

УДК 519.685

И.Ш. Невлюдов, В.В. Евсеев, В.О. Бортникова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

В статье предлагается решение задачи автоматизации проектирования технологических процессов изготовления микроэлектромеханических акселерометров. Оно основывается на предложенных ранее моделях параметров акселерометра (технологических и эксплуатационных), а также методе построения технологического процесса. Рассмотрена базовая последовательность проектирования технологических процессов микроэлектромеханических акселерометров. Практическим результатом данного решения стал разработанный программный модуль для автоматизированного проектирования технологического процесса изготовления микроэлектромеханического акселерометра. Благодаря использованию API функций он может быть интегрирован в современные системы автоматизированного проектирования. В работе рассматривается структура программного модуля, обоснован выбор среды разработки, а также системы управления базами данных. Разработана логическая и физическая модель базы данных, которая реализована с помощью системы управления базами данных Firebird-2.1.4.18393. Предложен интерфейс пользователя с учетом требований, предъявляемых к программным модулям исходя из необходимости разработки дружественного интерфейса для решения задач данных типов. Предложенная система может обучаться в режиме реального времени при создании новых проектов, проводя анализ полученных результатов после реализации предложенного технологического процесса и выявлять наилучшее его варианты.

Ключевые слова: технологический процесс, акселерометр, МЭМС, программный модуль, автоматизация.

Номенклатура

БД – база данных;
МЭМС – микроэлектромеханические системы;
ПМ – программный модуль;
САПР – системы автоматизированного проектирования;
ТП – технологический процесс.

Введение

Разработка программных модулей (ПМ) для автоматизации проектирования технологических процессов (ТП) изготовления МЭМС акселерометров является актуальной задачей. Анализ области применения современных САПР для МЭМС показал, что сегодня системы и программные модули такие как MEMCAD, Cowentor Ware, Tanner Pro, ANSYS, COMSOL Multiphysics имеют следующий ряд недостатков: данные системы и их модули решают лишь одну из задач автоматизированного проектирования. Одни из них способны проектировать 3D модели акселерометров, другие же способны проводить конструкторские расчеты. Следовательно, каждая из этих систем содержит в себе подсистемы, выполняющие отдельные функции (моделирование, анализ и т.д.), не позволяющие реализовать сквозное проектирование. Таким образом, увеличивается вероятность ошибок и погрешностей в процессе передачи данных из одной подсистемы в другую [1]. При этом невозможно на

этапе проектирования рассчитать трудоемкость изделия и выбрать ТП, учитывающий оборудование и спецификации типа МЭМС акселерометра, что уменьшает конкурентоспособность данных систем. Это накладывает ряд ограничений на возможность адаптации таких систем на предприятиях и делает их применение узкоспециализированным в виду решения ограниченного ряда задач.

1. Разработка структуры программного модуля для автоматизированного проектирования ТП МЭМС акселерометров

Для реализации ПМ автоматизации проектирования ТП МЭМС акселерометров выбрана среда разработки Embarcadero RAD Studio XE5. Это дает возможность реализовать интерфейс пользователя в соответствии с требованиями дружественного интерфейса. В виде кроссплатформенной системы управления базами данных (БД) выбрано Firebird-2.1.4.18393_0_Win32 с использованием графического редактора для НК-Software IVExpert Personal Edition. Обоснованием выбора является условно-бесплатная лицензия использования.

Математическое и лингвистическое обеспечение, которое реализуется в разработанном ПМ, подробно описано в публикациях [2 – 6]. В виде базовой последовательности проектирования ТП МЭМС акселерометров предложено использовать следующие этапы, представленные на рис. 1.

