

МЕДИЦИНСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ
ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 612.173; 536.758

DOI 10.21685/2307-5538-2019-1-11

*О. Н. Бодин, З. И. Баусова, О. Е. Безбородова, А. Г. Убиенных*ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОАГЕНТНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЕ «КАРДИОВИД»*O. N. Bodin, Z. I. Bausova, O. E. Bezborodova, A. G. Ubiennykh*IMITATION MODELING OF MULTIAGENT TECHNOLOGY
IN COMPUTER DIAGNOSTIC SYSTEM «CARDIOVID»

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Целью работы является разработка и исследование многоагентной имитационной модели управления процессами в компьютерной диагностической системе для определения эффективности распределения ресурсов медицинских учреждений между пациентами. **Материалы и методы.** Теоретическую и методологическую основу исследований составили труды в области неинвазивной кардиодиагностики, теории систем массового обслуживания и имитационного моделирования. В ходе исследований проанализированы алгоритмы поведения агентов системы для поиска оптимальных сценариев оказания медицинской помощи. При проведении исследований использовались методы кардиологии, система имитационного моделирования GPSS World. **Результаты.** Проведено имитационное (компьютерное) моделирование работы компьютерной диагностической системы «Кардиовид» с двумя и тремя медицинскими работниками. Из данных с применением аналитической платформы *Deductor Studio Academic* в кардиологическом отделении выявлены пациенты, которые наиболее всего нуждаются в медицинской помощи. Анализ данных показал, что система будет эффективно работать с тремя медицинскими сотрудниками. **Выводы.** Полученные результаты имитационного моделирования на основе многоагентной технологии позволят повысить эффективность выявления пациентов кардиологического отделения наиболее остро нуждающихся в медицинской помощи.

A b s t r a c t. Background. The aim of the work is to develop and study a multiagent simulation model of process control in a computer diagnostic system to determine the efficiency of resource allocation of medical institutions between patients. **Materials and methods.** The theoretical and methodological basis of the research works made in the field of non-invasive cardiology, queuing system theory and simulation modeling. The studies analyzed algorithms of the behavior agents of the system were analyzed to find the optimal scenarios for the provision of medical care. In conducting research were used methods cardiology, GPSS World simulation system. **Results.** Simulated (computer) modeling of the computer diagnostic system «Cardiovid» work with two and three medical workers was carried out. From the data using

© Бодин О. Н., Баусова З. И., Безбородова О. Е., Убиенных А. Г., 2019

the analytic platform *Deductor Studio Academic* in the cardiology department, the patients who most need medical care are identified. Data analysis showed that the system will work effectively with three medical workers. **Conclusions.** The results of simulation modeling based on multiagent technology will increase the efficiency of identifying patients of the cardiology department who most need medical care.

К л ю ч е в ы е с л о в а: многоагентная технология, компьютерная диагностическая система, имитационное моделирование, многоагентная имитационная модель, статистические данные.

К e y w o r d s: multiagent technology, computer diagnostic system, simulation modeling, multiagent simulation model, statistical data.

Введение

Многоагентная модель – это модель многоагентной системы, состоящей из функциональных элементов, представляющих интеллектуальные агенты (ИА), которые отражают состояние и поведение уровней управления оказания медицинской помощи [1]. При условии изменения состояния одного агента происходит изменение состояния другого агента в системе. Агенты характеризуются параметрами состояния, целей, а также поведением и информационными связями с другими агентами.

Стохастические свойства агентов и процессов функционирования системы «Кардиовид» обуславливает необходимость применения имитационного моделирования для определения эффективности работы системы при заданной структуре и параметрах. Изменяя параметры системы, пациент поступает в отделение. Врач определяет услуги, необходимые для оказания медицинской помощи пациенту, а также временные затраты на диагностику и лечение. Определить допустимые управляющие воздействия позволяет имитационное моделирование, при проведении которого выполняются вычислительные эксперименты с целью выявления влияния отдельных показателей на оказание медицинской помощи [2].

Система «Кардиовид» является системой массового обслуживания, поэтому для определения эффективности работы медицинских работников и параметров очереди за время обслуживания при использовании системы управления процессами необходимы:

- постановка задачи;
- практическое решение поставленной задачи;
- интерпретация результатов.

Уровни агентов

Модели ИА объединяются в многоагентную имитационную модель системы, воспроизводящую динамическое взаимодействие интеллектуальных агентов с возможностью идентификации их состояния и прогнозирования оптимальных сценариев достижения цели. Вся система управления медицинской помощи разделена на ряд функциональных областей, осуществляющих управление в своих сферах деятельности.

