

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Н.О. Комлевая¹, А.Н. Комлевой², К.С. Чернега³

^{1,3}Одесский национальный политехнический университет,
65044, г. Одесса, проспект Шевченко, 1,

тел. +38(048) 705-8566, e-mail: nokoml@yandex.ua

²Одесский национальный медицинский университет,
65082, г. Одесса, переулок Валиховский, 2,

тел. +38(048) 728-5474, e-mail: shurik-jan@yandex.ua

В статье рассмотрены проблемы проектирования специализированных компьютерных систем, предназначенных для медицинского диагностирования. Разработана архитектура программной системы, позволяющей осуществлять неинвазивное диагностирование дыхательной системы человека. Выполнен анализ предметной области и физических основ выбранного метода диагностики – лазерной корреляционной спектроскопии. Формализованы исходные данные, используемые автоматизированной системой для идентификации состояния дыхательной системы. Определены общие границы и контекст моделируемой предметной области на начальном этапе проектирования системы. Сформулированы общие требования к функциональному поведению проектируемой системы. Указаны нефункциональные требования для разрабатываемого программного продукта. Рассмотрены пользователи системы – внешние по отношению к моделируемой системе сущности, которые взаимодействуют с системой и используют ее функциональные возможности для достижения соответствующих целей. Рассмотрены основные варианты использования системы, выполнен их анализ и формализация при помощи UML-диаграмм вида *Use case* и *Activity*. Рассмотрены основные алгоритмы обработки диагностических данных.

In this article the problems of designing specialized computer systems for making medical diagnosis are considered. The architecture of software system that allows making non-invasive diagnosis of human respiratory system is developed. The analysis of domain and physical foundations of chosen diagnostics method – laser correlation spectroscopy – is made. The source data which are used in the automated system for identifying the state of respiratory system are formalized. The common borders and the context of the simulated domain in initial phase of the designing system are identified. The general requirements for functional behavior of the designed system are formulated. The non-functional requirements for the developed software product are listed. System users are considered – they are entities which are external in relation to the system. being modeled that interact with the system and its functionality is used to achieve the objectives. They interact with the system and used its functional capabilities to achieve the objectives. The main use cases of the system are considered. Its analysis and formalization are made using UML-diagrams of the form *Use case* and *Activity*. The basic algorithms of diagnostic data are considered.

Введение

Современные диагностирующие системы весьма разнообразны и имеют широкий диапазон областей применения. Внедрение компьютерных систем управления медицинским обслуживанием способствует обеспечению своевременности и эффективности лечебных и диагностических мероприятий, повышению качества принимаемых решений, минимизации вероятности бесконтрольного доступа к данным пациента и злонамеренного их использования. В медицине появляется все больше разнородного высокотехнологичного оборудования (диагностическое, лабораторное), встраиваемого в автоматизированные системы обработки медицинских данных. Это обуславливает необходимость создания новых технологий по обработке данных, обеспечивающих их достоверность, доступность, целостность и конфиденциальность. Таким образом, разработка эффективной технологии обработки медицинских данных, позволяющей выполнять диагностирование состояния пациента, остается актуальной задачей.

Особую роль в диагностике играют специализированные компьютерные системы, предназначенные для детального исследования тех или иных аспектов состояния здоровья пациента. Интерес представляют системы, использующие неинвазивный подход при проведении диагностирования, что позволяет повысить доступность, безопасность и скорость проведения обследования.

В настоящее время такие системы востребованы для проведения пульмонологических обследований состояния дыхательной системы пациента. При этом источником информации о повреждении дыхательных путей, воспалительных процессах и эффективности лечения может служить анализ изменений качественного и количественного состава выдыхаемого пациентом воздуха.

Цель и задачи

Целью исследования является разработка программной архитектуры и дальнейшее проектирование автоматизированной компьютерной системы, предназначенной для проведения неинвазивного пульмонологического диагностирования.

К решаемым задачам относятся: анализ предметной области и физических основ выбранного метода диагностики, формализация исходных данных, формирование функциональных и нефункциональных требований для разрабатываемого программного продукта, анализ прецедентов системы и основных алгоритмов обработки данных.

