

УДК 004.891.3

DOI: 10.22213/2410-9304-2021-4-130-137

## Разработка экспертной системы диагностики постковидного синдрома

*М. В. Телегина*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*И. М. Янников*, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Д. В. Пшенникова*, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Статья посвящена разработке экспертной системы для диагностики постковидного синдрома.*

*Во введении даются основные понятия и определения, касающиеся экспертных диагностирующих систем. Приводится их аналитический обзор. В связи с малой изученностью проблемы постковидного синдрома в работе достаточно большое внимание уделено обоснованию актуальности рассматриваемого вопроса. На основе проведенного анализа рассмотренных экспертных диагностических систем сделан вывод о малой изученности проблемы и актуальности ее дальнейшего рассмотрения.*

*В предлагаемом решении приводятся основные функции и возможности разрабатываемой системы, структурная схема экспертной системы диагностики и описание архитектуры системы, приводится физическая модель, достаточно подробно описана разработанная база знаний. На основе разработанных правил постковидного синдрома сформулированы правила их балльной оценки. При расчете итоговой оценки вероятности диагноза постковидного синдрома учтена вероятность влияния на диагностику хронических заболеваний у диагностируемых пациентов. Подробно описан алгоритм расчета.*

*Система диагностики постковидного синдрома разработана с использованием языка программирования C#, Visual Studio 2019, реализована под ОС Windows. Уровень хранения данных в системе построен на основе современной реляционной СУБД - MySQL.*

*В статье подробно описан порядок работы с системой и порядок ее редактирования. При описании тестирования предлагаемой системы диагностики констатируется, что диагностическая система прошла тестирование всех функций, приведены примеры изменения базы правил и редактирования системы.*

*В заключение утверждается, что предложенная авторами система диагностики поможет специалистам-медикам в определении постковидного синдрома у пациентов, в частности, она способствует повышению наглядности, достоверности постановки диагноза и сокращению времени на диагностику.*

**Ключевые слова:** экспертная система, система диагностики, постковидный синдром, архитектура системы, физическая модель, база данных, база знаний, балльная оценка.

### Введение

Экспертная система (ЭС) – это система искусственного интеллекта, использующая знания из узкой предметной области для решения возникающих в ней задач. Среди всего класса экспертных систем выделим класс диагностирующих экспертных систем, позволяющих находить причины аномальности наблюдаемых явлений. Основная функция диагностирующих ЭС – вычисление отклонения заданного набора данных от эталонного поведения и постановка диагноза. Зачастую такие системы позволяют не только ставить диагноз, но и помогать в отладке. Путем взаимодействия с пользователем оказывают помощь при поиске неисправностей и предлагают порядок действий по их устранению [1, 2].

Экспертные диагностирующие системы достаточно распространены в области медицины, они служат в качестве интеллектуального ассистента для специалиста, принимающего решение в вопросах диагностирования пациента [3–11]. Подробно рассмотрены системы меди-

цинской диагностики MYCIN, ДИАНЕС и GenRost, отличающиеся различными подходами к диагностике.

MYCIN, представляющая собой «опросник», имела базу знаний из около 400 правил, основанных на виде правил «ЕСЛИ-ТО». В данной системе был использован вероятностный подход. Эксперты, принимавшие участие в разработке, изложили ряд правил со степенью доверия к каждому.

В системе ДИАНЕС, включающей в информационную базу заболевания, сопровождающиеся или вызывающие неонатальные судороги, при представлении знаний о диагнозе были использованы группы, определяемые категориальными отношениями «диагноз-симптом». Механизм вывода системы работает на 4 уровнях, каждый из которых определяется мерой приближения к окончательному диагнозу.

Система GenRost – экспертная система диагностики наследственных заболеваний, которая моделирует логику принятия решения врача.

В данной системе врачу предлагается отметить наблюдаемые симптомы пациента и сопоставить их по определенным критериям с описанием конкретного синдрома. Поиск решений основывается на выделении сначала группы симптомов, проявление которых возможно при конкретном заболевании. В результате пользователю выводится диагноз, состоящий из перечня комплексов с описанием признаков, встречаемых в каждом комплексе, затем пользователю предлагается выделить только некоторые признаки в этих комплексах.