Выделяют три уровня агентов:

- 1) стратегический;
- 2) решающий центральный;
- 3) исполнительный (рис. 1).

Обмен данными между агентами разных уровней происходит через интерфейс информационной системы (ИС), а также области разделяемой памяти ИС, обеспечивающей диалоговый режим работы с имитационной моделью. В многоагентной модели система управления медицинской помощи представляется в виде совокупности взаимосвязанных агентов $\{A\}$ $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, описывающих процессы управления медицинской помощи [2].

Принцип работы

В процессе работы медицинский работник заносит в базу данных системы сведения о пациентах. При этом каждому пациенту соответствует список необходимых ему услуг (рис. 2).

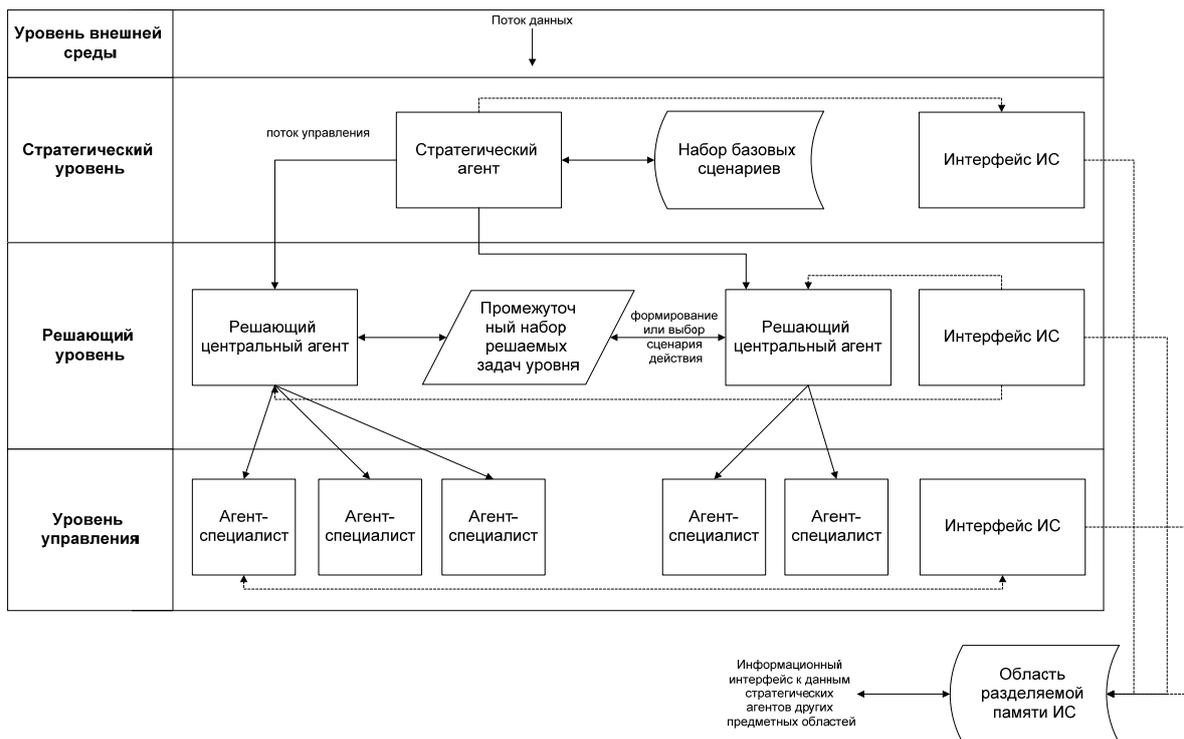


Рис. 1. Архитектура многоагентной системы оказания медицинской помощи

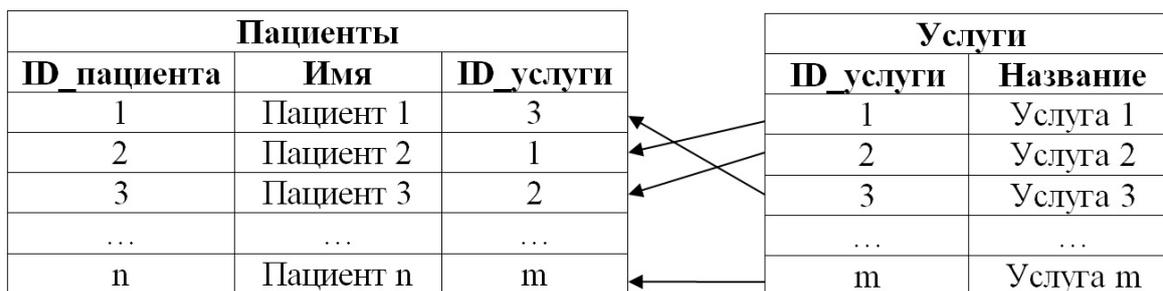


Рис. 2. Структура базы данных

Каждый пациент может нуждаться в одной или нескольких видах услуг. При определенном количестве ресурсов и неограниченном количестве пациентов необходимо оптимально распределить услуги медицинского учреждения между пациентами [1, 2].