Анализ предметной области и формализация исходных данных

Современные средства диагностики заболевания дыхательной системы предполагают лабораторные и инструментальные исследования. Вместе с тем все большее распространение получает биофизический метод лазерной корреляционной спектроскопии (ЛКС), чьими неоспоримыми преимуществами являются высокая чувствительность, скорость получения результата и неинвазивность [1]. Метод ЛКС достаточно новый, он основан на измерении спектральных характеристик монохроматического когерентного излучения вследствие рассеяния света при прохождении через дисперсную систему наночастиц, взвешенных в жидкости. Взаимодействие излучения с частицами этой системы расширяет спектр рассеяния света, при этом форма линий спектра характеризует дисперсный состав системы, с высокой точностью показывая концентрации частиц размером от 1 до 10000 нанометров. Из спектра характеристик рассеянного монохроматического когерентного излучения может быть получена информация обо всех динамических процессах в исследуемой системе.

Непосредственно измеряемой величиной в методе ЛКС является не сам спектр рассеянного исследуемой системой света, а спектр флуктуаций фототока на выходе фоторегистрирующего устройства. Этот спектр представляет собой результат биения гармоник электромагнитных полей друг с другом, он сосредоточен в низкочастотной области, то есть там, где его очень удобно анализировать современными мощными радиотехническими методами. Измеряя спектр флуктуаций фототока и определяя его полуширину, легко получить размер частиц в исследуемой системе. Однако в действительности исследуемые размеры частиц (особенно биологические жидкости) редко бывают монодисперсными. Как правило, исследуемые образцы полидисперсны, то есть одновременно в растворе находятся частицы различных размеров. Пусть спектр света, рассеянного монодисперсными частицами, представляет собой кривую Лоренца:

$$I(\omega) = A \frac{\Gamma}{\Gamma^2 + \omega}, \quad (1)$$

где $\Gamma = D_T q^2$ – полуширина спектра на полувывоте, q – переданный волновой вектор света, рассеянного образом,

$$q = \frac{4\pi n}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}, \quad (2)$$

где n – показатель преломления среды, λ – длина волны света, θ – угол рассеяния, D_T – коэффициент трансляционной диффузии рассеивающих частиц. Через него можно перейти к размерам рассеивающих частиц.

Для полидисперсной системы спектр является суммой, а для непрерывных распределений – интегралом лоренциалов с разными полуширинами Γ . В этом случае спектр $I(\omega)$ имеет вид:

$$I(\omega) = \int \frac{A(\Gamma)\Gamma}{\Gamma^2 + \omega} d\Gamma, \quad (3)$$

где $A(\Gamma)$ – функция распределения частиц по коэффициентам диффузии ($\Gamma = D_T q^2$), а, следовательно, и по размерам. Определение распределения частиц по размерам заключается, таким образом, в решении приведенного выше интегрального уравнения с лоренцевским ядром.

Задача такого типа характеризуется сильной неустойчивостью решения по отношению к малым вариациям экспериментальных данных, что необходимо учитывать.

Для проведения неинвазивного пульмонологического обследования в качестве исходного материала эффективно использовать конденсат влажности выдыхаемого воздуха (КВВВ) пациента, который получают с помощью специального устройства и далее помещают в лазерный спектроскоп. ЛКС КВВВ позволяет, основываясь на соотношении наночастиц определенного гидродинамического радиуса, определять состояние дыхательной системы и далее проводить мониторинг эффективности лечения и прогнозировать его результаты. Спектры исследуемых КВВВ целесообразно измерять при одинаковых условиях, то есть при одной и той же температуре, влажности и т. д. Если условия другие и не могут быть приведены к стандартным, необходимо вводить соответствующие поправки.

Функции распределения по размерам частиц КВВВ – это гистограммы, определенные на сетке размеров, состоящий из 32 точек, причем сетка размеров одинакова для любых рассматриваемых КВВВ. Хотя визуально можно выявить определенные корреляции между заболеванием дыхательной системы и видом функции распределения, сделать обоснованный вывод, основываясь на непосредственном рассмотрении данных ЛКС, чрезвычайно трудно, потому что эти данные представляют собой 32 скоррелированных между собой

числа, и анализ их «в уме» практически не возможен. Поэтому целесообразно применить автоматизированный подход и спроектировать компьютерную систему, позволяющую идентифицировать состояние дыхательной системы пациента на основе его персональных, медицинских и КВВВ-данных [2, 3].

