

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)

*На правах рукописи*



Садыков Илья Андреевич

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
КОДИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ УПАКОВОК  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ОТ  
ФАЛЬСИФИКАЦИИ**

05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2012

Из фондов Российской национальной библиотеки

2012A  
7536

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)

На правах рукописи



Садыков Илья Андреевич

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
КОДИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ УПАКОВОК  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ОТ  
ФАЛЬСИФИКАЦИИ**

05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)"

**Научный руководитель**  
доктор технических наук,  
профессор

*Чистякова Тамара Балабековна*

**Официальные оппоненты:**  
доктор технических наук,  
профессор

*Константинов Игорь Сергеевич*

кандидат технических наук

*Немцов Александр Борисович*

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)"

Защита диссертации состоится "5" апреля 2012 года в 13:30 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.230.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) по адресу: 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26 (ауд. 61)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26, СПбГТИ (ТУ), Ученый Совет; тел. (812) 495-75-75, факс (812) 316-18-26 (кафедра САПРИУ)

Автореферат разослан "2" марта 2012 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



*В.И. Халимон*

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В последние годы проблемы защиты продукции от фальсификации приобрели первостепенную важность практически во всех странах мира, так как значительный ущерб от подделанной продукции наносится не только производителю, но и потребителю. В связи с этим, остро встаёт вопрос о защите продукции от подделки, а также о создании и усовершенствовании существующих систем и методов защиты от подделки.

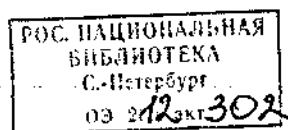
Проблема фальсификации продукции касается практически всех отраслей хозяйственной деятельности, особенно актуальна эта проблема для фармацевтических препаратов. В общем обороте лекарственных препаратов в России подделки составляют от 10 до 80%, а ежегодный доход от данного сегмента рынка равен порядка семи миллиардов долларов. В целом, в мире ежегодный оборот фальсифицированной продукции составляет около 600 миллиардов долларов США. За последние 20 лет эта величина выросла на 10000%. Приблизительно 5-7 % всей мировой продукции является подделкой.

Так как проблема защиты товаров от подделки существует уже давно, на рынке широко представлены различные системы, средства и методы её решения. Большая часть систем защиты представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, основанные на внедрении защитных элементов в изделия или их упаковку. Анализ применяемых элементов защиты, которыми чаще всего являются метки со штрих-кодом, полиграфические метки, голограммы и т.д., показывает, что для повышения эффективности защиты продукции необходимо обеспечение уникальности метки для каждого отдельно взятого образца товара, а также использование алгоритмов, основанных на элементе случайности, поскольку это повышает вероятность того, что защитные элементы не будут воспроизведены полностью. Существующие системы защиты, использующие радиочастотные метки, магнитные частицы, металлические наночастицы и другие методы защиты частично решают эту проблему, однако являются крайне дорогостоящими. К тому же среди них нет полноценного программно-аппаратного решения, которое бы учитывало всю специфику производства фармацевтических препаратов, объёмы производства которых исчисляются миллиардами штук в год.

Таким образом, разработка комплекса методов, моделей и средств защиты полимерных упаковок фармацевтической продукции от фальсификации при больших объёмах продукции, а также компьютерной системы, позволяющей проводить кодирование и идентификацию упаковок, является актуальной и экономически обоснованной задачей.

**Целью работы** является разработка математических методов и программного комплекса кодирования и идентификации полимерных упаковок, позволяющих повысить эффективность защиты фармацевтической продукции от фальсификации.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:



- Анализ характеристик полимерных упаковочных материалов как объектов кодирования и идентификации, позволивший сформировать требования к разрабатываемой системе защиты фармацевтических препаратов от фальсификации с учётом больших объёмов производства и требований, предъявляемых к упаковке фармацевтической продукции.
- Обоснование эффективных физических методов и средств кодирования полимерных упаковочных материалов фармацевтической продукции, в качестве которых было предложено использование меток из микрочастиц люминофоров, внедряемых в структуру упаковочного материала, обеспечивающих высокую надёжность защиты при сравнительно невысокой стоимости.
- Разработка функциональной структурной модели программного комплекса, включающей модули кодирования, идентификации, исключения областей деформации упаковки, а также серверную часть системы, позволяющую производить кодирование и идентификацию фармацевтических упаковок в режиме удалённого доступа.
- Разработка математических методов кодирования отсканированного изображения для вычисления электронной цифровой подписи (ЭЦП), уникально идентифицирующей каждую упаковку фармацевтической продукции.
- Разработка алгоритмов идентификации упаковок фармацевтической продукции, позволяющих произвести идентификацию каждой упаковки фармацевтической продукции с заданной точностью и за приемлемое для потребителя время.
- Разработка, тестирование и внедрение в эксплуатацию программного комплекса автоматизации процессов кодирования и идентификации подлинности упаковок фармацевтических препаратов, позволяющего осуществить кодирование и идентификацию продукции с заданными требованиями к быстродействию и точности в режиме удалённого доступа пункта реализации продукции.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что получены новые научные результаты, а именно:

1. Функциональная структурная модель программного комплекса средств защиты полимерных упаковок от фальсификации, отвечающая требованиям к современной системе защиты продукции от подделки и обеспечивающая возможность удалённого кодирования и идентификации фармацевтических препаратов.
2. Выбранные физические методы и программно-аппаратные средства кодирования полимерных упаковок, учитывающие требования к упаковке фармацевтической продукции, и обеспечивающие достаточную надёжность и точность кодирования.
3. Разработанные математические и программно-алгоритмические методы построения электронной цифровой подписи, позволяющей уникально идентифицировать каждую упаковку, основанные на характеристиках

геометрических элементов, распознанных на отсканированном изображении упаковки.

4. Алгоритм идентификации полимерных изделий, позволяющий установить подлинность упаковки фармацевтической продукции за приемлемое время и с заданной точностью.
5. Программно-алгоритмический метод хранения больших объёмов данных (подлинных ЭЦП) в реляционной БД, отвечающий объёмам производства фармацевтической продукции и необходимому уровню быстродействия.
6. Программный комплекс автоматизации процессов кодирования и идентификации подлинности упаковок фармацевтических препаратов, позволяющий осуществить кодирование и идентификацию продукции в режиме удалённого доступа пункта реализации продукции.

**Методы исследования.** При выполнении работы были использованы математические методы и алгоритмы вычислительной геометрии, комбинаторики и математической статистики, методы цифровой обработки изображений компьютерной графики, методы криптографии и применения цифровых подписей, методы и технологии проектирования программных комплексов с удалённым доступом, а также средства проектирования баз данных, методы объектно-ориентированного проектирования и программирования, кроссплатформенные языки программирования уровня компиляции и выполнения.