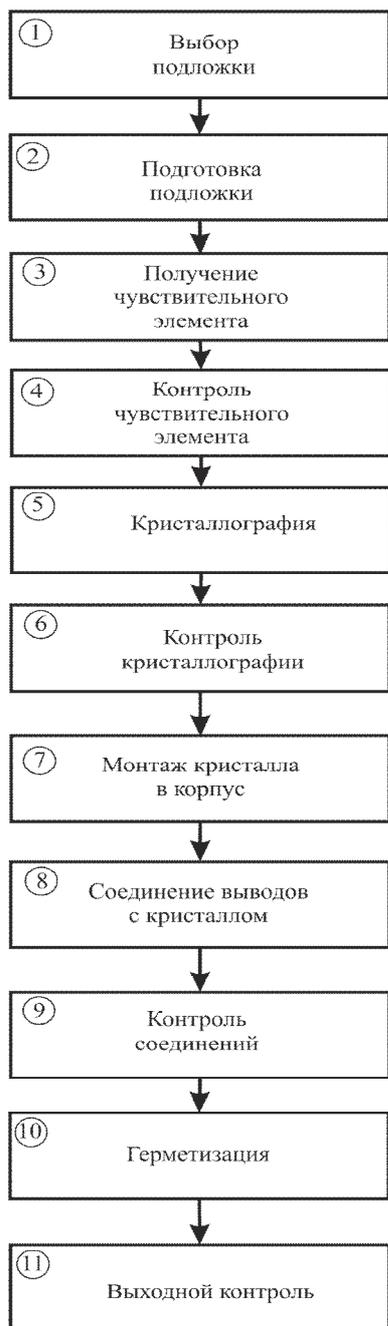


Рис. 1. Последовательность этапов ТП МЭМС акселерометров

Большой объем исходной и справочной информации, которая используется в процессе проектирования ТП, ставит задачу разделения ее на «сущности», что даст возможность упростить и систематизировать работу с данными. Исходя из этого, необходимо разработать структуру ПМ, таким образом, чтобы минимизировать процесс внесения данных и исключить его дублирование и повторный ввод. Предложено использовать следующую структурную схему ПМ (рис. 2). Она разбита на 6 модулей, отдельно отвечающих за сохранность отдельных элементов информации.

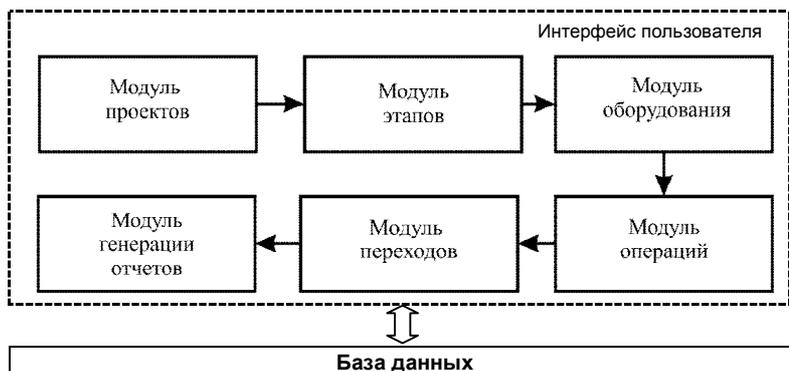


Рис. 2. Структура ПМ

Из рис. 2 видно, что ПМ включает в себя такие модули как:

- модуль проектов; модуль отвечает за отображения интерфейса окна проектов, а также связь с базой данных (БД) для занесения информации о созданном проекте, а также обеспечивает возможность обращения в БД и отображения информации о созданных проектах;
- модуль этапов; модуль необходим для того, чтобы обращаться к БД для открытия справочной информации и создания непосредственно первого пункта в маршрутно-операционной карте; после завершения модуль передает информацию в БД и осуществляет связь между интерфейсом создания/редактирования этапов и БД; при необходимости он позволяет обращаться к БД для отображения созданных этапов и их сохранения;
- модуль оборудования; модуль используется для того, чтобы реализовывать выбор необходимого оборудования посредством обращения к БД и выводом информации в интерфейс пользователя; в модуле оборудования осуществляется редактирования и добавления актуальной информации;
- модуль операций; модуль позволяет отобразить информацию об операциях, сохранять и редактировать ее, а также осуществляет взаимосвязь с БД для сохранения новой информации и отображения необходимой;
- модуль переходов; модуль позволяет отображать информацию о переходах, сохранять и редактировать ее, а также осуществляет взаимосвязь с БД для сохранения новой информации и отображения уже имеющейся;
- модуль генерации отчетов; модуль позволяет генерировать отчеты, которые содержат в себе маршрутно-операционную карту, созданную на основе информации, созданной с помощью модулей проектов, этапов, оборудования, операций и переходов, а также отобразить ранее созданные маршрутно-операционной карты со всей необходимой информацией.