Функциональные и нефункциональные требования

Для формализации требований к разрабатываемой системе был проведен сбор и анализ информации на основе документов «Видение» [4], сформированных будущими пользователями системы. Пользователей системы целесообразно разбить на следующие категории:

– «Пациент» (Patient) – обследуемый, у которого в процессе диагностирования идентифицируется состояние дыхательной системы. Компьютерная система должна уметь вводить, обрабатывать и хранить данные о множестве пациентов;

– «Медицинский работник» (Medicals) – лицо, выполняющее мероприятия по проведению обследования. Данную категорию можно разбить на две подкатегории: «Лаборант» (Laborant) и «Врач» (Doctor). На лаборанта возлагаются формализованные действия – ввод данных о пациенте и запуск вычислительных процедур, входящих в компьютерную систему. Врач отвечает за постановку диагноза в терминах предметной области;

– «Администратор» (Admin) – лицо, основной функцией которого является пересылка результатов диагностирования пациенту.

Кроме того, одни функции системы имеют строго определенного исполнителя, другие же могут выполняться разными категориями пользователей (например, регистрация, авторизация и т. д.).

Рассмотрим основные функциональные требования, предъявляемые к разрабатываемой системе диагностики. Формально описание функциональности и поведения системы приведено на рис. 1.

Система должна обеспечивать проведение регистрации (первичное использование системы) и авторизации (использование системы при наличии учетной записи) пользователей. Система должна предусматривать возможность внесения основных персональных, медицинских и дополнительных (вспомогательных) данных о пациенте. После исследования спектрального состава конденсата влажности выдыхаемого пациентом воздуха система должна регистрировать КВВВ-данные обследуемого.

Программа должна предусматривать формирование медицинской карты пациента, для которой возможны следующие режимы: создание новой карты с уникальным номером, просмотр, дополнение уже созданной карты данными, редактирование, распечатка, хранение в базе данных, поиск карты в базе данных по различным критериям – простым и составным. Каждый пациент при необходимости может быть обследован неограниченное количество раз с внесением всех результатов обследования в свою медицинскую карту. Также необходима возможность группировки пациентов с целью просмотра выборки данных или задания определенного действия сразу для группы пациентов (например, для отправки результатов диагностики сразу нескольким пациентам). При наличии контактных данных пациента система должна отправлять диагностические данные по указанному электронному адресу или посредством SMS. При отсутствии нужной информации во время поиска по базе данных или группировке должно выводиться соответствующее сообщение. Также необходимо выдавать сообщение об ошибке при отсутствии доступа к БД. Система не должна распространять персональную информацию о пациенте.

Программа должна выполнять обработку и анализ целостности КВВВ-данных пациента, осуществлять дальнейший спектральный анализ КВВВ-данных, проверять спектры на соответствие нормальному закону распределения [5], вычислять значения диагностических признаков в соответствии с заложенными методиками и алгоритмами. На основании рассчитанных значений диагностических признаков идентифицируется состояние дыхательной системы пациента. При невозможности проведения автоматической идентификации задействуется врач, который соотносит пациента с одной из существующих диагностических групп или создает для пациента новую группу. Каждая группа должна иметь свое описание, хранящееся в соответствующих таблицах БД.

У каждого пользователя есть свои ограничения в использовании системы: лаборант может вносить данные о пациенте, формировать медицинскую карту, выполнять вычисление диагностических признаков, а также расчёт спектров и проверку нормальности КВВВ-данных пациента. Все медработники могут изменять данные о клиенте, но обновлять медицинскую карту может лишь врач. Также врач может соотносить данные пациента с диагностической группой и обновлять диагностику (пересчитывать статистики для группы). Администратор отвечает за пересылку диагностических данных пациенту, если он оставил свои контактные данные (номер мобильного телефона, e-mail).

Так как разрабатываемый программный продукт предназначен для использования медработниками, владеющими вычислительной техникой на уровне пользователя, то он должен быть лёгким и простым в использовании, то есть обладать удобным дружественным интерфейсом. Задание действий должно осуществляться с использованием команд меню, кнопок пиктограмм, основным действиям должны соответствовать подсказки. Кроме того, необходимо разработать доступную справочную систему, позволяющую быстро и легко овладеть принципами работы с программой.



