Beginner" can be used as an introductory reference book for students, graduate students and other professionals in the field of high-precision analog-to-digital conversion. In mode "Expert" selects the chip converters of this class with the ability to prioritize a search by interactive input weighting coefficient parameters. For experts proposed open form database with the ability to edit the information about converters with delta-sigma architecture. Screen forms are given to work with decision support system. Developed engineering applications can be used to select the electron-component basis, consistent with the requirements engineer in the design of complex functional blocks consisting of information-measuring systems.

**Keywords:** sigma-delta modulator, a sigma-delta ADC, sigma-delta architecture, data converters, decision support system, the choice of the optimal solution, the parameters of integrated circuits

В последние годы в промышленном и исследовательском оборудовании, медицинской технике, аудио- и видеоаппаратуре и во многих других классах устройств для высокоточной обработки информации широко применяются преобразователи информации (ПИ) с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой. Они обладают уникальными метрологическими и эксплуатационными характеристиками: высокими линейностью функции преобразования и помехоустойчивостью, низким энергопотреблением. Благодаря возможности их технической реализации полностью по цифровой технологии и достижениям в области производства недорогих цифровых интегральных микросхем, ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой используются в «системах на кристалле» [1, 5, 12, 18].

Производством таких преобразователей занимаются несколько зарубежных компаний, крупнейшими из которых являются Texas Instruments/Burr-Brown [17], Analog Devices [14], Maxim Integrated Products [16]. Анализ рынка интегральных микросхем показал, что ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой этих компаний наиболее востребованы, а номенклатура таких микросхем насчитывает по состоянию на третий квартал 2014 г. уже около 250 наименований [2]. В связи с широким спектром решаемых на основе использования данного типа микросхем научных и производственных задач, в рамках импортозамещения к процессу выпуска интегральных ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой присоединились и отечественные производители [7, 8]. Это также расширяет номенклатуру изделий из которых может осуществляться выбор при проектировании оборудования. Поэтому целью настоящей статьи было обоснование решений, принятых при разработке системы поддержки принятия решений (СППР) для анализа информации и поддержки процедур такого выбора.

**Характеристика актуальности разработки.** ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой являются ключевыми компонентами в современных информационно-измерительных устройствах и системах, а их правильный выбор имеет решающее значение при оптимизации разрабатываемых систем. Учитывая большую номенклатуру выпускаемых по интегральной технологии ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой, существенную зависимость их метрологических и эксплуатационных характеристик от структурной реализации и алгоритма функционирования [3, 12, 13], актуально создание инженерного приложения в виде СППР, дающего возможность разработчику электронной аппаратуры целенаправленного выбора оптимальной микросхемы для решения стоящей перед ним задачи.

На сайтах производителей ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой не представлена в явном виде информация (таблица) по архитектурным особенностям и метрологическим характеристикам, таким как эффективная разрядность, порядок модулятора, уровень квантователя, количество каскадов, используемый цифровой фильтр и др. Эти данные приведены в сопроводительной документации (в виде .pdf файла) отдельно по каждому ПИ на английском языке, что суще-

ственно затрудняет оперативный поиск подходящей по характеристикам микросхемы в процессе проектирования.

В настоящее время не существует аналогов разрабатываемой СППР, предназначенных для использования в свободном доступе. Важное научное значение для российских разработчиков имеет и тот факт, что данное инженерное приложение будет систематизировать информацию о ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой нескольких фирм согласно классификационным признакам, приведенным в ряде работ [1, 5, 10, 18]; иметь интуитивный интерфейс; обеспечивать фильтрацию микросхем с возможностью выбора значений параметров отбора и установкой их приоритетности.

**Обоснование выбора параметров ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой, которые целесообразно использовать при оптимизации проектных решений.** Автоматизированная информационная СППР для выбора ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой состоит из БД и программного средства (приложения) для работы с ней. БД содержит информацию о ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой, включающую на момент написания данной статьи более двух сотен наименований микросхем и сопроводительную документацию. При создании СППР были разработаны концептуальная, логическая и физическая модели данных [11]. Логическое проектирование выполнялось по технологии IDEFO. Физическая модель данных разработана для СУБД SQLite. Она является свободно распространяемым программным продуктом (в отличие от MySQL и СУБД Oracle), обеспечивает в полной мере выполнение функций разработанной СППР. Для решений на основе SQLite характерны легкость использования и управления, а также производительность и эффективное применение аппаратных ресурсов [15].