**Практическая ценность результатов** заключается в реализации разработанных методов и алгоритмов в распределённом программном комплексе защиты полимерных упаковок фармацевтической продукции, позволяющем в режиме удалённого доступа за приемлемое время и с заданной точностью устанавливать подлинность полимерной упаковки. На разработанный программный продукт получено свидетельство о государственной регистрации в Роспатенте и акт о внедрении в опытно-промышленную эксплуатацию.

**Реализация результатов.** Результаты работы внедрены в опытно-промышленную эксплуатацию на производстве полимерных плёнок ООО «Клекнер Пентапласт Рус».

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международных научно-технических конференциях ММТТ-22 (Псков, 2009г.), ММТТ-23 (Смоленск, 2010г.), ММТТ-24 (Саратов, 2011г.); на конференции, посвященной юбилею международного дистанционного учебно-исследовательского центра по полимерным пленкам корпорации «Клекнер Пентапласт» (Санкт-Петербург, 2010г.); на конференции молодых ученых «Неделя науки – 2011»; в Рурском университете по программе DAAD (Германия, Бохум, 2009г.).

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 12 работ, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 свидетельство о внедрении в опытно-промышленную эксплуатацию.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Работа изложена на 179 страницах, содержит 55 рисунков и 17 таблиц, библиографический список включает 119 наименований.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна и практическая ценность результатов, полученных при решении поставленных задач, дано краткое содержание работы.

В первой главе выполнен анализ характеристик упаковочных материалов как объектов защиты от фальсификации фармацевтических препаратов, который позволил обосновать применение поливинилхлоридных (ПВХ) плёнок, обладающих требуемыми свойствами формования и термосклеивания с различными материалами, для производства фармацевтических упаковок.

Упаковки, изготовленные из ПВХ, позволяют обеспечить высокую стабильность и устойчивость к внешним воздействиям при малой толщине, высокую ударпрочность тары; высокую прозрачность и защитные свойства; возможность получения как высокопрозрачной, так и светонепроницаемой тары; хорошие барьерные свойства против проникновения газов в упаковку и утечки ароматов. Это наиболее распространенный материал, используемый для упаковки таблеток.

Проведён анализ существующих методов, средств и систем обеспечения защиты продукции от фальсификации, который показал активное развитие данного рынка в настоящее время. Все рассмотренные современные системы защиты подразумевают маркировку продукции с помощью специальных меток, штрих-кодов или этикеток, что не подходит для полноценной защиты фармацевтических упаковок, поскольку объёмы производства фармацевтических упаковок сильно затрудняют возможность маркировки каждой отдельной упаковки, к тому же фармацевтическая упаковка может деформироваться в ходе эксплуатации (например, при извлечении таблетки из упаковки), что может повредить метку.

Анализ характеристик ПВХ как упаковочного материала позволил сформировать требования к технологии и элементам защиты, что позволило сделать выбор в пользу меток из микрочастиц в качестве элементов защиты, внедряемых в структуру плёночного материала, т.к. при сравнительно невысокой стоимости применения, сложность подделки продукции, защищённой таким способом, является высокой. К тому же данная технология может применяться к фармацевтическим упаковкам, поскольку не содержит элементов, повреждаемых при деформации упаковки.

Для реализации программного комплекса средств защиты фармацевтических упаковок от фальсификации предложен двухуровневый метод защиты упаковок, согласно которому, в структуре упаковочного материала (полимерной плёнки, из которой изготавливается упаковка)



случайным образом распределяются частицы люминесцирующего вещества (пигменты), невидимого невооруженным глазом. Для того чтобы активировать данные частицы, необходимо осветить упаковку ультрафиолетовым или инфракрасным излучением с определенной длиной волны с помощью специального прибора.

Приведены сравнительные характеристики сканирующих устройств, анализ которых позволил утверждать, что качество сканирования изображения зависит от таких факторов как технологические возможности сканера, состояние исходного изображения, квалификация оператора, а также способ использования полученного изображения, из чего можно сделать вывод, что выбор сканирующего устройства зависит от типа производимой продукции, а также требований к степени её защищенности, утверждаемых производителем.

Проведенный анализ элементов кодирования (люминофоров) позволил утверждать, что наиболее подходящими для кодирования полимерных упаковок люминофорами являются антистоксовые фотоллюминофоры (АС), возбуждаемые инфракрасным излучением, что обусловлено в первую очередь составом веществ, а также более простым и универсальным способом их возбуждения. Использование АС люминофоров предоставляет возможность выбора цвета свечения, обладающего высокой чистотой и стабильностью в широком диапазоне температур. Также немаловажна низкая потребляемая мощность излучателей.

Проведен анализ инструментальных средств для реализации программной части компьютерной системы кодирования и идентификации фармацевтических упаковок, который позволил сделать выбор в пользу платформы Java. В качестве СУБД для реализации комплекса средств защиты фармацевтических упаковок от фальсификации была выбрана свободная РСУБД MySQL Server 5.0, удовлетворяющая требованиям, выполнение которых необходимо для реализации хранилища большого числа цифровых подписей.

Во второй главе на основе системного анализа предметной области и задач, поставленных в первой главе, сформулирована задача защиты фармацевтических упаковок от фальсификации, разработана общая архитектура программно-аппаратного комплекса, представленная на рисунке 1.

Программно-аппаратный комплекс состоит из серверной и двух клиентских подсистем: подсистемы кодирования (находящейся на производстве) и подсистемы идентификации (установленной в пунктах реализации продукции). На этапе кодирования в автоматизированном режиме производится распознавание цифрового изображения  $I$ , полученного со сканера упаковки (выделение  $k$  наиболее ярких центров из набора  $n$  и представление их в виде точек на плоскости упаковочного материала). Из этого распознанного набора точек случайным образом выбирается некоторое количество  $l$ , которое и используется для вычисления электронной цифровой подписи  $Z(\text{ЭЦП})$ , которая затем сохраняется в базу данных. При этом подсистема кодирования получает ответ  $R$  о результате сохранения ЭЦП в базе данных. На этапе идентификации

продукции упаковка сканируется с получением цифрового изображения  $I$ , и задаются параметры идентификации  $V$ , которые передаются на управляющий сервер, где с помощью базы данных подлинных ЭЦП производится идентификация упаковки, результатом которой является вектор идентификации  $F$ , свидетельствующий о степени подлинности идентифицируемой упаковки фармацевтической продукции.