Для обеспечения дружелюбности интерфейса, основанного на минимизации и оптимизации интерфейса пользователя, разработана структура главного окна ПМ (рис. 3).

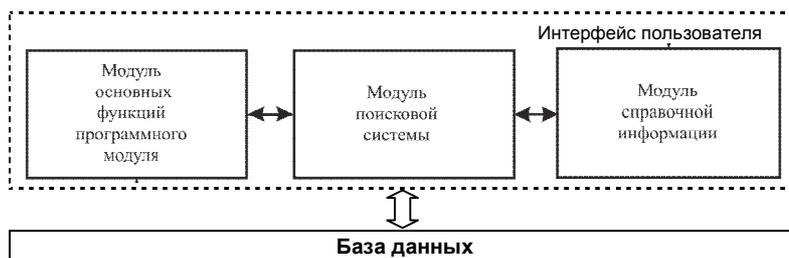


Рис. 3. Структура главного окна ПМ

Из структуры главного окна (рис. 3) видно, что она включает в себя следующие модули:

- модуль основных функций ПМ; модуль содержит в себе: модуль проектов и модуль администрирования, реализующие основные функции ПМ, которые позволяют сгенерировать отчет в виде маршрутно-операционной карты;

- модуль поисковой системы; модуль обеспечивает поиск в БД по созданным проектам, что облегчает проектирование новых маршрутно-операционных карт и позволяет оперативно использовать информацию о созданных проектах;

- модуль справочной информации; модуль отображает справочную информацию из БД, которая необходима для проектирования новой маршрутно-операционной карты; к справочной информации относится информация о назначении акселерометра, материале подложки, этапах, операциях, параметрах переходов, оборудовании, материале корпуса, типе корпуса, количестве осей акселерометра.

2. Разработка логической и физической модели базы данных для программного модуля автоматизированного проектирования технологического процесса МЭМС акселерометров

Особенностью проектирования сложных ТП МЭМС акселерометров является невозможность реализовать их без использования больших объемов информации (стандартов, параметров оборудования, материалов, этапов, параметров переходов, операций и т.д.). Вследствие чего принято решение разделить БД на накопительную и справочную. Логическая структура БД представлена на рис. 4.

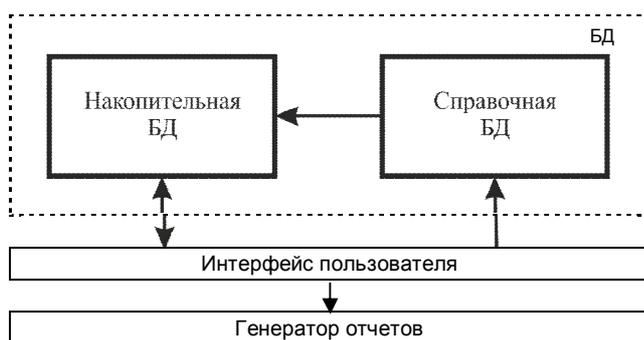


Рис. 4. Логическая структура БД

Накопительная БД предназначена для хранения информации, связанной с разработкой новых проектов МЭМС акселерометров, последовательности ТП и сопутствующей информации. Накопительная БД необходима для обеспечения накопления и хранения новой информации о проектах, а после для реализации ТП на производстве. Это позволит проводить анализ корректности рекомендуемого ТП ПМ и

своевременно обновлять актуальную информацию, что существенно сократит время разработки, анализа и оптимизации ПМ.