Рис. 1. Диаграмма вариантов использования (use case diagram) проектируемой системы

Анализ прецедентов системы и основных алгоритмов обработки данных

Рассмотрим спецификацию вариантов использования системы – прецедентов, приведенную в таблице. Для каждого прецедента здесь указаны:

- наименование;
- заинтересованные лица – актеры, участвующие в данном варианте использования;
- предусловие – условие (условия), выполнение которого требует система перед запуском данного прецедента;
- постусловие – возможное состояние системы после выполнения прецедента;
- основной успешный сценарий – шаги, выполняемые для достижения цели прецедента (в рамках статьи рассматриваются только основные шаги);
- альтернативный сценарий – шаги, выполняемые при неуспешном прохождении основного сценария. Альтернативный сценарий может предполагать повторное использование основного сценария, или иметь свою собственную последовательность шагов.

Таблица. Спецификация прецедентов

Прецеденты	Заинтересованные лица	Предусловие	Постусловие	Основной успешный сценарий	Альтернативный сценарий
1	2	3	4	5	6
1. Регистрация	Все действующие лица	Программа запущена, есть права для регистр. в соответств. профиле	Пользователь зарегистрирован	Все необходимые поля заполнены, пользователь внесён в БД	Пройти регистрацию заново
2. Авторизация	Медработники, администратор	Пользователь зарегистрирован	Пользователь вошёл в систему	Правильно введены логин и пароль, авторизация закончена	Заново ввести логин и пароль, после попыток задать дополнит. секретный вопрос или ввести номер телефона (если он записан в БД), на который поступят данные для входа
3. Прохождение обследования	Пациент, медработники	Оборудование в рабочем состоянии, медперсонал присутствует	Пациент прошёл обследование	Обследование пройдено, результаты анализов получены	Повторное обследование, ожидание выдачи результатов
4. Ввод персональных данных (основных)	Лаборант, пациент	Пациент и лаборант зарегистрированы	Данные введены	Введены все необходимые данные	Корректировка данных, ввод некоторых данных (по необходимости)
5. Ввод персональных данных (медицинских)	Лаборант, пациент	Пациент и лаборант зарегистрированы, введены основные данные	Медицинские данные введены	Введены все необходимые данные	Корректировка данных, ввод некоторых данных (по необходимости)
6. Ввод дополнительных данных	Лаборант, пациент	Пациент и лаборант зарегистрированы, введены основные персональные и медицинские данные	Дополнительные данные введены	Введены все необходимые данные	Корректировка данных, ввод некоторых данных (по необходимости) или пропуск данного пункта
7. Ввод КВВВ-данных	Лаборант, пациент	Пациент и лаборант зарегистрированы, введены основные персональные, медицинские и дополнительные данные	КВВВ-данные введены	Введены все необходимые данные	Корректировка данных, ввод некоторых данных (по необходимости)
8. Формирование медицинской карты	Лаборант, пациент	Введены все необходимые данные	Медицинская карта создана	Все данные о пациенте внесены в БД, медкарта оформлена	Ввести пропущенные данные, откорректировать неверные или устаревшие данные
9. Пересылка диагностических данных пациенту	Администратор, пациент	Администратор зарегистрирован, результаты обследования и диагноз записаны в медкарте	Данные переданы пациенту	Если пациент указал свой номер телефона и/или e-mail, то результаты диагностики приходят ему на электронную почту и/или по SMS	Ожидание прихода пациента