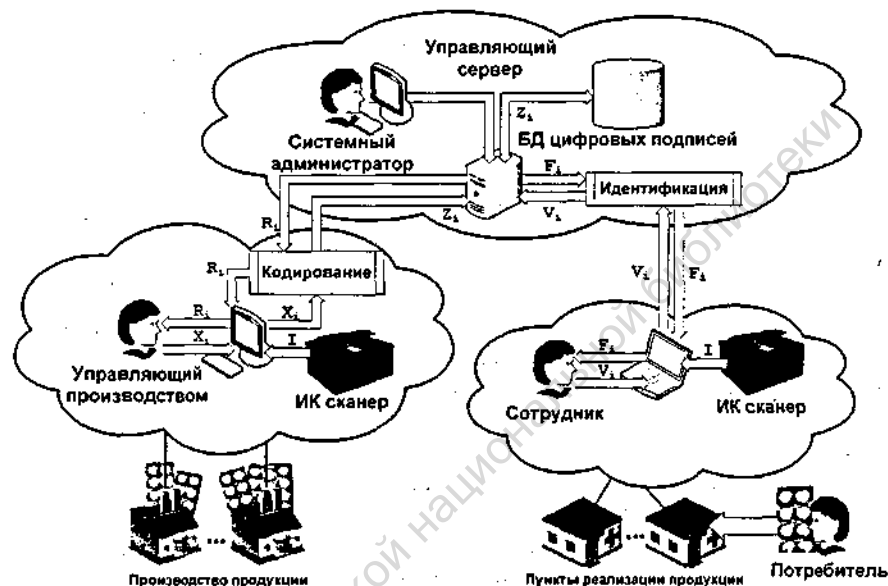


Рисунок 1 - Общая архитектура программно-аппаратного комплекса

При кодировании упаковки множество распознанных на упаковке точек анализируется и разделяется на подмножества. При использовании упаковки потребителем (например, при извлечении таблеток) микрочастицы люминофоров в структуре плёночного материала смещаются относительно исходного положения, что затрудняет идентификацию. Для того чтобы деформация упаковки не препятствовала её идентификации, необходимо исключить из рассмотрения все точки, попадающие в области  $S_{деф}$ , подверженные деформации. Примеры целой и деформированной блистерной упаковок фармацевтических средств, а также схема формирования геометрического образа упаковки и анализа множества распознанных точек на упаковке представлены на рисунке 2.

Общее число точек  $n_i$ , распознанное на  $i$ -й упаковке формируется случайным образом и зависит от количества частиц люминофора, распределённых по её поверхности:

$$n_i = k + l + m_i + o_i, \quad (1)$$

где  $3 < l < k$ ;  $m_i < n_i$ ;  $k \leq n_i - m_i$

Число точек попавших в области деформации  $m_i$  зависит от каждой конкретной упаковки. Числа  $k$  и  $l$  задаются при кодировании. Множество  $k$  наиболее ярких точек упаковки выбирается из общего множества  $n_i$  точек, исключая множество  $m_i$  точек. Множество  $l$  точек выбирается случайным образом из множества  $k$  точек. Множество оставшихся распознанных на упаковке  $o_i$  точек при кодировании не используется.

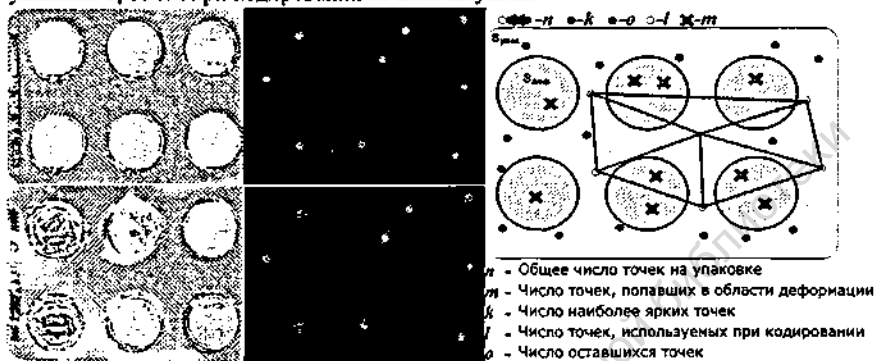


Рисунок 2— Схема формирования геометрического образа blisterной упаковки

Формализованное описание процесса кодирования фармацевтических упаковок представляет собой совокупность векторов:

$$\Phi O = \{X_i, Y_i, Z_i\} \quad i=1 \dots N$$

$$X_i = \{G, P, E_i, O\}; G = \{f, t, d\}; P = \{l, k, M\}; E_i = \{I_i, q\} \quad (2)$$

$$Y_i = \{r_j, A_i\}; Z_i = \{Y_i, l, k, M, f, t, d\}, A_i = f(M); r_j = f(M) \quad j=1 \dots u,$$

где  $i$ —номер кодируемой упаковки;  $j$ —номер кодирующего геометрического элемента;  $u$ —число кодирующих элементов;  $N$ — число кодируемых упаковок;  $X_i$ — вектор входных параметров кодирования;  $Y_i$  — вектор результата процесса кодирования (значения атрибутов геометрических элементов);  $A_i$  — контрольная сумма геометрического кода упаковки;  $r$  — кодирующий элемент (значение атрибутов геометрических элементов);  $Z_i$  — электронная подпись;  $E_i$ — вектор характеристик цифрового отсканированного изображения упаковки;  $I_i$ — цифровое изображение кодирования в формате .jpg или .bmp;  $q$ — минимальный размер частицы (pix);  $P$ — вектор критериев кодирования;  $M$  — метод кодирования упаковки;  $O$ — множество пикселей, исключаемых из обработки (деформируемая область упаковки);  $G$ — вектор характеристик кодируемой упаковки;  $f$ — производитель фармацевтической упаковки;  $t$ — тип упаковки;  $d$ — дата кодирования упаковки.

Процесс формирования ЭЦП состоит из трёх процессов, представленных на рисунке 3. На рисунке приняты следующие обозначения:  $H$  — цифровое изображение упаковки;  $V$ —вектор варьируемых параметров в процессе получения координат деформируемых областей упаковки;  $T$  — используемый метод задания областей изображения упаковки, не подлежащих дальнейшему

рассмотрению;  $\epsilon$  – точность используемого метода задания областей изображения упаковки, не подлежащих дальнейшему рассмотрению.