В 2019 году мир столкнулся с коронавирусной инфекцией (COVID-19), инфекционным заболеванием, способным поражать практически все органы и системы. Постковидный синдром – последствия коронавирусной инфекции, при которой около 20 % людей, перенесших данную инфекцию, страдают от долгосрочных симптомов, возникающих волнообразно или на постоянной основе, длящихся до 12 недель и дольше [12].

Данный синдром может возникнуть вне зависимости от того, в какой форме протекало заболевание. Признаки проявления постковидного синдрома делят на несколько групп: нарушения общего самочувствия, психоэмоциональная нестабильность, нарушения дыхательной системы, неврологические нарушения, нарушения сердечно-сосудистой системы и нарушение работы желудочно-кишечного тракта [13]. Именно поэтому определение вероятности проявления у человека постковидного синдрома является достаточно сложной задачей.

На основе анализа можно утверждать, что при наличии достаточного количества систем медицинской диагностики, разных как по применяемым методам, анализируемым симптомам заболеваний, так и по цене, актуальность разработки подобных систем не только сохраняется, но и увеличивается. Кроме того, следует подчеркнуть, что проблема постковидного синдрома в настоящее время еще крайне мало изучена и любое дополнительное исследование в этом направлении является весьма и весьма актуальным. В связи с чем целью данной публикации является представление инструментария в виде предлагаемой системы для оказания практической помощи медицинским работникам в определении постковидного синдрома у переболевших.

#### **Предлагаемое решение**

Для специалистов медицинского профиля предлагается экспертная система для диагностики постковидного синдрома. Основные функции и возможности системы:

– авторизация пользователей;

- занесение знаний в базу правил;
- ввод данных о нарушениях здоровья (симптомах) пациентов;
- ввод данных о наличии хронических заболеваний пациентов;
- расчет вероятности диагноза «постковидный синдром»;
- сохранение и экспорт результатов диагностики в формате Excel;
- просмотр ранее введенной информации и результатов ранее пройденной диагностики.

Необходимо отметить, что система только рассматривает вероятность наличия у пациента диагноза «постковидный синдром», окончательный диагноз ставит врач соответствующего профиля.

Структурная схема экспертной системы диагностики постковидного синдрома состоит из следующих блоков: база данных, определение постковидного синдрома, предыдущие результаты диагностики, изменение данных (рис. 1).

В блоке «База данных» хранится информация о врачах, пациентах, результате диагностики и база правил, с помощью которой осуществляется процесс диагностики. Блок «Определение постковидного синдрома» служит для формирования перечня симптомов пациента, исходя из его жалоб на здоровье, по которому происходит подсчет баллов нарушений систем организма, определение вероятности наличия постковидного синдрома и вывод результата, который можно сохранить и экспортировать. Блок «Предыдущие результаты диагностики» предназначен для просмотра и выгрузки всей информации о наблюдаемых симптомах и результате диагностики пациента. Блок «Изменение данных» предназначен для администратора, который формирует базу правил системы, базирясь на знаниях эксперта в предметной области, а также добавляет, изменяет или удаляет информацию о пользователях.

Основываясь на предметной области, выделены сущности (База Знаний, Анкета, Пациент, Врач и Прием) и атрибуты, которые потребуются для реализации базы данных.

Опишем отношения между сущностями.

- 1) *заполняет* – связь один ко многим между сущностями Врач и Анкета;
- 2) *имеет* – связь один ко многим между сущностями Прием и Анкета;
- 3) *ведет* – связь один ко многим между сущностями Врач и Прием;
- 4) *приходит* – связь один ко многим между сущностями Пациент и Прием.

Физическая модель данных с сущностями и атрибутами показана на рис. 2.