1	2	3	4	5	6
10. Вычисление диагностических признаков	Лаборант	Введены КВВВ-данные	Диагностические признаки вычислены	Признаки вычислены верно	Пересчёт признаков, проверка верности введенных данных, повторное проведение диагностики
11. Расчёт спектров и проверка нормальности спектров КВВВ-данных пациента	Лаборант	Введены КВВВ-данные	Спектры рассчитаны, проверка выполнена	Спектры рассчитаны успешно, КВВВ-данные полные, спектры соотв. норм. закону распределения	Пересчёт результатов, проверка верности введенных данных
12. Модификация данных о клиенте	Медработник	Изменились некоторые персональные данные о пациенте	Данные изменены	Данные изменены верно, сохранены в БД	Повторный ввод изменённых данных
13. Обновление медицинской карты	Врач	Изменились некоторые медицинские данные о пациенте	Данные изменены	Данные изменены успешно, сохранены в БД	Повторный ввод изменённых данных
14. Идентификация состояния пациента	Врач	Введены КВВВ-данные, диагностические признаки и спектры вычислены, проверена нормальность спектров	Определена диагностическая группа	Диагностическая группа пациента определена верно, вероятность ошибки мала	Перепроверка диагностических процедур, проверка корректности введенных данных, определение пациента в особую группу, определение группы самим врачом
15. Обновление статистик для группы)	Врач	Введены КВВВ-данные, диагностические признаки и спектры вычислены, проверена нормальность спектров КВВВ	Определена диагностическая группа, статистики пересчитаны	Диагностическая группа обновлена	Повторный пересчёт статистик
16. Поиск пациента	Медработники	Необходимо найти карту пациента для просмотра и/или изменения его данных	Карта пациента найдена	Ввод критерия для поиска пациента, вывод информации из его карты на экран	Пациент не занесён в БД, неправильно введен критерий для поиска – требуется повторный ввод

Рассмотрим процессы, происходящие в разрабатываемой диагностической системе. На рис. 2 показана UML-диаграмма деятельности для процесса «Просмотр/создание учетной записи пациента». Как видно из диаграммы, после запроса на работу с учетной записью пациента следует проверка авторизации персонала (лаборант/врач). При отсутствии авторизации необходимо ввести требуемые логин/пароль. При успешной авторизации персонала задается режим работы с учетной записью – нужно просмотреть существующую в БД запись или создать новую. При необходимости создания новой записи запрашиваются персональные, общие медицинские, различные вспомогательные данные о пациенте, а также результаты его обследования методом ЛКС – спектры КВВВ. Все данные, кроме основных персональных данных, могут быть введены позже при повторном обращении к учетной записи. Для работы с существующей записью вводятся ее параметры для поиска записи в БД. После просмотра данных учетной записи работа с ней завершается.