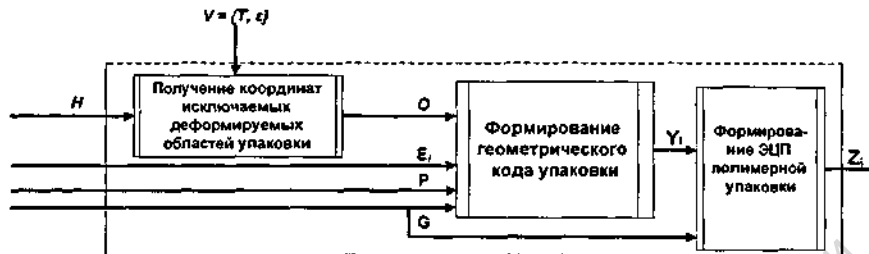


Рисунок 3 - Формализованное описание процесса кодирования фармацевтических упаковок

Таким образом, задача кодирования решается в 3 этапа:

1. На первом этапе на основе разработанного интерфейса и параметров изображения полимерной упаковки оператор получает вектор координат областей деформации  $O$  путём наложения маски в виде геометрических примитивов  $J$  в векторном представлении на деформируемые области  $S_{деф}$  и исключить их из общей поверхности изделия  $S_{упак}$ .
2. На втором этапе, на основании параметров кодирования  $X_i$  формируется геометрический код полимерной упаковки  $Y_i$  с учётом исключения деформируемых областей упаковки.
3. На третьем этапе на основе геометрического кода полимерной упаковки  $Y_i$ , а также характеристик кодируемой упаковки  $G_i$  формируется ЭЦП  $Z_i$  обеспечивающую уникальную характеристику кодирования  $i$ -й упаковки, где  $i = 1...N$  ( $N$  - объём производства упаковок, порядок которого измеряется миллиардами штук).

На рисунке 4 представлено формализованное описание процесса идентификации фармацевтических упаковок.

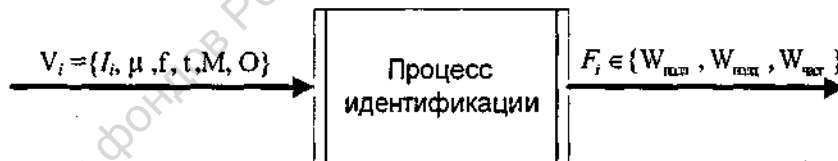


Рисунок 4 - Формализованное описание процесса идентификации упаковок

На рисунке приняты следующие обозначения:  $V_i$  – вектор входных параметров процесса;  $\mu$  – максимально допустимое отклонение атрибутов геометрического элемента (треугольника, окружности) от сохранённого значения;  $F_i$  – вектор выходных параметров результатов идентификации;  $W_{подл}$  – упаковка подлинная;  $W_{подд}$  – упаковка поддельная;  $W_{авст}$  – упаковка подлинная с учётом возможной деформации.

Задача идентификации решается следующим образом: на основании параметров идентификации  $V_i$ , с учётом исключения областей деформации  $O$ ,

формируется и перебирается множество сочетаний геометрических элементов для определения  $F_i$  (полного или частичного совпадения ЭЦП  $i$ -й упаковки со значением, полученным на этапе кодирования).

Идентификация упаковки производится в 2 этапа. Первый этап идентификации заключается в проверке полного совпадения ЭЦП, построенных на основе  $l$  точек. На этом этапе производится перебор всех комбинаций точек из  $k$  по  $l$  и сравниваются значения всех атрибутов  $r_j$  геометрических элементов, построенных на основе  $p$ -й комбинации точек со значениями  $r_{cp,j}$  из базы данных подлинных ЭЦП:

$$\forall r_{p,j} : |r_{cp,j} - r_{p,j}| \leq \mu, p = 1..Q_{\max\text{полн}}, j = 1..N_l, \quad (3)$$

где  $N_l$  – число сохраняемых атрибутов, составляющих ЭЦП;

Если найдено хотя бы одно совпадение построенных ЭЦП и информации из базы данных, упаковка признаётся подлинной. Максимальное число проверок на первом этапе равно:

$$Q_{\max\text{полн}} = C_k^l = \frac{k!}{l!(k-l)!}, N_l = f(M_l), \quad (4)$$

В случае когда первый этап не завершился успехом, выполняется проверка частичного совпадения ЭЦП, построенных на основе  $l-1$  точек:

$$\forall r_{p,j} : |r_{cp,j} - r_{p,j}| \leq \mu, p = 1..Q_{\max\text{част}}, j = 1..N_{l-1}, \quad (5)$$

где  $N_{l-1}$  – число сохраняемых атрибутов в ЭЦП при построении геометрических элементов с использованием  $l-1$  точек. Максимальное число проверок на этом этапе равно:

$$Q_{\max\text{част}} = C_k^{l-1} = \frac{k!}{(l-1)!(k-l+1)!}, N_{l-1} = f(M_l), \quad (6)$$

Если при выполнении поиска частичного совпадения найдено совпадение хотя бы одной подписи в базе данных, упаковка признаётся подлинной, но пользователь получает предупреждение о возможной деформации упаковки. Упаковка признаётся фальсифицированной в том случае, если ни первый, ни второй этап идентификации не дали результатов.

На основании разработанных формализованных описаний процессов кодирования и идентификации, а также общей архитектуры программно-аппаратного комплекса кодирования и идентификации упаковок фармацевтической продукции разработана функциональная структурная модель программного комплекса кодирования и идентификации, представленная на рисунке 5. Она включает модули идентификации и кодирования и позволяет реализовать систему защиты полимерных упаковок фармацевтической продукции различной конфигурации с использованием различных методов кодирования в режиме удалённого доступа.