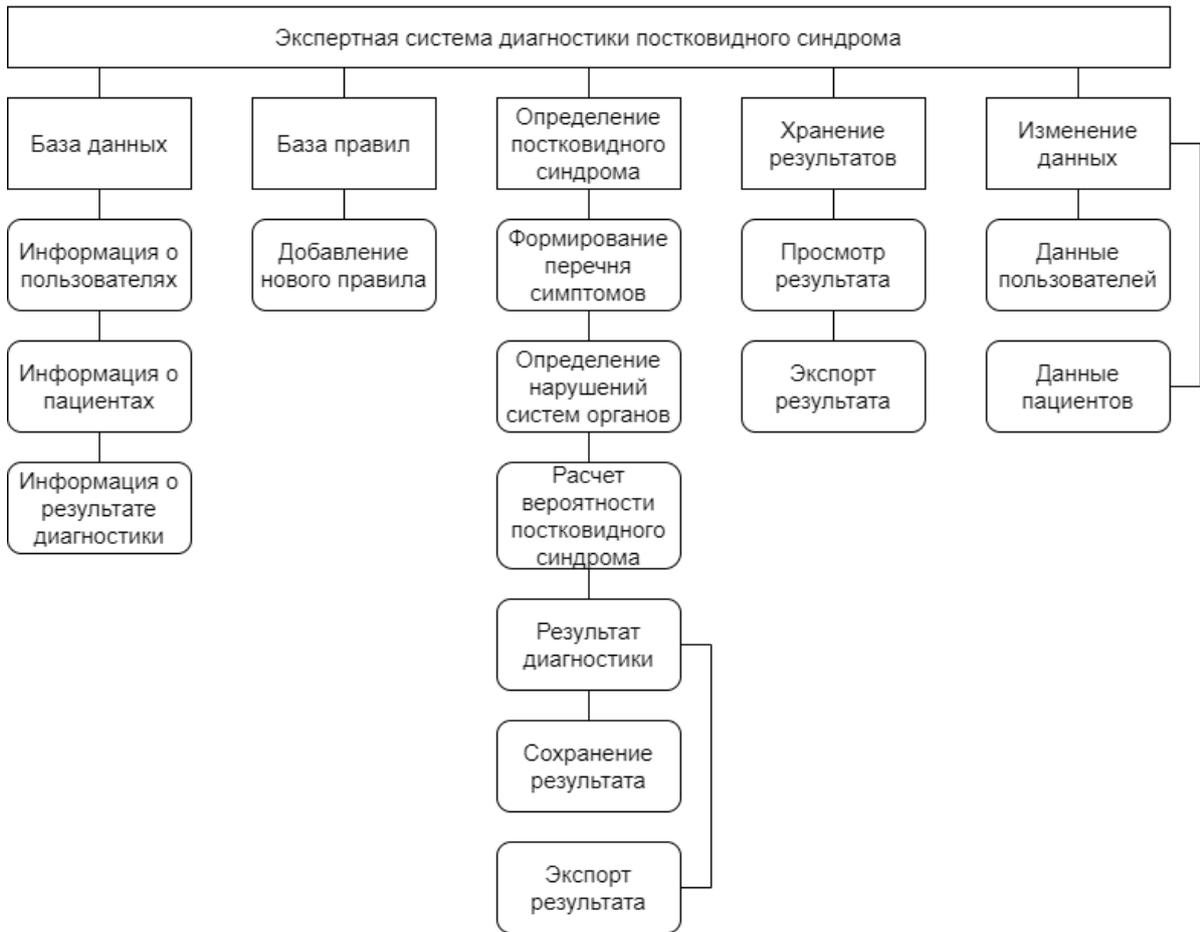


Рис. 1. Архитектура системы  
Fig. 1. System architecture

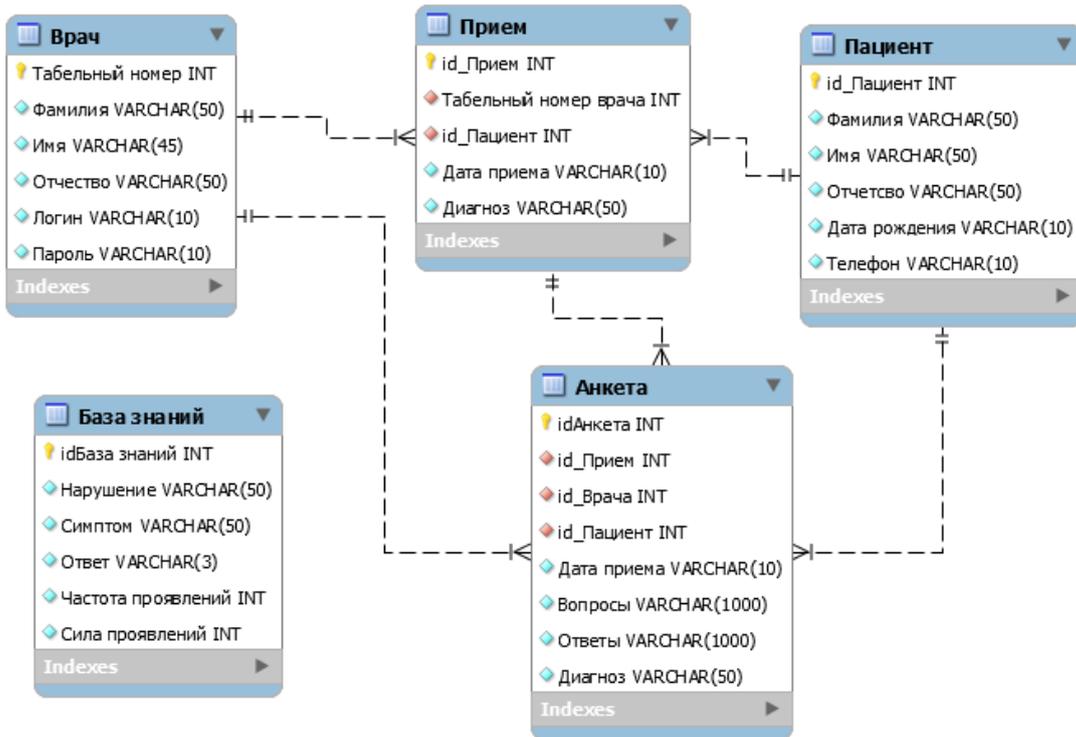


Рис. 2. Физическая модель базы данных  
Fig. 2. The physical model of the database

Среди требований к экспертным системам есть требование достаточной полноты информации, заносимой в базу знаний. Для этого выделим ключевые знания и установим их взаимосвязи в структуре данных. Разработанная база знаний (БЗ) позволит эффективно применять эту информацию для решения практических задач.

В качестве модели представления знаний в БЗ выбрана продукционная модель. Данная модель основана на правилах, позволяющих

представить знания в виде предложений типа: если (условие), то (действие). В качестве условия и действия в правилах может быть, например, предположение о наличии того или иного симптома, принимающее значение истина или ложь. Как условие, так и действие правила могут учитывать несколько выражений, объединенных логическими связками И, ИЛИ.

Фрагмент базы знаний системы диагностики постковидного синдрома показан в табл. 1.

Таблица 1. База знаний для групп нарушений общего самочувствия и сердечно-сосудистой системы  
Table 1. Knowledge base for groups of disorders of general well-being and cardiovascular system

	ЕСЛИ	И	И	ТО
	Нарушение	Симптом	Критерий	Действие
1	Общего самочувствия	Приступы слабости	Частота проявления	Интерпретировать ответ в балл
		Резкое снижение толерантности к физической нагрузке	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
			Интенсивность усталости от физ. нагрузки	Записать балл
		Бессонница	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
		Избыточная сонливость	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
		Инверсия сна	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
		Боль в мышцах	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
			Интенсивность боли	Записать балл