Приложение написано на языке C++ с использованием библиотеки Qt-5, имеющей широкий функционал и удобный пользовательский интерфейс. По классификации, приведенной в работе [6], разрабатываемая СППР может быть отнесена к активным СППР, управляемым данными (Data-Driven DSS).

Номенклатура основных метрологических, технических и эксплуатационных параметров, приводимых изготовителями в паспортных данных на изделия, достигает двух десятков. Чтобы принять решение, какие значимые параметры использовать в разрабатываемой СППР при оптимизации выбора ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой, авторами был проведен анализ характеристик микросхем, выпускаемых ведущими в электронной отрасли компаниями Texas Instruments/Burr-Brown, Analog Devices, Maxim Integrated Products. При этом выявлен ряд общих свойств (параметров), присущих всем рассмотренным ПИ.

БД содержит информацию о наименовании и типе преобразователей, а также следующих параметрах: «Точность», «Быстродействие», «Мощность», «Цена», «Тип корпуса», «Тип интерфейса», «Тип выхода», «Разрядность», «Производитель», «Тип интегратора», «Частота дискретизации», «Количество каналов», «Порядок модулятора», «Количество каскадов», «Уровень квантователя», «Используемый фильтр», «Год выпуска», «Примечание», «Страница документации». Значения «не задействованных» в СППР параметров, таких как массогабаритные размеры, количество выводов и др., приведены в сопроводительной документации к каждой микросхеме (DataSheet), ссылки на которую указаны в поле «Страница документации».

Основной функцией разработанной СППР является поиск по заданным параметрам (критериям отбора). На основании результатов экспертного опроса специалистов кафедр «Измерительная техника», «Приборостроение», «Электротехника и транспортное электрооборудование», «Информационно-вычислительные системы» Пензенского государственного университета были отобраны следующие приоритетные параметры, важные при выборе преобразователей: быстродействие, точность (погрешность), потребляемая мощность (ток), заявленная разрядность, тип интерфейса, тип корпуса, тип выхода (форма выходного сигнала), цена.

В ходе анализа характеристик выбранных приоритетных параметров для использования в СППР авторами настоящей статьи было предложено следующее деление характеристик микросхем по классам:

- быстродействие: высокое (свыше 10М выборок в секунду), среднее (от 10 к до 10 М), малое (до 10 к), где к – кило ( $10^3$ ), М – мега ( $10^6$ );
- точность (эффективная разрядность, ENOB – Effective Number of Bits): высокая (от 20 бит), средняя (16-20 бит), низкая (до 16 бит);
- потребляемая мощность: маломощные (до 100 мВт), мощные (свыше 100 мВт);
- заявленная разрядность: высокая (от 20 бит), средняя (16-20 бит), низкая (до 16 бит);
- тип интерфейса: последовательный (serial), параллельный (parallel), иной (I2C, SPI, 2-Wire, Parallel CMOS, Parallel LVDS);
- тип корпуса: PDIP, CDIP, SOIC, TSSOP, VSSOP, SSOP, QSOP, MSOP, SOP, SOT, QFN, TQFN, VQFN, WQFN, LQFP, MQFP, TQFP, HTQFP, NFBGA,  $\mu$ MAX, XCEPT, CFP, LFCSP, WLCSP, PLCC (номенклатура корпусов взята из прилагаемых сопроводительных информационных листов микросхем – DataSheet);
- тип выхода: аналоговый (токовый), цифровой;
- цена: дорогие (свыше 50 \$), средние (10–50 \$), недорогие (до 10 \$).

**Назначение и режимы работы СППР.** Описываемая СППР предназначена для широкого круга пользователей. Поэтому она спроектирована так, что позволяет выполнять две функции: обучающую (предполагаемую для использования в учебном процессе) и профессиональную (для специалиста). Поэтому в СППР предусмотрены два режима работы: режим **Новичка** и **Эксперта** (рис. 1). Пользователь задает один или большее количество критериев отбора микросхемы, а приложение последовательно обрабатывает введенный запрос и выводит результаты в виде таблицы. Начальный вид окна СППР показан на рис. 1.