Концепция

Имеются пациенты медицинского учреждения, являющиеся агентами системы. Услуги и оборудование медицинского учреждения являются ресурсами системы [3]. В задачи системы входит нахождение соответствия каждому агенту из этих групп: каждому пациенту необходимо оказать медицинскую помощь, основываясь на приоритетности и доступности медицинских услуг, а также оборудования медицинского учреждения. Агенты взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой, образуя систему. При этом окружающая среда оказывает влияние на поведение агентов [3].

Взаимодействие агентов осуществляется на основании установленных правил и исходных данных. В качестве исходных данных задаются сведения о пациентах и необходимых услугах. Таким образом, на вход системы моделирования взаимодействия пациентов и услуг подаются уже сформированные зависимости, определяющие услуги, необходимые конкретному пациенту (рис. 3).

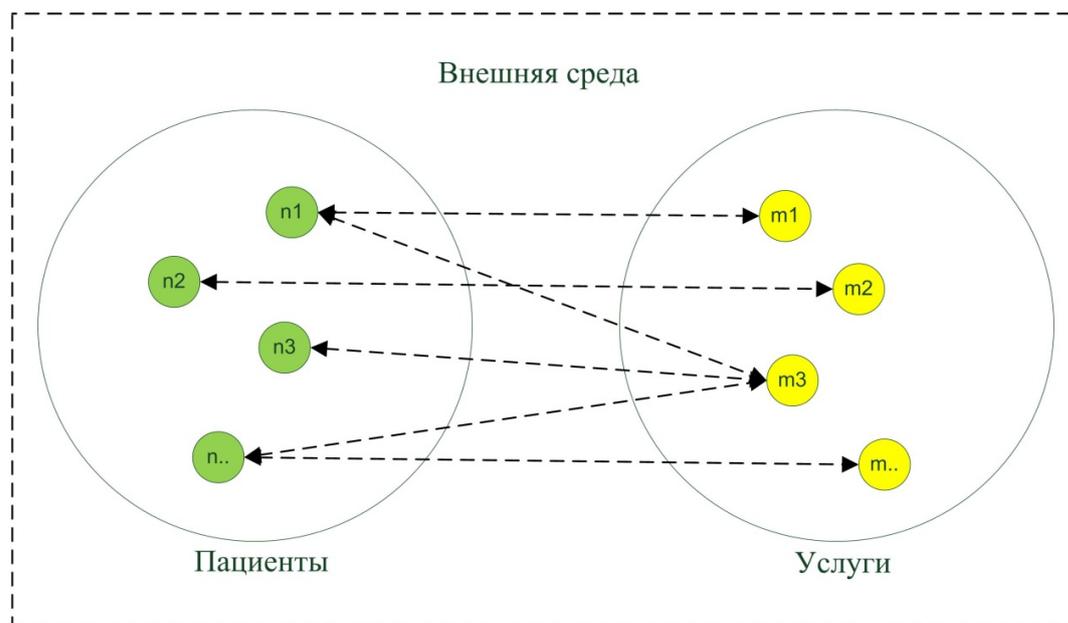


Рис. 3. Представление взаимодействия агентов в подсистеме мониторинга

Первая группа содержит пациентов медицинского учреждения (зеленый цвет), а вторая группа содержит услуги и оборудование медицинского учреждения (желтый цвет). Из рис. 3 видно, что чем больше будет пациентов, нуждающихся в медицинской помощи, тем больше ресурсов будет расходоваться на оказание медицинской помощи, что вызовет нехватку ресурсов медицинского учреждения [5].

Имитационное (компьютерное) моделирование

На данный момент было решено начать процесс моделирования системы с третьего исполнительного уровня (уровень управления) с помощью среды имитационного моделирования *GPSS World*. Данную систему можно рассматривать как многоканальную систему массового обслуживания (СМО), в которой в качестве каналов обслуживания выступают агенты, выполняющие обработку антропометрических данных, снимки флюорографии, оценивающие параметры здоровья пациента и принимающие определенные решения в зависимости от состояния здоровья пациента. Для определения эффективности работы системы необходимо решить задачу анализа со следующей постановкой.