Частичная или полная потеря обоняния и вкуса	Ответ «Да»	Установить максимальный балл		
2	Нарушения сердечно-сосудистой системы	Хронические заболевания сердечно-сосудистой системы	Ответ «Да»	Учитывать при определении вероятности
		Повышенное артериальное давление	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
		Пониженное артериальное давление	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
		Головокружение	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
		Обморок	Частота проявлений	Интерпретировать ответ в балл
		Образования на коже, такие как: узелков, бляшек, синяков, кровоизлияний	Не было раньше проблем с кровеносной системой	Установить максимальный балл
		Нарушение сердечного ритма	Не стоит диагноз аритмия	Записать балл частоты проявлений

Интерпретировать ответ в балльную оценку – значит определить, сколько баллов должно быть присвоено промежуточной оценке при той или иной частоте или интенсивности проявления симптома [14, 15].

В табл. 2 приведено количество баллов в зависимости от частоты и интенсивности проявления симптомов.

Таблица 2. Количество баллов в зависимости от частоты симптома и интенсивности симптома

Table 2. The number of points depending on the frequency of the symptom and the intensity of the symptom

Если частота проявлений	То количество баллов	Если интенсивность проявления симптома	То количество баллов
Очень часто	4	Сильная	3
Часто	3	Умеренная	2
Редко	2	Слабая	1
Очень редко	1		

При расчете итоговой оценки вероятности диагноза постковидного синдрома учитывается вероятность влияния на диагностику хронических заболеваний нервной, дыхательной, сердечно-сосудистой системы и заболеваний желудочно-кишечного тракта у диагностируемых пациентов.

Определяется вес того или иного симптома в определенном нарушении системы органов пациента, отдельно оценивается вероятность каждого проявления нарушений. Алгоритм расчета включает:

1-й шаг – рассчитываем вероятность наличия нарушений общего состояния здоровья.