Справочная БД содержит в себе необходимую справочную информацию в виде стандартов, типовых ТП, в частности о последовательности ТП (его этапов и операций), оборудовании, материалах подложки, переходах.

Генератор отчетов позволит выводить всю необходимую конструкторскую документацию из накопительной БД.

Используя предложенный подход к построению БД, проведен анализ «сущностей» в информационном массиве, выделены последовательности связей, которые накладываются законами построения реляционных БД. В результате чего разработана физическая модель БД, которая содержит в себе 22 таблицы. На рис. 5 представлена физическая модель накопительной БД.

Физическая модель накопительной БД содержит в себе 6 таблиц, которые связаны между собой связью «один к бесконечности».

Таблица NAC_PROGECT является основной таблицей и предназначена для введения информации в такие поля: тип назначения акселерометра, материал акселерометра, информация о проекте, а также номер проекта.

Вспомогательная таблица NAC_ETAP предназначена для внесения информации в поле с именем этапа и ее идентификатором.

Вспомогательная таблица NAC_OBORUD предназначена для того, чтобы вносить информацию о наименовании оборудования, картинках оборудования и ее идентификаторе, который позволяет отобразить всю необходимую информацию из справочной БД.

На рис. 6 – 9 представлены основные 4 таблицы справочной БД.

Физическая модель справочной БД последовательности ТП акселерометра содержит в себе 5 таблиц, связанные между собой связью «один к бесконечности».

Основной таблицей является S_ETAP (рис. 6), которая содержит в себе идентификатор этапа, а также название этапа. Она связана с таблицей S_OBORUD, представляющая собой таблицу, хранящую название оборудования, изображение оборудования. Также имеются вспомогательные таблицы S_OPERAT, S_PEREHOD, S_PARAM, предназначенные для хранения информации об операциях ТП, о переходах ТП, а также необходимых и достаточных для успешного выполнения ТП параметрах.

Физическая модель справочной БД параметров корпуса акселерометра содержит в себе 5 таблиц, связанные между собой связью «один к бесконечности».