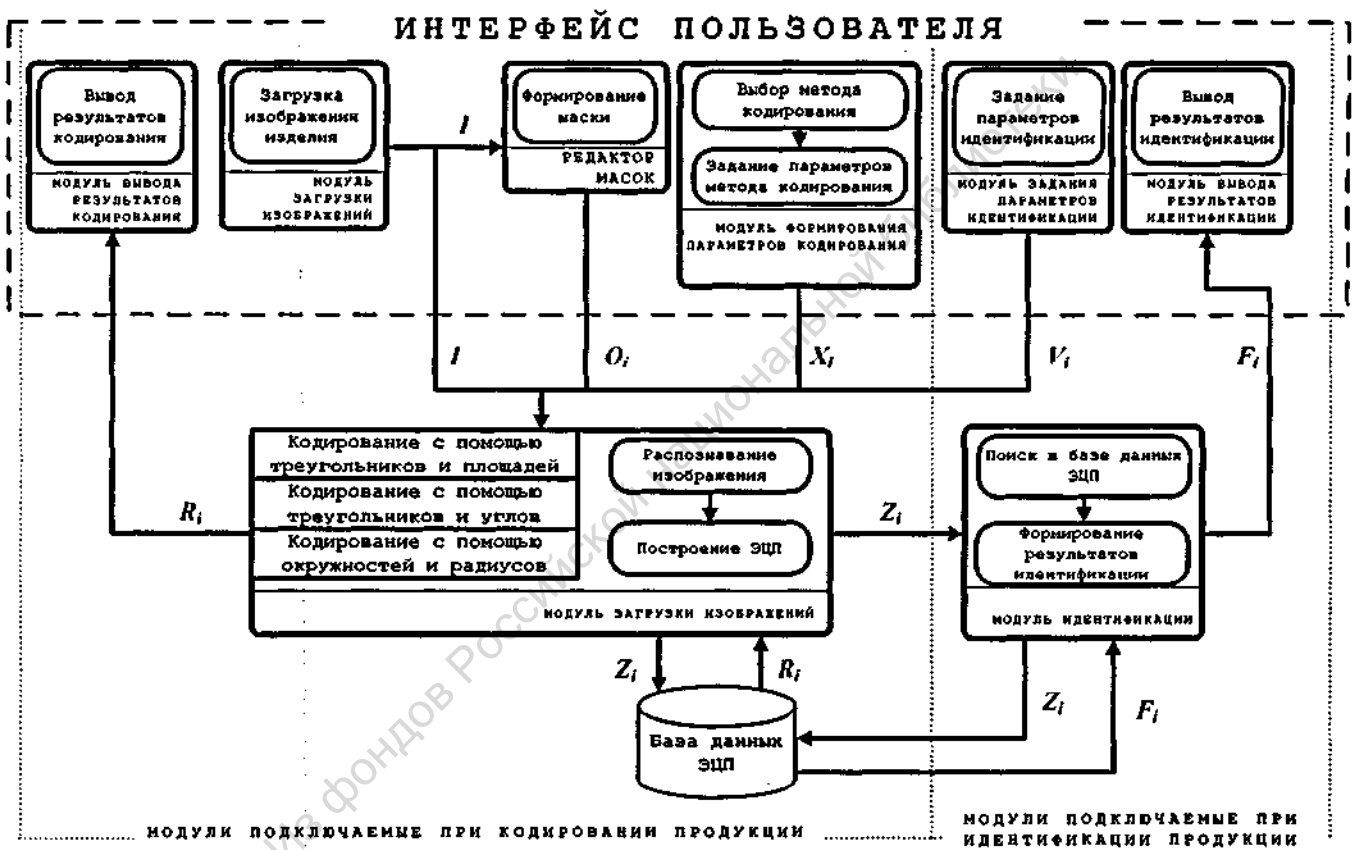


Рисунок 5 - Функциональная структурная модель программного комплекса кодирования и идентификации полимерных упаковок

В третьей главе разработаны алгоритмы кодирования и идентификации фармацевтических упаковок, а также метод хранения больших объёмов данных, отвечающий масштабам производства фармацевтической продукции и обеспечивающий необходимый уровень быстродействия системы. Приведены описания методов кодирования с использованием трёх различных принципов построения геометрических элементов для вычисления ЭЦП. Разработан алгоритм выбора метода кодирования.

Входными данными алгоритмов кодирования являются координаты центров отобранных для использования светлых пятен на снимке, а результатом работы алгоритма являются атрибуты построенных на их основе геометрических элементов, которые используются для вычисления ЭЦП. Алгоритмы кодирования позволяют обеспечить независимость функционирования от положения и ориентации упаковки на плоскости, то есть результат работы алгоритмов зависит только от взаимного расположения кодирующих элементов. Разработанная библиотека методов кодирования позволяет обеспечить выбор метода в зависимости от заданной точности кодирования (быстродействия, повышенного уровня защиты от подделки и т.д.). Областью применения алгоритмов кодирования являются упаковки и изделия из полимерных материалов с внедрёнными маркерами в виде микрочастиц. Методы кодирования также обеспечивают универсальность формы блистеров (областей размещения таблеток).

Для получения координат светящихся центров на отсканированном снимке фармацевтической упаковки, производится преобразование исходного цифрового изображения в набор структур данных, основываясь на геометрическом расположении точек изображения. Преобразование и анализ изображения производится в несколько этапов:

1. Преобразование цветного изображения в монохромное: повышение яркости изображения с использованием шкалы яркости; повышение контраста методом линейного растяжения гистограммы; преобразование исходного полноцветного изображения в изображение с оттенками серого; преобразование изображения с оттенками серого в бинарный (монохромный вид).

2. Пороговая сегментация (анализ изображения путём последовательного просмотра матрицы пикселей изображения) и выделение светлых пикселей.

3. Кластеризация пикселей по принципу взаимного расположения. Пиксели объединяются в одну группу в случае, когда расстояние между ними не превышает заданного минимального размера частицы  $q$ .

4. Расчёт координат центров масс сгруппированных точек по следующей формуле:

$$x_{i,sp} = \frac{\sum_{j=0}^k x_{i,j}}{\phi_i}; y_{i,sp} = \frac{\sum_{j=0}^k y_{i,j}}{\phi_i}, i=1..n, \quad (7)$$

где  $x_{i,sp}$ ,  $y_{i,sp}$  – координаты центра масс  $i$ -й группы пикселей,  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$  – координаты  $j$ -го пикселя в  $i$ -й группе,  $\phi_i$  – количество пикселей в  $i$ -й группе (вес  $i$ -го кластера).

5. Сохранение массива координат кодирующих точек  $B$  и уровней их яркости в соответствии с весом каждого кластера ( $\phi_i$ ).

Для обеспечения универсальности системы кодирования разработана библиотека методов кодирования на базе различных геометрических моделей. При построении геометрических моделей используется  $l$  случайных точек из массива  $B_k$   $k$  наиболее ярких точек (с наивысшими весовыми коэффициентами). Каждый метод характеризуется атрибутами  $r$  геометрических моделей, на основании которых формируется ЭЦП ( $Z$ ). При вычислении ЭЦП рассчитывается и её контрольная сумма. Контрольная сумма ЭЦП  $A$  — это число, которое вычисляется для каждого набора геометрических моделей и зависит от используемого метода кодирования:

- Метод, основанный на углах треугольников, сохраняет два минимальных угла  $\gamma_j = \{a_{j1}, a_{j2}\}$  каждого  $j$ -го треугольника при  $j = 1..n$ . Общее число сохраняемых атрибутов для данного метода вычисляется по формуле:

$$N_i = n \cdot 2 = C_l^3 \cdot 2 = \frac{l!}{3 \cdot (l-3)!}, \quad (8)$$

Контрольная сумма ЭЦП  $i$ -й упаковки вычисляется по формуле:

$$A_i = \sum_j^n (a_{jcp} + a_{jmin}), n = u = \frac{N_i}{2}, i = 1..N, \quad (9)$$

где  $a_{jcp}$  и  $a_{jmin}$  — среднее и минимальное значения углов в  $j$ -м треугольнике.

- Метод с использованием радиусов описанных окружностей сохраняет радиус  $r_j = R_j$  каждой  $j$ -й окружности при  $j = 1..N_i$ . Общее число сохраняемых атрибутов (радиусов каждой окружности):

$$N_i = n = C_l^3 = \frac{l!}{6 \cdot (l-3)!}, \quad (10)$$

Контрольная сумма ЭЦП  $i$ -й упаковки вычисляется по формуле:

$$A_i = \sum_{j=1}^n R_j \cdot (n - j + 1) - R_n, n = u = N_i, i = 1..N, \quad (11)$$

где  $R_j$  — значение радиуса  $j$ -й окружности.