2-й шаг – рассчитываем вероятность наличия психоэмоциональной нестабильности.

3-й шаг – рассчитываем вероятность наличия нарушений дыхательной системы с учетом наличия хронических заболеваний дыхательной системы.

4-й шаг – рассчитываем вероятность наличия неврологических нарушений с учетом наличия хронических заболеваний нервной системы.

5-й шаг – рассчитываем вероятность наличия нарушения сердечно-сосудистой системы с учетом наличия хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы.

6-й шаг – рассчитываем вероятность наличия нарушения желудочно-кишечного тракта с учетом хронических заболеваний.

7-й шаг – определяем вероятность постковидного синдрома у пациента при известной вероятности всех ранее рассчитанных на шагах 1–6 событий.

Система диагностики постковидного синдрома разработана с использованием языка про-

граммирования C#, Visual Studio 2019. Реализована под ОС Windows как одну из широко распространенных систем в мире. Уровень хранения данных в системе построен на основе современной реляционной СУБД – MySQL.

Работа в системе начинается со сбора данных о состоянии пациента, выражающих диагностические параметры. Данные от пользователя (врача) о состоянии пациента и записываются в базу данных. После чего производится анализ с помощью правил, хранящихся в базе знаний и выводится результат диагностики пользователю. Пользователь сможет просматривать информацию о результате диагностирования пациента и экспортировать ее в Excel-файл, при необходимости у пользователя есть возможность удаления и изменения анкеты с данными о пациенте, а также ему предоставляется возможность просматривать архив анкет всех опрошенных пациентов. Для сохранения конфиденциальности информации о пациентах в системе предусмотрено разграничение прав доступа.

Редактирование системы возлагается на администратора. Администратор должен обладать высоким уровнем квалификации и практическим опытом выполнения работ по начальной установке, настройке и поддержанию работоспособности системы. Базу правил системы формирует администратор на основе знаний экспертов.

На рис. 3 показан пример изменения базы знаний системы диагностики постковидного синдрома, а на рис. 4 пример выдачи результата диагностики.

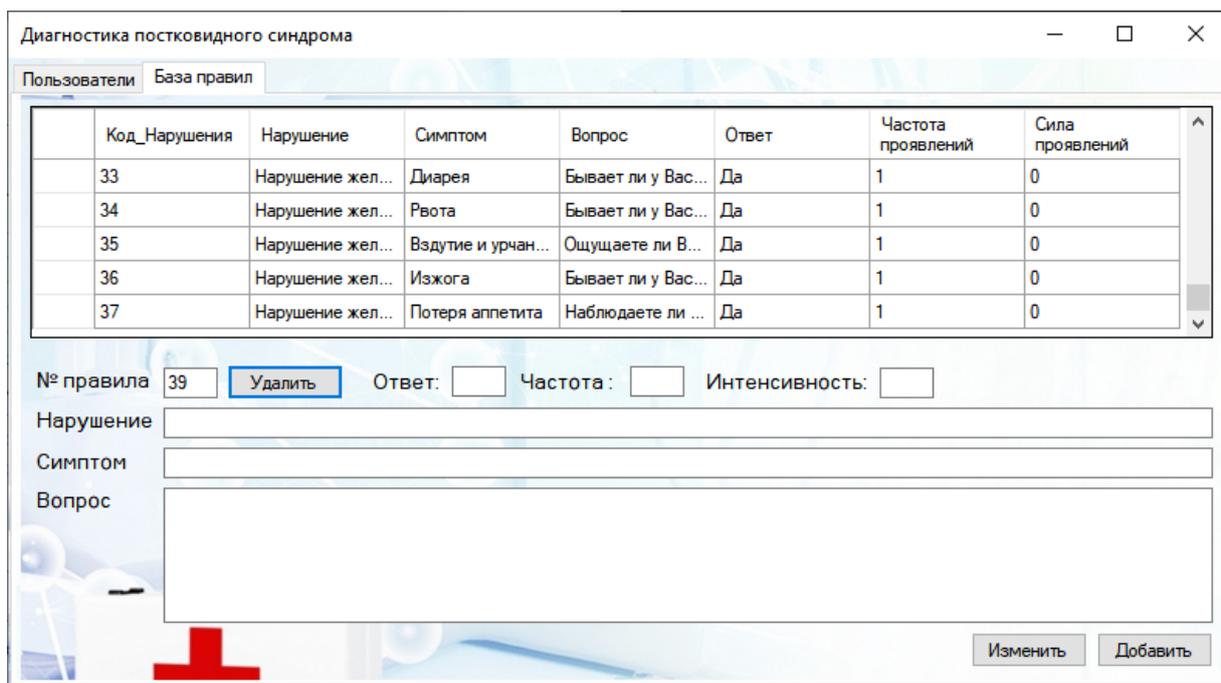


Рис. 3. Пример изменения базы правил  
Fig. 3. An example of changing the rule base