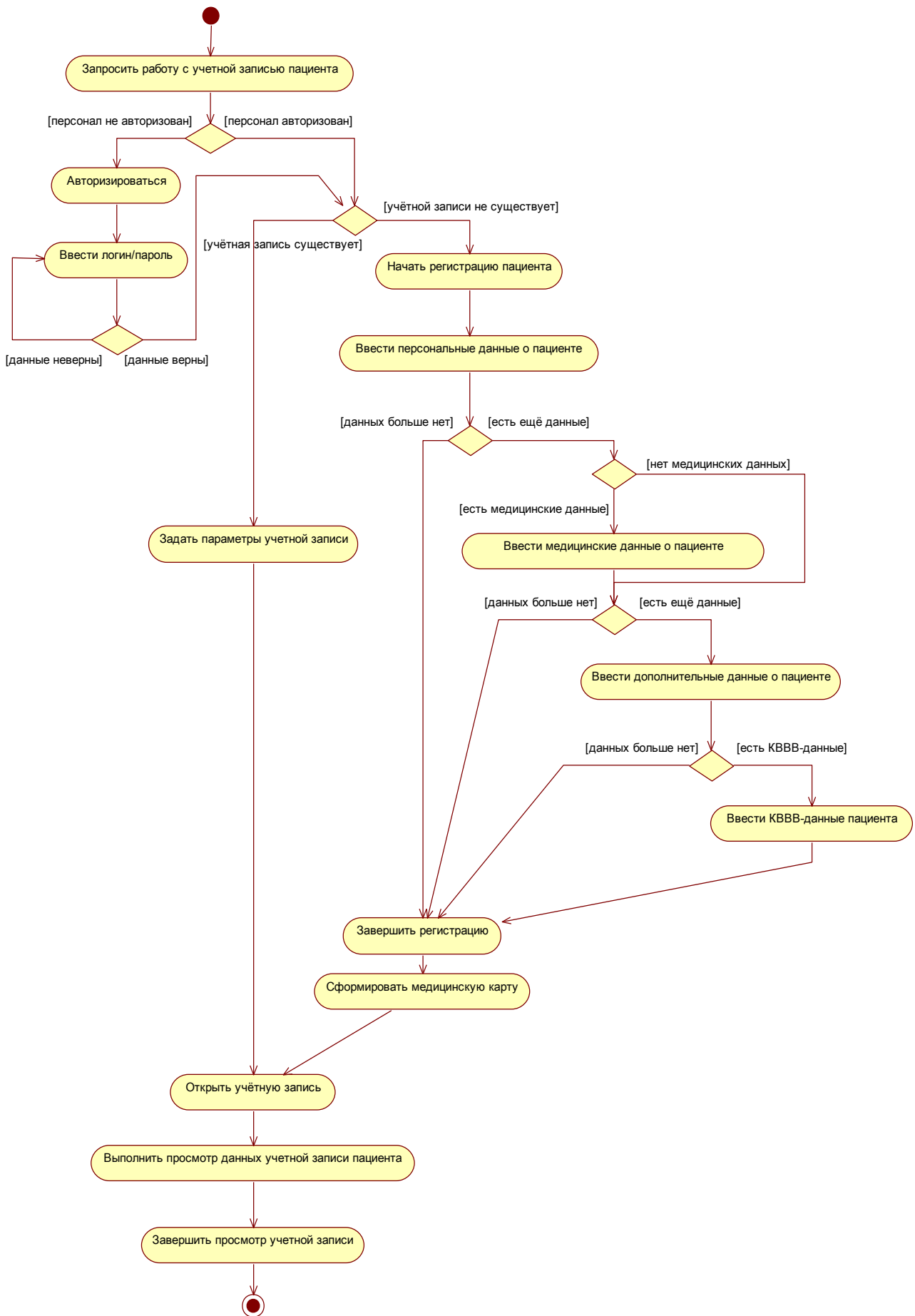


Рис. 2. Диаграмма деятельности (activity diagram) для процесса «Просмотр/создание учетной записи пациента»

На рис. 3 показана UML-діаграма для основного процесу – «Ідентифікація стану пацієнта», позволяющего соотносить состояние дыхательной системы пациента с определенной диагностической группой.