- Метод кодирования с использованием площадей треугольников, построенных методом триангуляции, сохраняет площади  $r_j = S_j$  каждого  $j$ -го треугольника при  $j = 1..N_i$ . Общее число сохраняемых этим методом атрибутов выражается формулой:

$$N_i = u = l + l_{\text{внутр}} - 2, j = 1..N_i, \quad (12)$$

где  $l_{\text{внутр}}$  — число внутренних точек, полученных в результате построения треугольной сетки.

Контрольная сумма ЭЦП  $i$ -й упаковки вычисляется по формуле:

$$A_i = \sum_{j=1}^n S_j \cdot (n - j + 1) - S_n, n = u = N_i, i = 1..N, \quad (13)$$

где  $S_j$  — значение площади  $j$ -го треугольника.



Таким образом, ЭЦП  $i$ -й упаковки представляет собой набор следующих параметров:

$$Z_i = \{r_{i,j}, A_i, l, k, M, f, t, d\}, j = 1..n, i = 1..N, \quad (14)$$

Описание обобщённого алгоритма кодирования, позволяющего сформировать ЭЦП  $i$ -й упаковки, представлено в виде блок-схемы на рисунке 6.

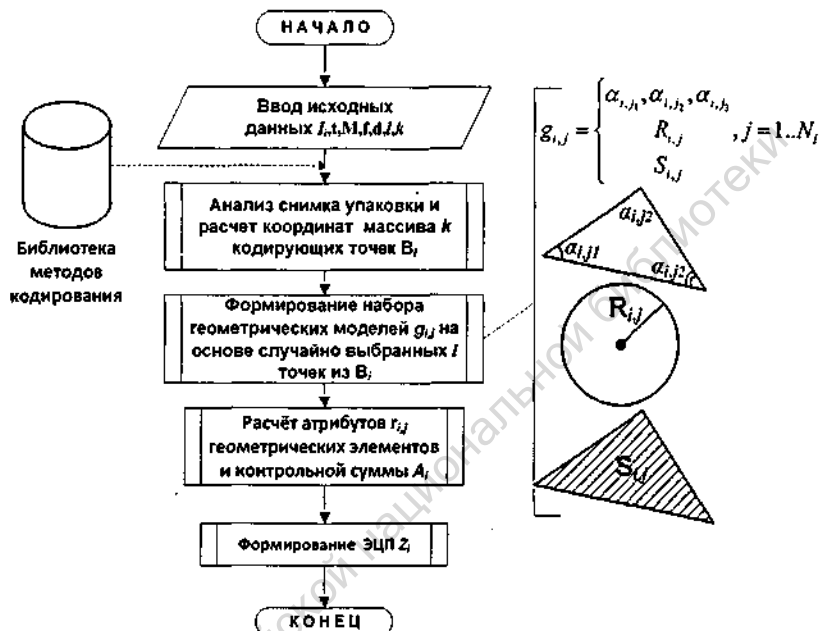


Рисунок 6 - Блок-схема обобщённого алгоритма формирования ЭЦП

На основании разработанного алгоритма кодирования и библиотеки методов кодирования поставлена и решена задача выбора метода кодирования, которая заключается в выборе такого метода кодирования, который обеспечивает выполнение условий производства заданного вида продукции и удовлетворяет необходимой точности кодирования. База правил выбора метода кодирования наполнена экспертами в области кодирования полимерных упаковок фармацевтической продукции. Разработан интеллектуальный интерфейс, позволяющий производителю выбирать методы кодирования, а инженеру по знаниям заполнять базу правил необходимыми знаниями.

На основе формализованного описания процесса идентификации, а также поставленной задачи идентификации упаковок фармацевтической продукции разработан алгоритм идентификации фармацевтических упаковок, представленный на рисунке 7.

Разработанный алгоритм идентификации позволяет установить степень подлинности фармацевтической упаковки с учётом заданного максимально допустимого отклонения значений атрибутов кодирующих геометрических элементов  $\mu$  от значений, содержащихся в ЭЦП, сохранённых в базе данных. На

вход алгоритма идентификации подаются параметры кодирования, отсканированное изображение, используемый метод кодирования, а также максимально допустимое отклонение значений атрибутов геометрических моделей  $g_j$  от сохранённого значения  $g_{cj}$ . Результатом работы алгоритма идентификации является степень подлинности упаковки  $F \in \{W_{\text{полн}}, W_{\text{подл}}, W_{\text{част}}\}$ . Алгоритм идентификации позволяет обеспечить проверку подлинности целых и частично деформированных упаковок, благодаря проверке полного и частичного соответствия вариантов ЭЦП  $i$ -й идентифицируемой упаковки подлинным ЭЦП в базе данных.

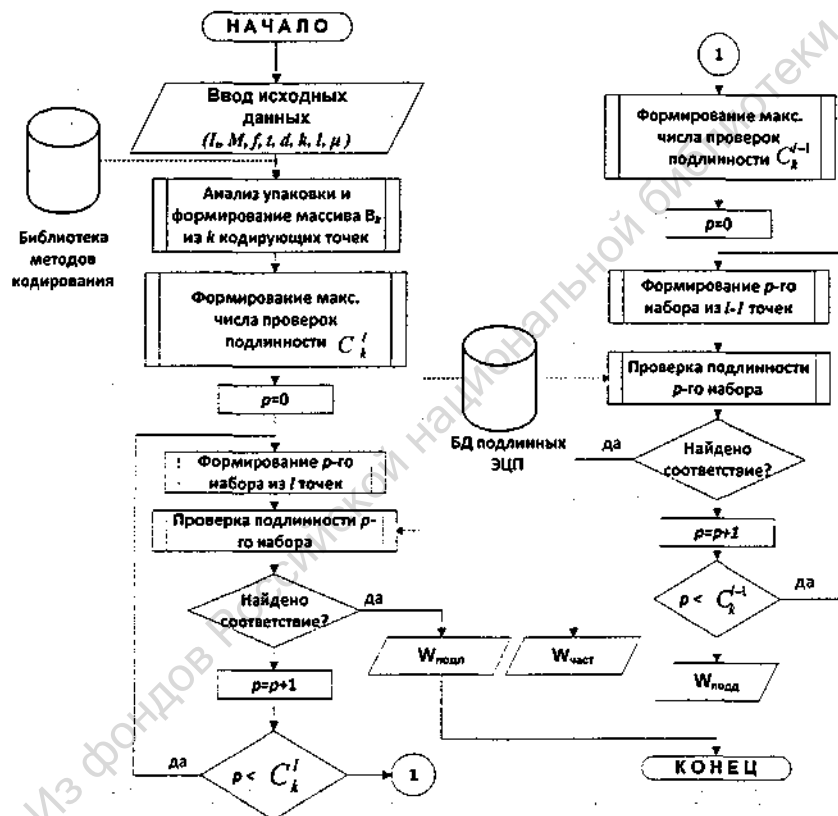


Рисунок 7 - Блок-схема алгоритма идентификации фармацевтических упаковок

Для реализации алгоритмов кодирования и идентификации, позволяющих кодировать и распознавать фармацевтические упаковки, разработан метод хранения больших объёмов данных в базе данных, отвечающий объёму производства фармацевтической продукции (несколько миллионов упаковок одного типа продукции в год), а также позволяющий производить быстрый поиск по этим данным. Общий набор данных (подлинных ЭЦП) разделяется на меньшие наборы, каждый из которых содержит лишь часть всей общей