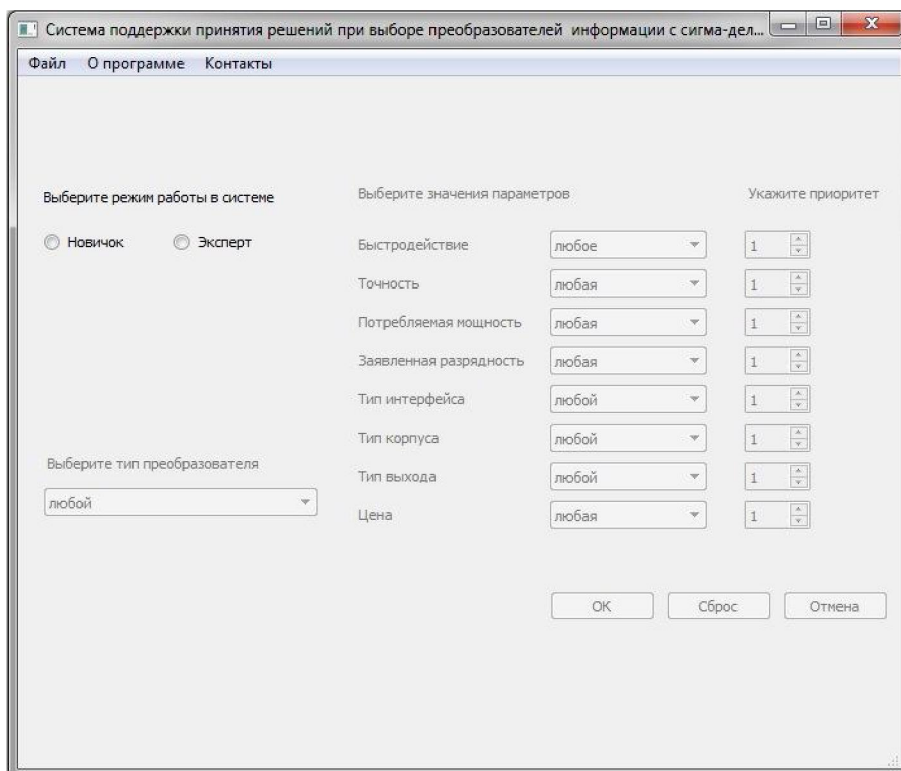


Рис. 1. Интерфейс СППР с возможностью выбора режима работы

Использование СППР в режиме **Новичка** носит информационно-ознакомительный характер; не позволяет осуществлять действия по редактированию БД. Данный режим предполагает выбор типа преобразователя по значениям его параметров без возможности выставления приоритета поиска – поэтому доступ к данной операции заблокирован (рис. 2).

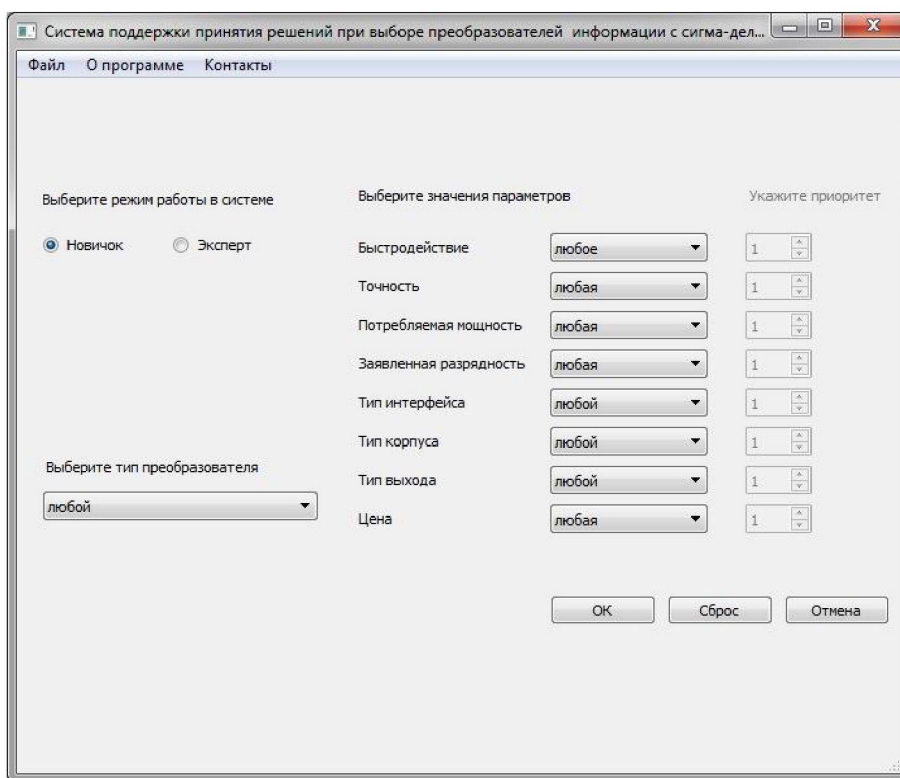


Рис. 2. Интерфейс СППР в режиме **Новичка**

Алгоритм функционирования СППР в режиме **Новичка**.