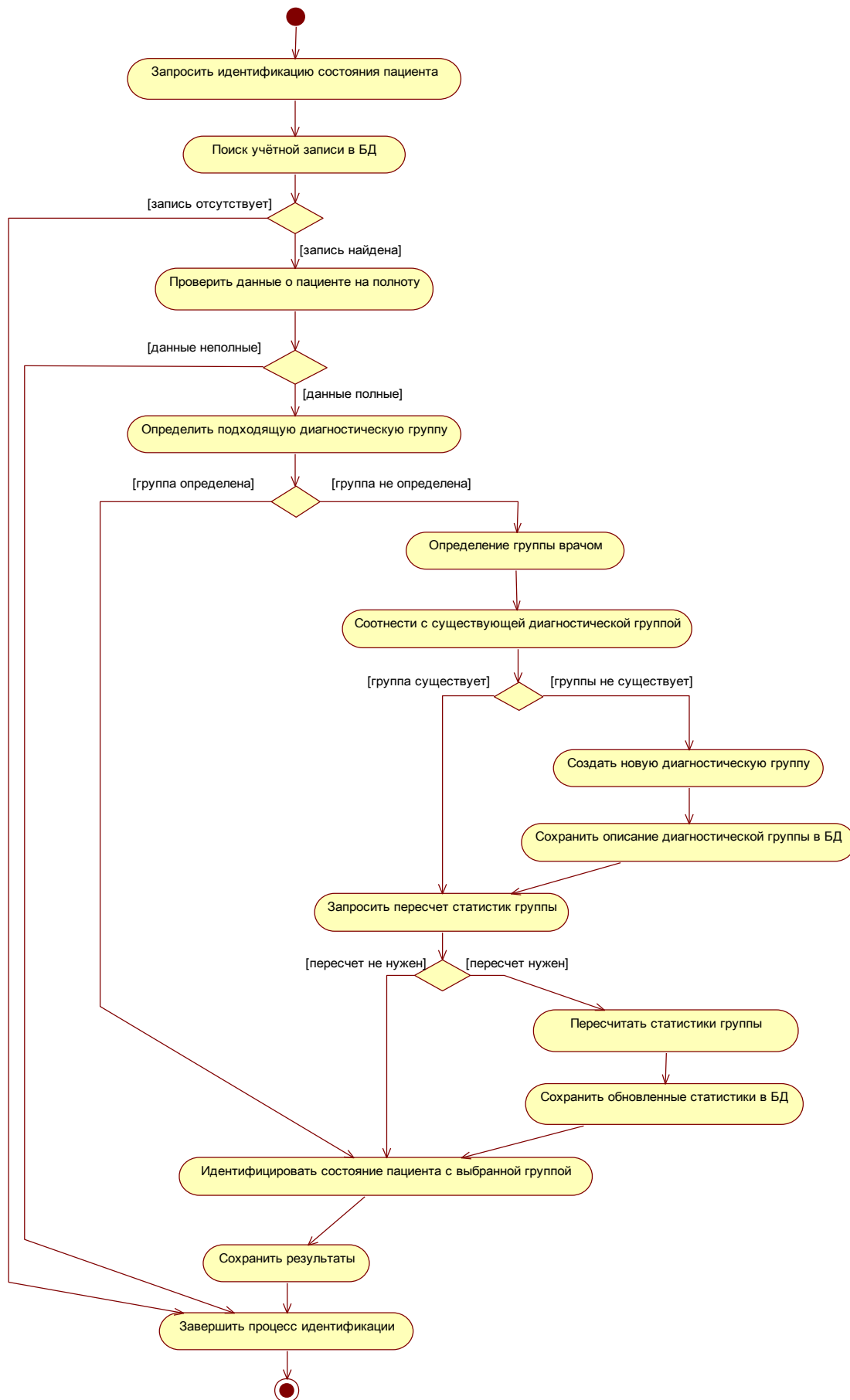


Рис. 3. Диаграмма деятельности для процесса «Идентификация состояния пациента»

Для идентификации требуется осуществить поиск учетной записи пациента в БД. При отсутствии записи необходимо выдать соответствующее сообщение и завершить работу процесса. При наличии учетной записи данные, содержащиеся в ней, проверяются на полноту. Должны быть заполнены все обязательные поля записи: как те, которые позволяют идентифицировать личность пациента, так и те, которые позволяют осуществлять его диагностику. Далее делается попытка автоматического диагностирования. По определенным правилам и процедурам [5] определяется подходящая диагностическая группа. В случае успеха рассматриваемый пациент соотносится с выбранной группой. Если же подходящая группа не найдена, то диагностирование выполняется вручную. При этом врач следует по одному из двух путей:

- соотнесение пациента с одной из существующих диагностических групп. В этом случае по требованию врача выполняется пересчет статистических данных для выбранной диагностической группы с наложением на нее дополнительных ограничений;

- создание новой диагностической группы и соотнесение с ней пациента. Для новой группы необходимо создать описание и сохранить в БД. Новые группы следует создавать осмотрительно во избежание конфликтов с уже имеющимися группами.

Результаты идентификации сохраняются в БД и процесс завершается.

На рис. 4 формализован процесс обратной связи с пациентом – отправки ему результатов диагностирования.