идентификационной информации. Эти меньшие наборы называются «хранилищами ЭЦП» и представляют собой динамически формируемые таблицы в реляционной базе данных. Таблицы с сохранёнными ЭЦП формируются динамически. Название генерируемой таблицы формируется на основе следующих параметров:  $t$  – идентификатор типа продукции,  $l$  – количество используемых при кодировании точек,  $D$  – дата кодирования упаковки (месяц производства),  $C$  – диапазон контрольной суммы ЭЦП. Диапазон контрольной суммы ( $C_i$ )  $i$ -й упаковки – это число, кратное шагу диапазона  $\eta$ , который задаётся производителем и зависит от объёмов производства и выбранного метода кодирования:

$$C_i = \left( \left[ \frac{A_i}{\eta} \right] + 1 \right) \cdot \eta \quad (15)$$

Таким образом, при идентификации используемое для поиска хранилище определяется параметрами, зависящими от конкретной фармацевтической упаковки и используемого метода кодирования, что позволяет работать с меньшим объёмом данных при поиске.

Разработанные методы кодирования предоставляют возможность выбора нескольких вариантов защиты фармацевтических упаковок от фальсификации с использованием различных объектов и элементов защиты. Разработанный алгоритм идентификации также позволяет производить частичную идентификацию упаковок с заданным максимальным отклонением значений атрибутов геометрических элементов от значения, полученного на этапе кодирования. Разработанный метод хранения больших объёмов данных позволяет сохранять в реляционной базе данных промышленные объёмы ЭЦП фармацевтической продукции и обеспечивает необходимый уровень быстродействия системы при идентификации. Разработанный алгоритм выбора метода кодирования позволяет выбрать подходящий метод кодирования в зависимости от требуемой точности.

Четвертая глава посвящена разработке, описанию принципа действия и тестированию разработанного программного комплекса кодирования и идентификации фармацевтических упаковок для защиты от фальсификации, а также оценке точности кодирования, ошибок идентификации и быстродействия системы.

Программный комплекс разработан с использованием технологий платформы Java2 Enterprise Edition (J2EE). Данная платформа предоставляет широкий спектр технологий для разработки кроссплатформенных приложений с использованием клиент-серверного взаимодействия. Серверная часть комплекса реализована в виде WEB-приложения, выполняющегося на сервере приложений промышленного уровня JBoss AS. Комплекс имеет клиент-серверную архитектуру и централизованное хранилище данных, что обеспечивает высокий уровень безопасности данных. Проверка подлинности происходит на сервере идентификации, поэтому данные о подлинных ЭЦП не могут быть перехвачены при передаче.

Опытно-промышленная эксплуатация клиентской части системы проводилась на производстве полимерной плёнки в ООО «Клэкер Пентапласт Рус» при установленной серверной части системы на кафедре САПРиУ Технологического института с использованием различных элементов кодирования, режимов работы оборудования и вида упаковок. При проведении испытаний были использованы средства, представленные в таблице.

Таблица – Характеристика оборудования, материалов, и программного обеспечения

Тип материала до формования	термопластичная ПВХ ЭП-73, произведённая по ГОСТ 25250-88, с толщиной от 60 до 200 мкм
Типы люминофоров	Активированный фторид иттрия ( $Y_{1-x}Er_xF_3 : Er^{2+}$ , где x находится в диапазоне от 0.05 до 0.3); Активированный оксисульфид лантана ( $La_2O_3S : Yb, Er$ )
Размеры и плотность элементов кодирования	10-50 мкм (5-30 пкс при разрешении снимка 800x600), 1-5 пятен на см <sup>2</sup>
Фотооборудование	Прибор БТП-1332 (Телелупа), УФ излучение от 100 до 380 нм и ИК излучение от 750 до 2000 нм
Целостность упаковки	целые и деформированные упаковки
Объём тестируемой выборки	до 10 млн ЭЦП в БД
Конфигурация сервера	CPU Intel(R) Xeon(R) E5410 2.33GHz, 8 cores, 8Gb RAM OS Ubuntu Linux 10.04LTS, JVM 1.6.0_19
Конфигурация рабочей станции	CPU x64 AMD 1900 MГц 2 cores, 2814 Mb RAM OS Microsoft Windows Vista Home Premium, JVM 1.6.0_17
Характеристика ПО	11 модулей, 219 классов, 1676 методов

На рисунке 8 показана диаграмма прецедентов использования системы.



Рисунок 8 - Диаграмма прецедентов использования

Каждая группа пользователей имеет свой интерфейс и ограничения доступа к системе. Основными пользователями системы являются: оператор (производственный персонал), пользователь (персонал пункта реализации продукции), а также администратор системы, осуществляющий настройку и конфигурирование системы.

Проведенная оценка частоты возникновения ошибок при идентификации показала, что при количестве подлинных ЭЦП в базе данных свыше 1 миллиона использование числа кодирующих точек  $l$  менее 6 неприемлемо. При использовании  $l=6$  и поврежденных подлинных упаковок с одной выпавшей из рассмотрения точкой из  $l$  использованных на этапе кодирования, упаковки были признаны подделкой (ошибка 1-го рода) в 932 случаях из 5000. А заведомо поддельные упаковки были признаны подлинными (ошибка 2-го рода) в 0 случаев из 8000, что соответствует требуемой точности идентификации, задаваемой пользователем согласно типу материала.

Проведенное нагрузочное тестирование программно-аппаратного комплекса кодирования и идентификации фармацевтических упаковок показало, что для 10 миллионов подлинных ЭЦП в базе данных среднее время проверки подлинной ЭЦП составило 15 секунд, а среднее время проверки поддельной ЭЦП составило 35 секунд, что не превышает приемлемое время проверки.

Таким образом, разработанные модели, методы и алгоритмы, реализованные в программном комплексе кодирования и идентификации, решают задачу защиты фармацевтических упаковок от фальсификации и позволяют за приемлемое время установить подлинность полимерной упаковки фармацевтической продукции.