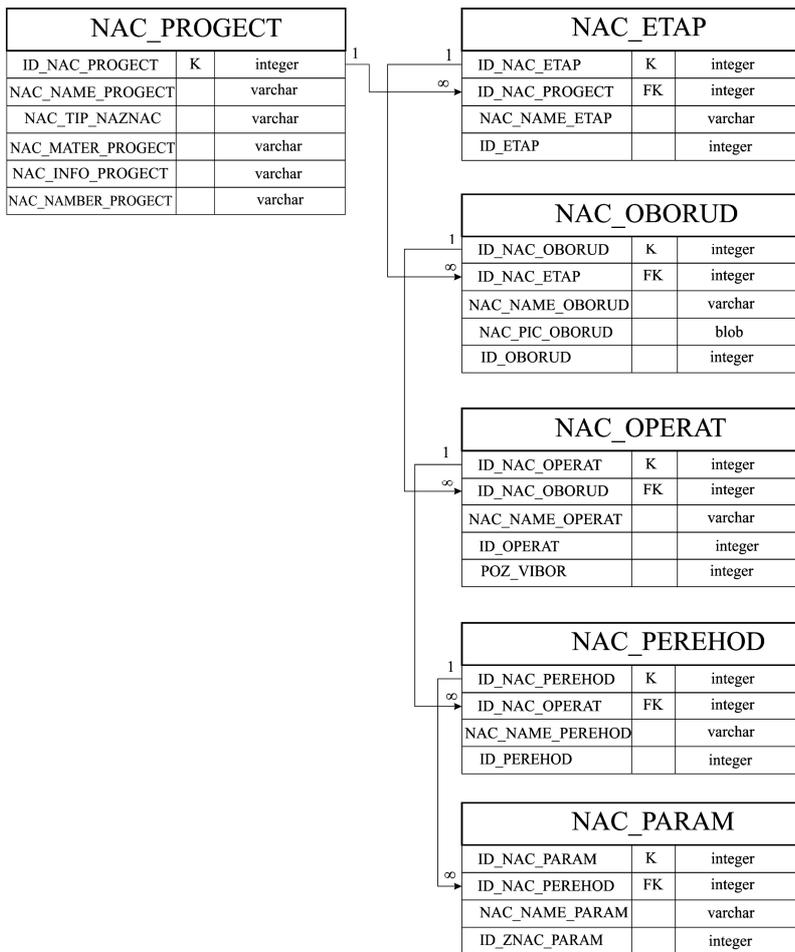


Рис. 5. Физическая модель «Накопительная БД»