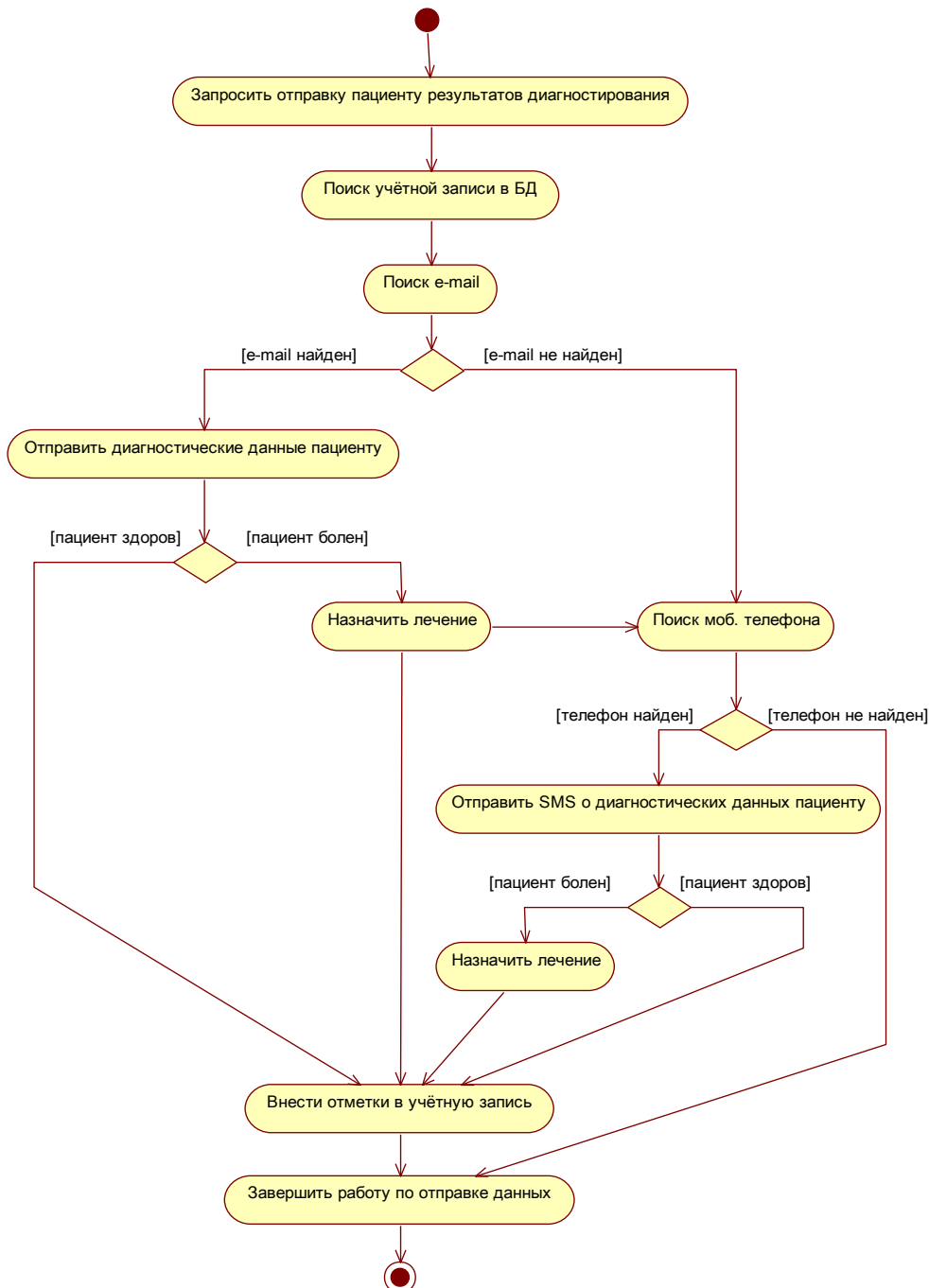


Рис. 4. Диаграмма деятельности для процесса «Отправка пациенту результатов диагностирования»

В случае, когда учетная запись пациента содержит его электронный адрес и/или номер мобильного телефона, они используются для обратной связи с пациентом. Если пациент здоров, достаточно его уведомить об этом дистанционно. Если же данные для обратной связи отсутствуют, или пациент болен, требуется его личное присутствие для обработки процесса обратной связи.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Таким образом, в рамках настоящей работы выполнено проектирование на начальном этапе компьютерной системы, позволяющей проводить автоматизированное диагностирование состояния дыхательной системы пациента, основываясь на спектральных данных выдыхаемого пациентом воздуха. Данная система является специализированной, так как для ее работы требуется возможность проведения лазерной спектрометрии.

В дальнейшем необходимо выполнить следующие этапы проектирования: формализацию всех данных, разработку структуры базы данных, описание диагностических групп, математическое описание для процедур проверки спектров КВВВ и для идентификации состояния дыхательной системы пациента.

1. *Бажора Ю.И., Носкин Л.А.* Лазерная корреляционная спектроскопия в медицине. – Одеса: «Друк», 2002. – 400 с.
2. *Комлева Н.О., Комлевой А.Н.* Разработка информационной модели диагностирования состояния дыхательной системы // Холодильна техніка і технологія. – 2011. – Вып. 2(130). – С. 75–79.
3. *Комлева Н.О., Комлевой А.Н.* Автоматизация диагностирования состояния дыхательной системы // Тр. XIII Междунар. научно-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, 2012. – С. 55.
4. *Мацяшек Л.А.* Анализ требований и проектирование систем // Разработка информационных систем с использованием UML. – М.: Вильямс, 2002. – 432 с.
5. *Реброва О.Ю.* Статистический анализ медицинских данных. – М.: Медиа Сфера, 2006. – 310 с.