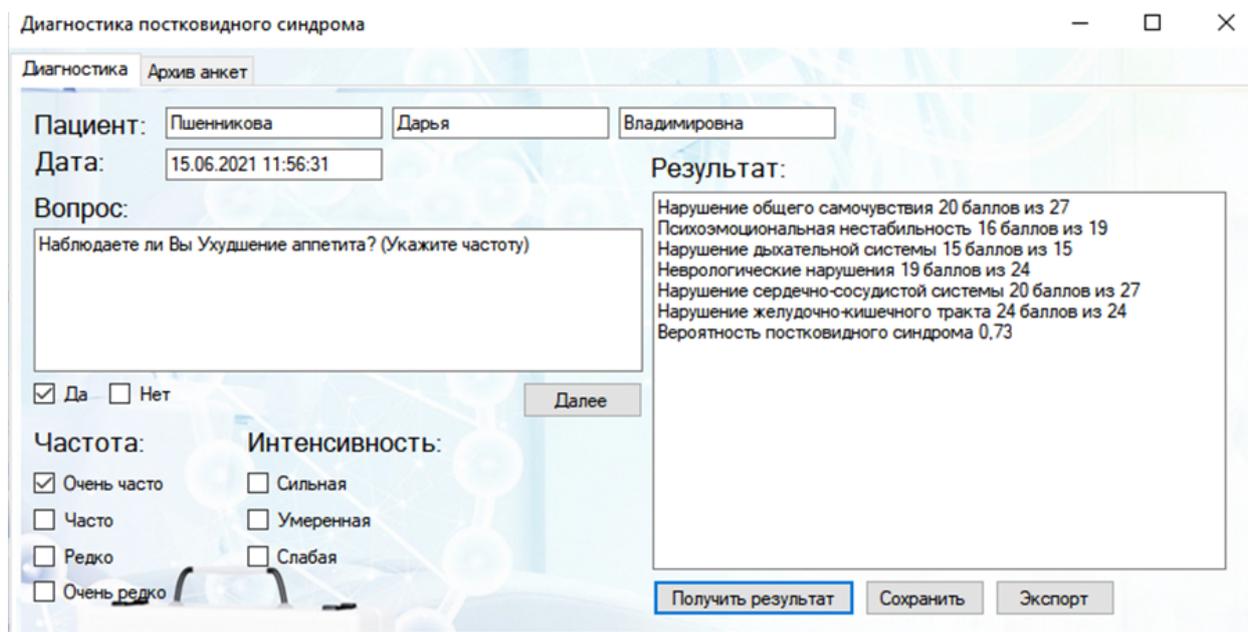


Рис. 4. Пример выдачи результата диагностики  
Fig. 4. An example of issuing a diagnostic result

### Закключение

Разработанная система диагностики постковидного синдрома прошла тестирование всех функций. На следующем этапе планируется проведение экспериментальные исследования.

Предложенная авторами система может оказать помощь специалистам-медикам в определении постковидного синдрома у пациентов, в частности, она способствует повышению наглядности, достоверности постановки диагноза и сокращению времени на диагностику.