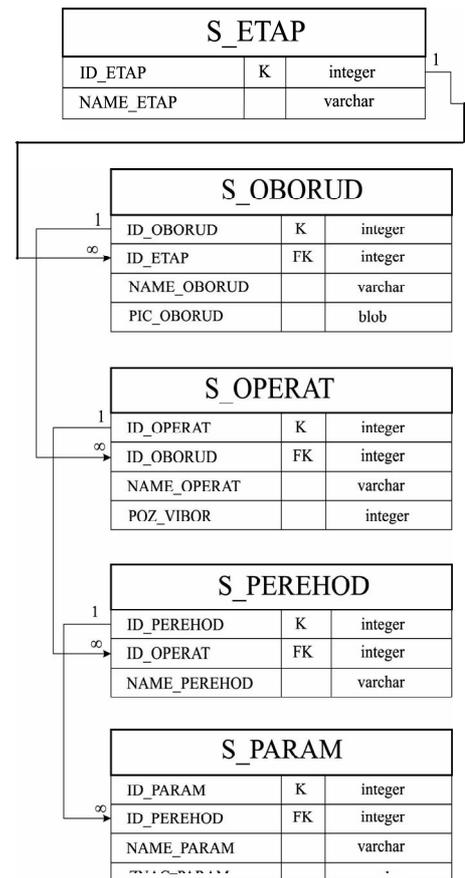


Рис. 6. Физическая модель «Справочная БД» последовательности ТП

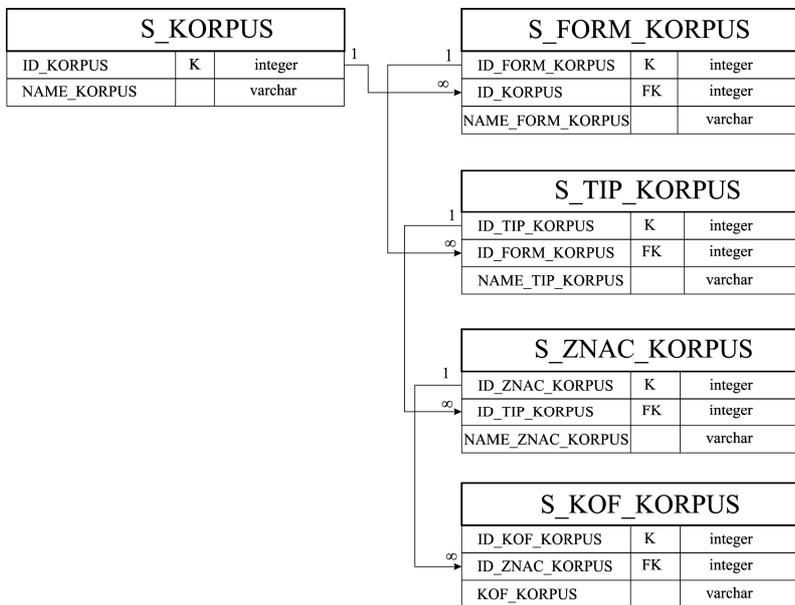


Рис. 7. Физическая модель «Справочная БД» параметров корпуса акселерометра

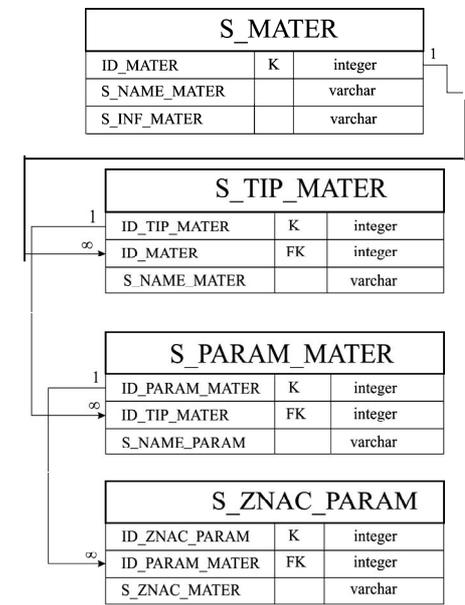


Рис. 8. ФМ «Справочная БД» материалов чувствительного элемента акселерометра

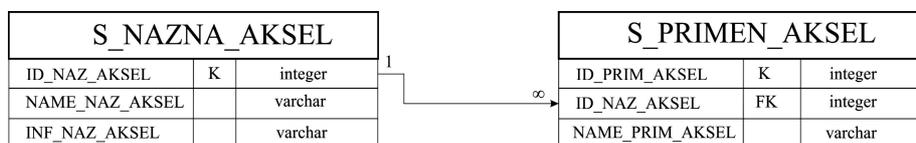


Рис. 9. Физическая модель «Справочная БД» назначения акселерометра

Основной таблицей является S_KORPUS (рис. 7), которая содержит в себе идентификатор корпуса акселерометра, а также название корпуса акселерометра. Она связана с таблицей S_FORM_KORPUS и представляет собой таблицу, хранящую название формы корпуса акселерометра. Также имеются другие вспомогательные таблицы, такие как: S_TIP_KORPUS, S_ZNAC_KORPUS, S_KOF_KORPUS, предназначенные для хранения справочной информации о форме корпуса акселерометра, о значении корпуса и параметрах корпуса акселерометра.

Физическая модель справочной БД материалов чувствительного элемента акселерометра содержит в себе 4 таблицы, связанные между собой связью «один к бесконечности». Основной таблицей является S_MATER (рис. 8), она содержит в себе информацию о названии материала и непосредственно информацию о материале. Таблица связана с таблицей S_TIP_MATER, которая является вспомогательной таблицей и содержит в себе информацию о типе материала. Также имеются другие вспомогательные таблицы, такие как S_PARAM_MATER и S_ZNAC_

MATER, предназначенные для хранения информации о параметрах материала и их значениях.

Физическая модель справочной БД назначения акселерометра содержит в себе 2 таблицы, связанные между собой связью «один к бесконечности». Основной таблицей является S_NAZNA_AKSEL (рис. 9), которая содержит в себе всю необходимую информацию о назначениях акселерометра и их наименовании. Таблица связана с таблицей S_PRIMEN_AKSEL, является вспомогательной таблицей и содержит в себе информацию о применении акселерометра для каждого типа назначения.

Разработанная логическая структура полностью соответствует основным законам создания реляционных БД и имеет минимальное количество связей. Это обеспечивает надежность и быстроту доступа к информации за минимальный промежуток времени с возможностью быстрого изменения и взаимного дополнения. Основываясь на предложенной структуре ПМ, а также физической и логической структуре БД, разработан интерфейс пользователя, представленный на рис. 10.