1. Первоначально фильтрация микросхем происходит по заданному типу преобразователя. Предполагается выбор из существующих типов ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой: специализированные (Front-End), одноканальные сигма-дельта АЦП, многоканальные сигма-дельта АЦП, сигма-дельта модуляторы. По умолчанию задано значение «любой», при этом отбор будет производиться по всем четырем типам преобразователей (рис. 3).

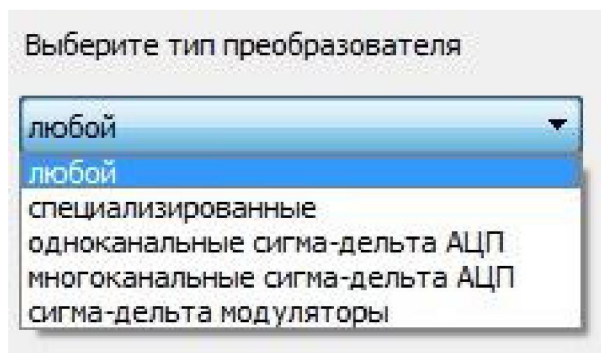


Рис. 3. Выбор типа преобразователя

2. Микросхемы фильтруются СППР по выбранным пользователем значениям параметров, начиная с верхнего и далее ниже в порядке очередности (рис. 4).

Рис. 4. Пример выбора значений параметров

3. Результатом работы СППР является таблица с отобранными ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой, удовлетворяющими заданным пользователем значениям параметров (рис. 5).

	Наименование	п преобразовате	Точность (бит)	йствие (выборок,	Мощность (мВт)	Цена (\$)	Тип
1	AD1555	СИГМА-ДЕЛЬТ...	20	16000	96	24.86	28 Id I
2	AD7142	МНОГОКАНА...	16	27.8	3.6	1.37	32 Id I
3	AD7143	МНОГОКАНА...	16	43.5	3.6	1.25	16 Id I
4	AD7147	МНОГОКАНА...	16	111	3.6	1.28	24 Id I
5	AD7147A	МНОГОКАНА...	16	111	3.6	1.25	25 Val
6	AD7148	МНОГОКАНА...	16	4	3.3	1.21	16 Id I
7	AD7150	МНОГОКАНА...	12	200	0.43	1.37	-
8	AD7151	ОДНОКАНАЛЬ...	12	100	0.3	1.37	-
9	AD7152	МНОГОКАНА...	12	200	0.432	1.97	-

Микросхема: Добавить Редактировать Удалить Поиск По возрастанию Документация: Добавить Обновить Удалить Открыть

Рис. 5. Окно результата работы СППР в режиме Новичка

Режим **Эксперта** осуществляет функцию поиска оптимальных решений при выборе ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой. Особенности работы СППР в этом режиме: отбор микросхем по заданным параметрам с расстановкой приоритетов; самостоятельное обновление пользователем БД.

С целью дополнительной защиты от некорректного редактирования интегрированной в систему БД пользователем, не являющимся специалистом, режим **Эксперта** предусматривает авторизацию пользователя с введением пароля (рис. 6).

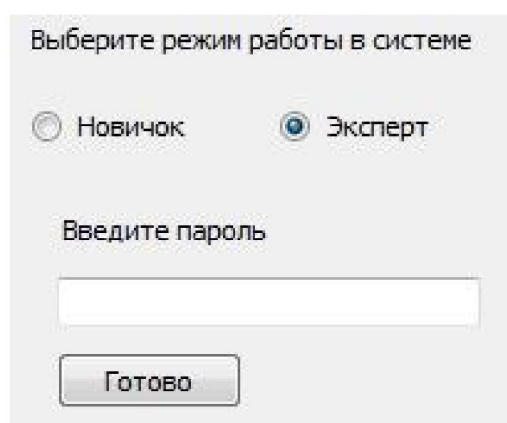


Рис. 6. Авторизация СППР в режиме **Эксперта** с введением пароля

Алгоритм функционирования СППР в режиме **Эксперта**:

1. Фильтрация микросхем по заданному типу преобразователя (аналогично п. 1 алгоритма функционирования СППР в режиме **Новичка**).

2. Выбор значений параметров микросхем (аналогично п. 2 алгоритма функционирования СППР в режиме **Новичка**).

3. Выставление приоритетов последовательности поиска микросхем по выбранным значениям параметров, степень важности которых проставляется по балльной шкале от 1 до 8 (1 – самые важные, 8 – наименее важные). По умолчанию все значения приоритетов заданы как «1». Если пользователь не задал приоритеты вручную, либо ввел несколько одинаковых значений приоритетов, фильтрация происходит поочередно по каждому параметру – в порядке следования полей в окне с критериями отбора по схеме «сверху-вниз».