#### ВЫВОДЫ

- На основании анализа существующих проблем, методов и средств защиты продукции от фальсификации сформулированы требования к разрабатываемой системе кодирования и идентификации полимерных упаковок.
- Разработана архитектура компьютерной системы, включающая модули кодирования, идентификации и серверный модуль системы, для защиты фармацевтической продукции от подделки, с использованием методов распознавания изображения, а также методов кодирования и идентификации полимерных упаковок фармацевтической продукции.
- Предложены методы сканирования упаковки под ИК-излучением, позволяющим обеспечить необходимый уровень помехоустойчивости и свечения микрочастиц люминофора в структуре упаковочного материала, а также метод распознавания изображения для получения набора геометрических примитивов, используемых при построении электронной цифровой подписи (ЭЦП) каждой упаковки.
- Разработаны методы кодирования полученного со сканера изображения для формирования электронной цифровой подписи, идентифицирующей каждую упаковку фармацевтической продукции, что предоставляет способ уникальной маркировки каждого изделия.
- Разработаны алгоритмы идентификации, позволяющие идентифицировать каждую упаковку с заданной степенью точности и установить её

подлинность с учётом возможной деформации в пределах заданной точности.

- Разработано информационное обеспечение системы кодирования и идентификации, позволяющее хранить большие наборы электронных цифровых подписей (для миллиардов упаковок), отвечающее объёмам производства фармацевтических препаратов, обеспечивая при этом высокую скорость доступа к данным.
- Разработан программный комплекс, являющийся гибким инструментом, настраиваемым на различные типы фармацевтической продукции, типы упаковок полимерной плёнки и методы кодирования в зависимости от требуемой точности кодирования и требуемого быстродействия.
- Внедрение в эксплуатацию и тестирование программного комплекса кодирования и идентификации на заводах корпорации по производству полимерной плёнки «Клэкнер Пентапласт» в Европе и России подтвердило работоспособность, адекватность и необходимый уровень быстродействия используемых методов для различных уровней целостности упаковок фармацевтической продукции.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Чистякова, Т. Б. Методы кодирования и идентификации упаковок фармацевтической продукции для защиты от фальсификации / Т. Б. Чистякова, И. А. Садыков, К. Колерт // Информационные технологии. – 2011. – № 7. – С. 52–57. (издание рекомендовано ВАК РФ).
2. Чистякова, Т. Б. Программный комплекс для защиты полимерных упаковок фармацевтической продукции от фальсификации / Т. Б. Чистякова, И. А. Садыков, К. Колерт // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2011. – № 11. – С. 64–68. (издание рекомендовано ВАК РФ).
3. Kohlert, C. Counterfeit-proofing based on the principle of randomness / C. Kohlert, M. Kohlert, T. Chistyakova, A. Ivanov, I. Sadykov // Kunststoffe international. – 2010. – № 7. – P. 32–35.
4. Чистякова, Т. Б. Структура системы кодирования и идентификации полимерных изделий / Т. Б. Чистякова, И. А. Садыков, К. Колерт // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-22 : сб. тр. XXII Междунар. науч. конф., 25–30 мая 2009 г. В 10 т. Т. 9. – Псков : Изд-во Псков. гос. политех. ин-та, 2009. – С. 202–203.
5. Чистякова, Т. Б. Алгоритмы кодирования и идентификации для защиты полимерных изделий от фальсификации / Т. Б. Чистякова, И. А. Садыков, К. Колерт // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-23 : сб. тр. XXIII Междунар. науч. конф., 22–25 июня 2010 г. В 12 т. Т. 12. Летняя Школа молодых ученых, 28–29 июня 2010 г. – Смоленск : Смолен. фил. Моск. энерг. ин-та (техн. ун-та), 2010. – С. 34–36.
6. Садыков, И. А. Программное обеспечение системы кодирования и идентификации фармацевтических упаковок / И. А. Садыков, О. С. Албуткина, А. И. Масликов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-23 : сб. тр. XXIII Междунар. науч. конф., 22–25 июня 2010 г. В 12 т. Т. 12. Летняя Школа молодых ученых, 28–29 июня 2010 г. – Смоленск : Смолен. фил. Моск. энерг. ин-та (техн. ун-та), 2010. – С. 33–34.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010614239 (30.06.2010) Рос. Федерация. Программный комплекс для обеспечения защиты полимерных изделий от подделки / Т. Б. Чистякова, К. Колерт, И. А. Садыков, О. С. Албуткина, А. И. Масликов // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем : офиц. бюл. Федер. службы по интелект. собственности, пат. и товар. знакам. – М. : ФИПС, 2010. – Вып. 3. – С. 448.
8. Чистякова, Т. Б. Автоматизированная система кодирования и идентификации подлинности упаковочной полимерной пленки для защиты продукции от подделок / Т. Б. Чистякова, И. А. Садыков, О. С. Албуткина, А. И. Масликов // Материалы научно-практической конференции, посвящённой 182-й годовщине образования СПбГТИ(ТУ), 25-26 ноября 2010 г. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2011. – С. 82.
9. Садыков, И. А. Методы и алгоритмы математической обработки экспериментальных исследований для распознавания полимерных изделий / И. А. Садыков, Т. Б. Чистякова // Сборник тезисов научно-технической конференции молодых учёных «Неделя науки – 2011» СПбГТИ(ТУ), 30 марта – 1 апр. 2011 г. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2011. – С. 116.
10. Садыков, И. А. Комплекс средств защиты фармацевтической продукции от фальсификации / И. А. Садыков, Т. Б. Чистякова, К. Колерт // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24 : сб. тр. Школы молодых ученых, 21–24 апр. 2011 г. – Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 2011. – С. 54–56.
11. Чистякова, Т. Б. Программно-аппаратный комплекс кодирования и идентификации упаковочных полимерных пленок для защиты фармацевтической продукции от фальсификации / Т. Б. Чистякова, К. Колерт, И. А. Садыков, А. И. Масликов // Высокие технологии в производстве и переработке полимерных материалов : сб. тр. V междунар. науч.-техн. конф., 30 июня 2011 г. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2011. – С. 27–31.
12. Садыков, И. А. Математическая обработка результатов сканирования полимерных упаковок для защиты от фальсификации / И. А. Садыков, Т. Б. Чистякова, К. Колерт // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24 : сб. тр. XXIV Междунар. науч. конф., 20–22 сент. 2011 г. В 10 т. Т. 9. – Пенза : Пензен. гос. технол. акад., 2011. – С. 94–95.

---

Отпечатано с оригинал-макета. Формат 60x90<sup>1/16</sup>

Печ.л. 1,25 .Тираж экз. 80. Зак. № 31

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

---

190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26  
Типография издательства СПбГТИ(ТУ), тел. 49-49-365, e-mail: publ@technolog.edu.ru

Из фондов Российской национальной библиотеки



Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

2012 A  
7536 12 - 7536

Из фондов Российской национальной библиотеки