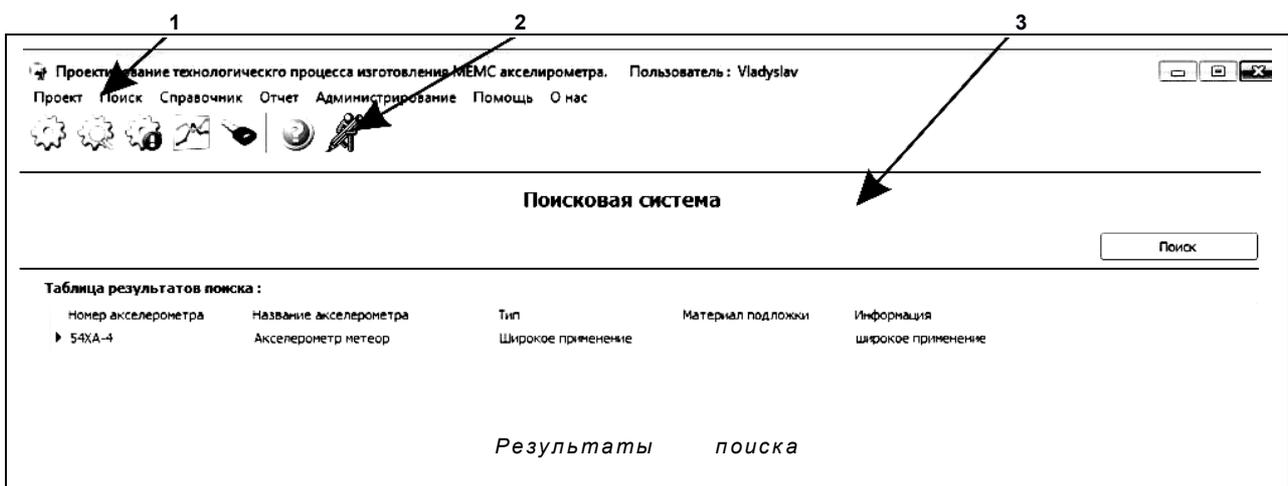


Рис. 10. Главное окно ПМ:

1 – выпадающее меню; 2 – меню кнопочного доступа; 3 –поисковая система

Выводы

Разработка ПМ для интеграции с помощью API функций в современные САПР являются сложной задачей, которая объединяет в себе не только знания в областях БД и построения интерфейса пользователя, а также в их интеграции, и адаптации в основе системы проектирования ТП МЭМС акселерометров. На базе проведенного анализа обоснована и выбрана БД FireBird, что дает возможность уменьшить стоимость ПМ без потерь возможности интеграции в САПР. Для удобства использования БД разделены на две логические части «Накопительную» и «Справочную», реализуя возможность проводить авторизацию доступа пользователя к той или иной информации, и уменьшая вероятность внесе-

ния лишней информации, не нарушая логической структуры связей внутри БД. Разработанная БД содержит 22 таблицы, которые позволяют хранить всю необходимую информацию для успешного проектирования ТП. Внешние связи между таблицами реализованы в виде связей «один к бесконечности», вследствие чего реализована возможность расширения БД и её адаптации под специфику предприятия, парка оборудования и его особенностей. Предложенная структура интерфейса пользователя и его программная реализация учитывает необходимость разработки дружественного интерфейса для таких ПМ с учетом их интеграции в оболочки САПР. Реализована расширенная система поиска в накопительной БД, и возможность добавления и редактирования справочной БД. В основе разработки ис-

пользовались ранее предложенные модели параметров МЭМС акселерометра, непосредственно влияющие на построение ТП, выбор модели акселерометров для поставленной задачи и параметров контроля, обеспечивающие мониторинг качества ТП на всех его этапах.

Таким образом, данный подход позволит построить маршрутно-операционные карты ТП МЭМС акселерометров, а также создать интеллектуальную систему. Такая система может обучаться в режиме реального времени при создании новых проектов, проводя анализ полученных результатов после реализации предложенного ТП и выявлять наилучшее его варианты. Это позволит реализовать автоматизированное проектирование ТП МЭМС акселерометров, что существенно ускорит процесс подготовки необходимой конструкторской документации при их изготовлении, а также позволит осуществлять проверку качества и адекватности выбранного построения ТП.

На основе полученных результатов разработан ПМ и получено авторское свидетельство [7].