4. Далее система в той последовательности, в которой были заданы значения приоритетов, производит фильтрацию значений БД, начиная с высшего приоритета по убывающей. Фильтрация реализуется путем выбора значений соответствующих параметров на взаимоисключающей основе в пользу микросхем с более высоким приоритетом.

Так, например, зададим тип преобразователя «сигма-дельта модуляторы» и следующие параметры: быстродействие «высокое» со значением приоритета «1», точность «средняя» со значением приоритета «2», потребляемая мощность «микромощные» со значением приоритета «3» и остальные параметры со значением приоритетов «8» (рис. 7).

СППР вначале выберет из БД все сигма-дельта модуляторы, затем отфильтрует (сохранит в списке) модуляторы с высоким быстродействием. Далее по приоритетности СППР выбирает модуляторы из уже отфильтрованных со «средней» точностью, после чего происходит поиск по значению мощности («микромощные»). В данном случае нет соответствий по параметру заданной мощности. Поэтому в окно результата СППР выводится сообщение «Нет микросхем с указанным энергопотреблением» и отображается микросхема, соответствующая двум значениям параметров, использованным ранее при фильтрации (рис. 8).



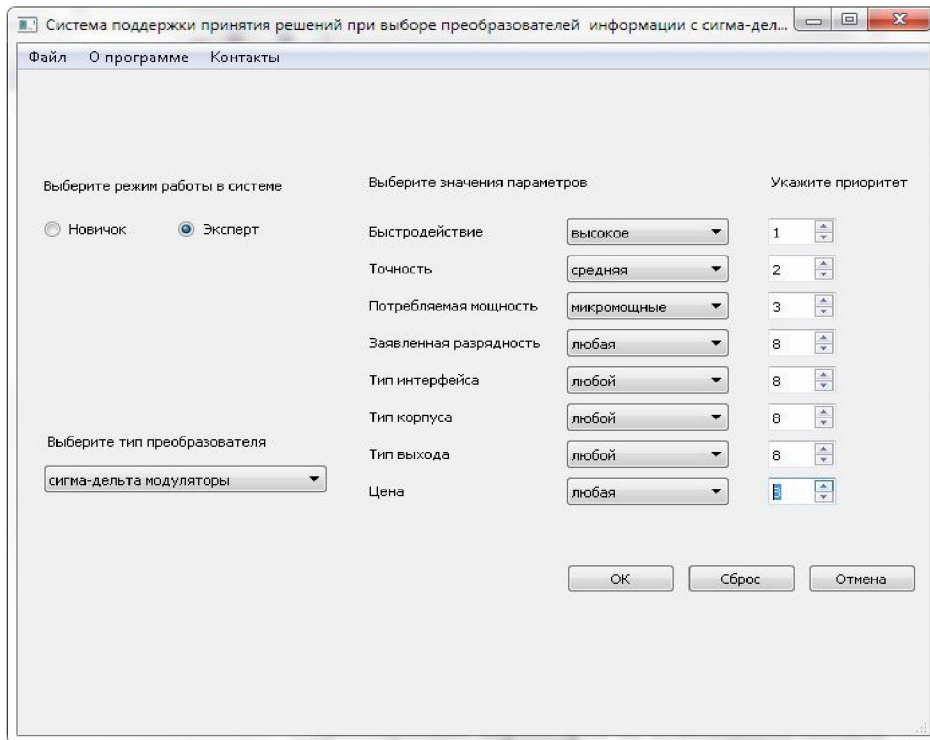


Рис. 7. Пример выбора значений параметров и их приоритетов в режиме Эксперта

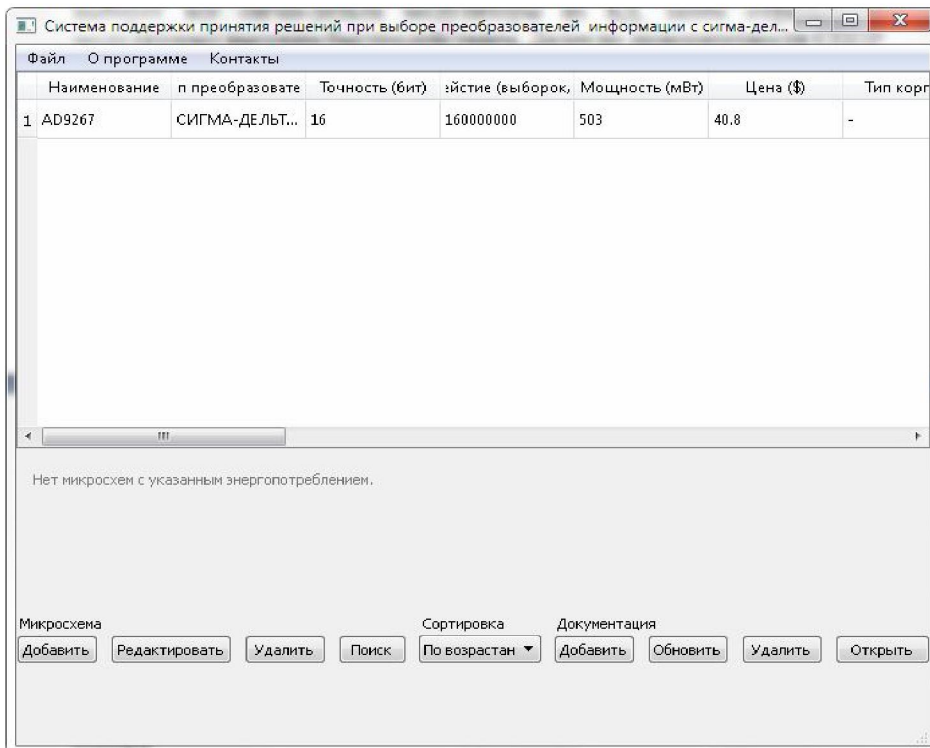


Рис. 8. Пример окна результата работы СППР в режиме Эксперта

Итак, конечным результатом работы СППР является таблица с отображенными ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой, удовлетворяющих заданным пользователем значениями параметров и их приоритетами.

БД СППР имеет открытую структуру, что дает возможность Эксперту добавлять новые микросхемы, удалять снятые с производства, добавлять сопроводительную документацию (DataSheet), редактировать имеющуюся информацию (рис. 9 а, б).