### Библиографические ссылки

1. Введение в экспертные системы. URL: [http://www.habarov.spb.ru/new\\_es/exp\\_sys/es01/es1.htm](http://www.habarov.spb.ru/new_es/exp_sys/es01/es1.htm) (дата обращения: 10.05.2021).
2. Джозеф Джарратано, Гари Райли. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд. / пер. с англ. М. : И. Д. Вильямс, 2007. 1152 с.
3. Примеры известных экспертных систем. URL: [https://studme.org/158235/informatika/primery\\_izvestnyh\\_ekspertnyh\\_sistem](https://studme.org/158235/informatika/primery_izvestnyh_ekspertnyh_sistem) (дата обращения: 01.06.2021).
4. Особенности проектирования медицинских диагностических систем. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-meditsinskih-diagnosticheskikh-sistem> (дата обращения: 10.05.2021).
5. *Басманов С. Н., Басманова А. А.* Обзор экспертных систем с точки зрения соответствия основным признакам. Перспективы развития современных информационных технологий. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-evolyutsii-ekspertnyh-sistem-v-meditsine-s-tochki-zreniya-sootvetstviya-osnovnym-priznakam>.
6. *Ломакина Л. С., Соловьева И. В., Зеленцов С. А.* Методологические аспекты диагностирования состояний многомерных объектов // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 7 (ч. 2). С. 328–332.
7. *Токарев С. С., Телегина М. В.* Модель экспертной системы медицинской диагностики // *Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов / под ред. Н. Н. Войта. Ульяновск : УлГТУ, 2011. С. 293–295.*
8. *Янников И. М., Телегина М. В., Гущина Д. А.* Применение экспертной системы для определения уровня психологической пригодности к работе на риск-ориентированных должностях // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2019. Т. 17, № 2. С. 92–98.
9. *Оразбаев Б. Б.* Экспертные системы для медицинской диагностики с применением методов теории нечетких множеств // *ИТ-портал*. 2016. № 4 (12). URL: <https://itportal.ru/science/tech/ekspertnye-sistemy-dlya-maditsisko>.
10. Положение модели искусственной нейронной сети в медицинских системах / Ю. А. Волчек, О. Н. Шишко, О. С. Спиридонова, Т. В. Мохорт // *Журнал Juvenis Scientia*. 2017. № 9. С. 4–10.
11. *Потёмкин Д. И., Лупаренко Е. В.* Проектирование экспертной системы медицинской диагностики // *Знание*. 2018. № 11-1(63). С. 48–53.
12. Постковидный синдром: описание последствий коронавируса. URL: <https://zn48.ru/articles/post-kovidnyu-sindrom-osnovnye-priznaki-i-reabilitatsiya/> (дата обращения 10.05.2021).
13. Справочник MSD. (2015-2021). URL: <https://www.msmanuals.com/ru-ru/news/editorial/2020/09/23/2017/post-covid-syndrome> (дата обращения: 10.05.2021).
14. Оценка интенсивности болевого синдрома. URL: <https://pro-palliativ.ru/blog/otsenka-intensivnosti-bolevogo-sindroma/> (дата обращения: 07.06.2021).
15. *Иттинсон К. С.* Экспертные системы и врачи: плюсы и минусы // *Наука и практика регионов*. 2019. № 3 (16). С. 54–57.

### References

1. Vvedenie v ekspertnye sistemy [Introduction to expert systems]. Available at: [http://www.habarov.spb.ru/new\\_es/exp\\_sys/es01/es1.htm](http://www.habarov.spb.ru/new_es/exp_sys/es01/es1.htm) (date of access 05/10/2021) (in Russ.).
2. Joseph Jarratano, Gary Riley. *Ekspertnye sistemy: printsipy razrabotki i programmirovaniye* [Expert systems: design principles and programming]. Moscow: I.D. Williams, 2007. 1152 p. (in Russ.).
3. Primery izvestnykh ekspertnykh sistem [Examples of well-known expert systems]. Available at: [https://studme.org/158235/informatika/primery\\_izvestnyh\\_ekspertnyh\\_sistem](https://studme.org/158235/informatika/primery_izvestnyh_ekspertnyh_sistem) (date of access 06/01/2021) (in Russ.).
4. Osobennosti proektirovaniya meditsinskih diagnosticheskikh sistem [Features of the design of medical diagnostic systems]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-meditsinskih-diagnosticheskikh-sistem> (date of access 05/10/2021) (in Russ.).
5. Basmanov S.N., Basmanova A.A. *Obzor ekspertnykh sistem s tochki zreniya sootvetstviya osnovnym priznakam. Perspektivy razvitiya sovremennykh informatsionnykh tekhnologii* [Review of expert systems in terms of compliance with the main features. Prospects for the development of modern information technologies]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-evolyutsii-ekspertnyh-sistem-v-meditsine-s-tochki-zreniya-sootvetstviya-osnovnym-priznakam> (in Russ.).
6. Lomakina L.S., Solovieva I.V., Zelentsov S.A. [Methodological aspects of diagnosing states of multi-dimensional objects]. *Fundamental research*. 2015. No. 7 (part 2). Pp. 328-332 (in Russ.).
7. Tokarev S.S., Telegina M.V. *Model' ekspertnoi sistemy meditsinskoi diagnostiki* [Model of the expert system of medical diagnostics]. *Informatika i vychislitel'naya tekhnika: sbornik nauchnykh trudov* [Proc. Informatics and computer technology: collection of scientific papers]. Ulyanovsk: UISTU, 2011. Pp. 293-295 (in Russ.).
8. Yannikov I.M., Telegina M.V., Gushchina D.A. [The use of an expert system to determine the level of psychological fitness for work in risk-oriented positions]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2019. Vol. 17, no. 2. Pp. 92-98 (in Russ.).
9. Orazbaev B.B. [Expert systems for medical diagnostics using methods of the theory of fuzzy sets]. *ITportal*. 2016. No. 4. Available at: <https://itportal.ru/science/tech/ekspertnye-sistemy-dlya-maditsisko> (in Russ.).
10. Volchek Yu.A., Shishko O.N., Spiridonova O.S., Mohort T.V. [Artificial neural network model position in medical systems]. *Juvenis Scientia Journal*. 2017. No. 9. Pp. 4-10 (in Russ.).
11. Potemkin D.I., Luparenko E.V. [Designing an expert system for medical diagnostics]. *Znanie Magazine. founders: Serenity-Group*. 2018. No. № 11-1. Pp. 48-53 (in Russ.).