Список литературы

1. Невлюдов, И.Ш. Анализ современных средств автоматизированного проектирования микроэлектромеханических систем [Текст] / И.Ш. Невлюдов, Е.Е. Евсеев, Я.О. Замирец, В.О. Бортникова // *Технология приборостроения: научно-технический журнал*. – 2014. – № 1. – С. 3-8 (47 с.).
2. Nevlyudov, I. Accelerometer parameters decomposition model for technological process design automation [Текст] / I. Nevlyudov, V. Yevsieiev, S. Miliutina, V. Bortnikova // *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Збірник наукових праць*. – № 828 Серія: Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. –

Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 11-15 (91 с.).

3. Бортникова, В.О. Математическая модель акселерометра для разработки модуля САПР ТП [Текст] / В.О. Бортникова // 19-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь XXI века». Сб. материалов форума. Т. 1. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – С. 119-120 (209 с.).
4. Невлюдов, И.Ш. Анализ існуючих технологій виготовлення акселерометрів на основі технологій мікроелектромеханічних систем [Текст] / І.Ш. Невлюдов, Є.Є. Євсєєв, В.О. Бортнікова // XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» Мат. конф. – Кременчуг: КНУ ім. М. Остроградського, 2015. – С. 30-31 (158 с.).
5. Бортникова, В.О. Поверхностные технологии изготовления микроэлектромеханических акселерометров [Текст] / В.О. Бортникова // *Автоматизация та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції*. – Черкаси, 2016. – С. 128-130 (276 с.).
6. Бортникова, В.О. Формализация входных и выходных параметров для автоматизации проектирования технологических процессов изготовления акселерометров [Текст] / В.О. Бортникова // 20-й Ювілейний Міжнародний молодіжний форум «Радиоэлектроника та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 2. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – С. 107-108 (192 с.).
7. Комп'ютерна програма «Автоматизована система проектування технологічного процесу виготовлення акселерометрів «АССАМ» / В.О. Бортникова, І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв.: Свід. про реєстр. авторського права на твір № 65348. – Зареєстр. в Держ. службі інтелектуальної власності України 16.05.2016 р.

Надійшла до редколегії 5.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, В.О. Бортнікова

Для вирішення завдання автоматизованого проектування технологічного процесу виготовлення МЕМС акселерометрів необхідно розробити програмний модуль. З метою вирішення поставленого завдання спроектовано структуру програмного модуля, його алгоритм роботи, розроблена логічна структура бази даних, яка зможе забезпечити цілісність і збереження даних. В основі розробки використовувалися раніше запропоновані моделі параметрів МЕМС акселерометра, які безпосередньо впливають на побудову технологічного процесу. Даний підхід дозволить успішно побудувати маршрутно-операційні карти технологічного процесу виготовлення МЕМС акселерометрів. Внаслідок чого можливо буде реалізувати автоматизоване проектування технологічних процесів виготовлення МЕМС акселерометрів, що істотно прискорить процес підготовки необхідної конструкторської документації при їх виготовленні.

Ключові слова: технологічний процес, акселерометр, МЕМС, програмний модуль, автоматизація.

SOFTWARE MODULE DEVELOPMENT FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MEMS ACCELEROMETER AUTOMATED DESIGN

I.Sh. Nevlyudov, V.V. Yevsieiev, V.O. Bortnikova

It is necessary to develop a software module to solve problem of computer-aided technological process of manufacturing the MEMS accelerometer. In order to solve this problem software module structure, its operation algorithm, the logical structure of the database are designed, that could ensure data integrity and safety of. As the base of the module development previously proposed model MEMS accelerometer parameters was used. It directly affect the building technological process. This approach will enable the successful construction of methods and operation sheet of technological process of MEMS accelerometers design. The result is that it will be possible to implement computer-aided design of technological processes of MEMS accelerometers design that will significantly speed up the process of preparing the necessary engineering documentation in their manufacture.

Keywords: technological process, accelerometer, MEMS, software module, automation.