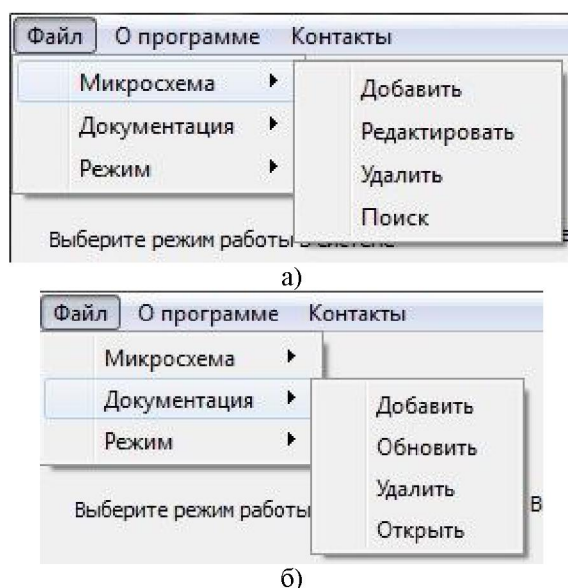


Рис. 9. Вкладка «Файл» в режиме Эксперта

Помимо вкладки «Файл» главной панели, осуществлять функции добавления и редактирования записей интегрированной БД в режиме Эксперта можно непосредственно в окне с отображенными результатами поиска (рис. 8).

**Системные требования.** Администратором СППР назначается сотрудник организации, ответственный за внесение изменений и обновление БД. СППР совместима с семейством операционных систем Windows и имеет следующие минимальные системные требования, необходимые для ее нормальной эксплуатации:

- Windows XP и выше;
- DirectX 9.0c и выше;
- ОЗУ 512 Мб и выше;
- размер на жестком диске после инсталляции 300 Мб;
- видеопамять 64Мб и выше;
- наличие CD-ROM/DVD-ROM привода или разъем USB 2.0.

**Заключение.** В статье представлена инновационная СППР для выбора ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой. Результатом работы СППР является таблица с возможностью сортировки по возрастанию/убыванию в алфавитном порядке с гиперссылкой на документацию производителя (DataSheet) по микросхеме. Разработанная СППР уникальна по своему функционалу среди разработок открытого доступа для данной специализированной предметной области.

Данное приложение будет востребованным благодаря росту уровня спроса на ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой как за рубежом, так и в России. В РФ есть несколько компаний, занимающихся разработкой электроники, которые начали освоение технологии производства  $\Sigma\Delta$ -АЦП. Сложность производства таких ПИ связана с отсутствием (недостатком) в России соответствующих технологических мощностей и лицензированных технологий.