12. Postkovidnyi sindrom: opisaniye posledstviy koronavirusa [Postmold syndrome: a description of the consequences of the coronavirus]. Available at: <https://zn48.ru/articles/postkovidnyy-sindrom-osnovnyye-priznaki-i-reabilitatsiya/> (date of treatment 05/10/2021) (in Russ.).

13. Spravochnik MSD [MSD Reference]. (2015-2021). Available at: <https://www.msmanuals.com/ru-ru/news/editorial/2020/09/23/2017/post-covid-syndrome> (date of access 05/10/2021) (in Russ.).

14. Otsenka intensivnosti bolevogo sindroma [Assessment of the intensity of pain syndrome]. Available at: <https://pro-palliativ.ru/blog/otsenka-intensivnosti-bolevogo-sindroma> (date of treatment 06/07/2021) (in Russ.).

15. Itinson K.S. [Expert systems and doctors: pros and cons]. Science and practice of regions. 2019. No. 3. Pp. 54-57 (in Russ.).

\*\*\*

### Development of an Expert System for Diagnostic Postcovidal Syndrome

*M. V. Telegina*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*I. M. Yannikov*, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*D. V. Pshennikova*, Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The paper is devoted to the development of an expert system for the diagnosis of postcoid syndrome.*

*The introduction provides basic concepts and definitions related to expert diagnostic systems. An analytical review of them is given. Due to the lack of knowledge of the problem of postcovid syndrome in the work, much attention is paid to substantiating the relevance of the issue under consideration.*

*Based on the analysis of the considered expert diagnostic systems, it was concluded that the problem is poorly studied and its further consideration is relevant.*

*The proposed solution provides the main functions and capabilities of the system being developed, the structural diagram of the expert diagnostic system and the description of the system architecture, provides a physical model, and describes the developed knowledge base in sufficient detail. On the basis of the developed rules of the postcovid syndrome, the rules for their scoring are formulated. When calculating the final assessment of the likelihood of diagnosis of postcovid syndrome, the likelihood of influencing the diagnosis of chronic diseases in diagnosed patients was taken into account. The calculation algorithm is described in detail.*

*The system for diagnosing the postcovid syndrome was developed using the C# programming language, Visual Studio 2019, and implemented under the Windows OS. The data storage layer in the system is built on the basis of a modern relational DBMS - MySQL.*

*The paper describes in detail the procedure for working with the system and the procedure for editing it. When describing the testing of the proposed diagnostic system, it is stated that the diagnostic system has passed the testing of all functions; examples of changing the rule base and editing the system are given.*

*In conclusion, it is argued that the diagnostic system proposed by the authors will help medical specialists in determining the postcovid syndrome in patients; in particular, it helps to increase the clarity, reliability of the diagnosis and reduce the time for diagnosis.*

**Keywords:** expert system, diagnostic system, postcovid syndrome, system architecture, physical model, database, knowledge base, score.

Получено: 31.08.2021