В настоящее время существует несколько САПР в области радиоэлектроники, позволяющие разработчикам создавать модели ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой и оценивать их динамические характеристики. Например это Matlab/Simulink, Multisim/Electronics Workbench, Micro-Cap, LabView, OrCad, Proteus. Однако базы данных компонентов существующих САПР не содержат готовых к использованию блоков микросхем с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой и «прямых» средств поддержки оптимизации выбора нужных изделий.

В силу этого разработанная СППР может использоваться не только как инженерное приложение для решения задачи выбора оптимальной микросхемы, но и как информационно-справочное пособие для задания оптимальных параметров моделируемого устройства в САПР.

Также СППР может применяться при обучении студентов, магистрантов, аспирантов и др. в рамках следующих дисциплин: «Измерительная техника», «Схемотехника», «Теория автоматического управления». Разработанная СППР для выбора ПИ с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой зарегистрирована как «программа для ЭВМ» в Федеральной службе по интеллектуальной собственности [4, 9] и является локальным приложением, которое может быть инсталлировано на любой компьютер, подходящий по системным требованиям.

#### Список литературы

1. Ашанин В.Н.  $\Sigma\Delta$ -аналого-цифровые преобразователи: основы теории и проектирование: Монография / В. Н. Ашанин, Б. В. Чувькин, Э. К. Шахов. – Пенза : Информационно-издательский центр ПенГУ, 2009. – 188 с.
2. Ашанин В. Н. Анализ состояния и тенденций производства интегральных преобразователей информации с  $\Sigma\Delta$ -архитектурой / В. Н. Ашанин, Б. В. Чувькин, А. А. Коротков, И. А. Сидорова // Известия ВУЗов: Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 1 (29). – С. 26–35.
3. Ашанин В. Н. Проблемы теории анализа и синтеза средств измерений гетерогенной структуры / В. Н. Ашанин // Датчики и системы. – 2011. – № 7. – С. 2–7.
4. База данных «Преобразователи информации с сигма-дельта архитектурой» / В. Н. Ашанин, Б. В. Чувькин, А. А. Коротков, И. А. Сидорова // Свидетельство о государственной регистрации БД № 2014621524 от 31.10.2014 г.
5. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование: пер. с англ./ Уолт Кестер. – Москва : Техносфера, 2007. – 1015 с.
6. Кузнецов М. А. Современная классификация систем поддержки принятия решений / М. А. Кузнецов, С. С. Пономарев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2009. – № 3 (7). – С. 52–58.
7. ОАО НПЦ «ЭЛВИС». – Режим доступа: [http://www.multicore.ru/download.php?file=mc/data\\_sheets/ELVEES\\_catalogue.pdf](http://www.multicore.ru/download.php?file=mc/data_sheets/ELVEES_catalogue.pdf) (дата обращения 23.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
8. ОАО «НИИЭТ». – Режим доступа: <http://www.niiet.ru/chips/dais?id=166> (дата обращения 23.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Система поддержки принятия решений «Преобразователи информации с сигма-дельта архитектурой» / В. Н. Ашанин, Б.В. Чувькин, А. А. Коротков, И. А. Сидорова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014660777 от 15.10.2014 г.
10. Черемисов П. Быстродействие? Экономичность? Высокое разрешение? – АЦП от Texas Instruments. / П. Черемисов // «Новости электроники». – 2010. – № 11. – С. 6–10.
11. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
12. Чувькин Б. В. Методика определения низкочастотных периодических колебаний в одноканальных сигналах сигма-дельта модуляторов / Б. В. Чувькин, И. А. Долгова, И. А. Сидорова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 174–181.
13. Юрманов В. А. Реализации передискретизации в  $\Sigma\Delta$ -ацп на непрерывных интеграторах / В. А. Юрманов, К. Ю. Пискаев, А. В. Куц // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 1 (25). – С. 113–121.
14. Analog to digital converters. – Available at: <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/products/index.html> (accessed 23.10.2014).
15. Jay Kreibich. Using SQLite / Jay Kreibich. – Press «O'Reilly Media», 2010. – 528 p.

16. Precision Sigma-Delta ADCs. – Available at: [http://www.maximintegrated.com/products/data\\_converters/adcs/precision-sd-adc.cfm](http://www.maximintegrated.com/products/data_converters/adcs/precision-sd-adc.cfm) (accessed 23.10.2014).
17. Products for Analog to Digital Converter. – Available at: [http://www.ti.com/lscs/ti/data\\_converters/analog-to-digital-converter-products.page](http://www.ti.com/lscs/ti/data_converters/analog-to-digital-converter-products.page) (accessed 23.10.2014).
18. Schreier R. Understanding Delta-Sigma Data Converters / R. Schreier, G. C. Temes. – IEEE Press, 2008. – 446 p.

### References

1. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Shakhov V. N.  $\Sigma\Delta$ -analogo-tsifrovoye preobrazovately: osnovy teorii i proektirovaniye [ $\Sigma\Delta$  ADC: basic theory and design]. Penza, 2009. 188 p.
2. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Korotkov A. A., Sidorova I. A. Analiz sostoyaniya i tendentsiy proizvodstva integralnykh preobrazovately s informatsiy  $\Sigma\Delta$ -arkhitektury [Analysis of state and trends of production of integrated information transformers with  $\Sigma\Delta$ -architecture]. *Izvestiya VUZov: Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Universities: The Volga Region. Technical Sciences], 2014, no. 1 (29), pp. 26–35.
3. Ashanin V. N. Problemy teorii analiza i sinteza sredstv izmereniy geterogennoy struktury [Problems of the theory of analysis and synthesis the measurement of the heterogeneous structure]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems], no. 7, 2011, pp. 2–7.
4. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Korotkov A. A., Sidorova I. A. Baza dannykh «Preobrazovately informatsiy s sigma-delta arkhitekturoy» [Database "Information Converters with Sigma-Delta architecture"]. *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh* [The Certificate of State Registration of the Database], no. 2014621524, 31.10.2014.
5. Kester U. *Analogo-tsifrovoye preobrazovanie* [Analog-to-digital conversion]. Moscow, Tekhnosfera, 2007. 1015 p.
6. Kuznetsov M. A., Ponomarev S. S. Sovremennaya klassifikatsiya sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Modern classification systems decision support]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2009, no. 3 (7), pp. 52–58.
7. OAO NPT «ELVIS». Available at: [http://www.multicore.ru/download.php?file=mc/data\\_sheets/ELVEES\\_catalogue.pdf](http://www.multicore.ru/download.php?file=mc/data_sheets/ELVEES_catalogue.pdf) (accessed 23.10.2014).
8. OAO «НИИЕТ». Available at: <http://www.niiet.ru/chips/dais?id=166> (accessed 23.10.2014).
9. Ashanin V. N., Chuvykin B. V., Korotkov A. A., Sidorova I. A. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy «Preobrazovately informatsiy s sigma-delta arkhitekturoy» [The system for decision support "Information Converters with Sigma-Delta architecture"]. *Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM* [The Certificate of State Registration of the Computer Program], no. 2014660777, 15.10.2014.
10. Cheremysov P. Bystrodeystvie? Ekonomichnost? Vysokoe razreshenie? [Performance? Efficiency? High resolution?]. *AT&P of Texas Instruments. «Novosti elektroniki»* [ADC from Texas Instruments], 2010, no. 11, pp. 6–10.
11. Chernorutskiy I. G. *Metody prinyatiya resheniy* [Methods of decision]. Saint Petersburg, 2005. 416 p.
12. Chuvykin B. V., Dolgova I. A., Sidorova I. A. Metodika opredeleniya nizkochastotnykh periodicheskikh kolebaniy v odnobitnykh signalakh sigma-delta modulyatorov [Technique of definition the low-frequency periodic vibrations in single-bit signals of sigma-delta modulator]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 2 (26), pp. 174–181.
13. Yurmanov V. A., Piskaev K. Yu., Kuts A. V. Realizatsii perediskretizatsii v  $\Sigma\Delta$ -atsp na nepreryvnykh integratorakh [Implementation of oversampling in  $\Sigma\Delta$ -ADC continuous integrators]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2014, no. 1 (25), pp. 113–121.
14. Analog to digital converters. Available at: <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/products/index.html> (accessed 23.10.2014).
15. Jay Kreibich. *Using SQLite*. Press «O'Reilly Media», 2010. 528 p.
16. Precision Sigma-Delta ADCs. Available at: [http://www.maximintegrated.com/products/data\\_converters/adcs/precision-sd-adc.cfm](http://www.maximintegrated.com/products/data_converters/adcs/precision-sd-adc.cfm) (accessed 23.10.2014).
17. Products for Analog to Digital Converter. Available at: [http://www.ti.com/lscs/ti/data\\_converters/analog-to-digital-converter-products.page](http://www.ti.com/lscs/ti/data_converters/analog-to-digital-converter-products.page) (accessed 23.10.2014).
18. Schreier R., Temes G. C. *Understanding Delta-Sigma Data Converters*. IEEE Press, 2008. 446 p.