В отделении кардиологии работают медицинские работники, занимающиеся обработкой электрокардиосигналов (ЭКС) и прочих антропометрических данных, передающихся с датчиков на пульт управления КДС «Кардиовид». Датчики проводят периодический мониторинг общего состояния здоровья пациента с предынфарктным состоянием. ЭКС на обработку поступают со средним интервалом 5 мин, при одинаковом уровне приоритета, обслуживаясь в порядке обслуживания «первым пришел – первым обслужился». Время передачи ЭКС распределено по экспоненциальному закону с интервалом времени 10 мин. Задача: определить эффективность работы медицинских работников и параметры очереди за время обслуживания в течение суток при числе медицинских работников 2 и 3 соответственно.

При исследовании системы целесообразно применить метод имитационного (компьютерного) моделирования с реализацией в среде *GPSS World* [6]. Целью моделирования данной системы является определение оптимального количества медицинских работников, при которых система будет работать эффективно.

Моделью исследуемой системы является многоканальное устройство (МКУ), которому присвоено имя *MEDIC*, а очередь необработанных медицинским работником ЭКС выступает с названием *Q SIGNAL*. С помощью блоков *GENERATE* и *TERMINATE* в модели осуществляется соответственно поступление транзактов-электрокардиосигналов, снятых с обследуемых пациентов, и удаление их из модели после обслуживания. За единицу модельного времени принята минута.

В модели воспроизводятся [6]:

- для устранения влияния начального периода (переходного процесса) работы системы на результаты моделирования осуществляется 200 прогонов модели;
- сброс статистики начального периода;
- возобновление моделирования для получения статистики по результатам системы в течение 24-часового периода ее работы;
- переопределение емкости МКУ, подготовка модели к прогону при новом значении емкости МКУ.

Имитацию работы данной системы позволяет произвести последовательность следующих команд: *START*, *RESET*, *START*, *CLEAR*, *STORAGE*, *START*, *RESET*, *START*, *CLEAR*, *STORAGE* и т.д. с необходимыми операндами. Текст программы, написанной на языке *GPSS*, представлен на рис. 4.

```

GPSS World - Untitled Model 1.gps
File Edit Search View Command Window Help
[Icons]
Untitled Model 1.gps
MEDIC STORAGE 2;Определение начального значения ёмкости МКУ
GENERATE (Exponential (2,0,5));Поступление сигналов
QUEUE QSIGNAL;Регистрация сигналов
ENTER MEDIC;Занятие одного медицинского работника
DEPART QSIGNAL;Выход из очереди
ADVANCE (Exponential (1,0,10));Задержка на время выполнения сигнала
LEAVE MEDIC;Освобождение медицинского работника
TERMINATE 1

START 200,NP;Начало прогона при ёмкости, равной 2
RESET;Сброс статистики

GENERATE 1440
TERMINATE 1
START 100
CLEAR;Очистка для следующего моделирования

MEDIC STORAGE 3;Перераспределение ёмкости МКУ
START 200,NP;Начало прогона при ёмкости, равной 3
RESET;Сброс статистики

CLEAR;Очистка для следующего моделирования

GENERATE 1440
TERMINATE 1
START 100
  
```

Рис. 4. Программа в среде *GPSS World*

Осуществить отмену формирования отчета за время моделирования (200 прогонов) позволяет запись операнда *NP* в поле *B* команд *START*.

Таблица 1 отражает некоторые результаты моделирования из стандартного отчета, необходимые для решения поставленной задачи.

Таблица 1

Результаты моделирования

Число операторов	Многоканальное устройство MEDIC		Очередь QSIGNAL		
	Среднее содержимое	Коэффициент использования	Содержимое		Среднее время/транзакт
			максимальное	среднее	
2	2	1	22	14,213	65,189
3	1,748	0,583	3	0,186	1,029

Из табл. 1 следует, что при числе медицинских работников, равном 2, система справляется с обработкой поступающих ЭКС (максимальная длина очереди больше среднего содержимого МКУ *QSIGNAL*), но при возникновении экстренной ситуации время обработки данных неприемлемо. В случае удаления одного из медицинских работников работа системы становится неудовлетворительной. При количестве медицинских работников, равным 3, длина очереди за время моделирования не привисила 3, коэффициент использования системы соста-

вил 0,583. Можно сделать вывод о том, что исследуемая система обладает достаточным запасом надежности.

Также актуальной задачей является выявление в кардиологическом отделении пациентов, особо нуждающихся в медицинской помощи. Для помощи врачу целесообразно применить аналитическую платформу *Deductor Studio Academic* и инструмент «Калькулятор», позволяющий при имеющихся статистических данных определить пациентов со слабым здоровьем [4].

В ходе моделирования был создан текстовый файл с информацией о пациентах. Данные файла изображены на рис. 5.

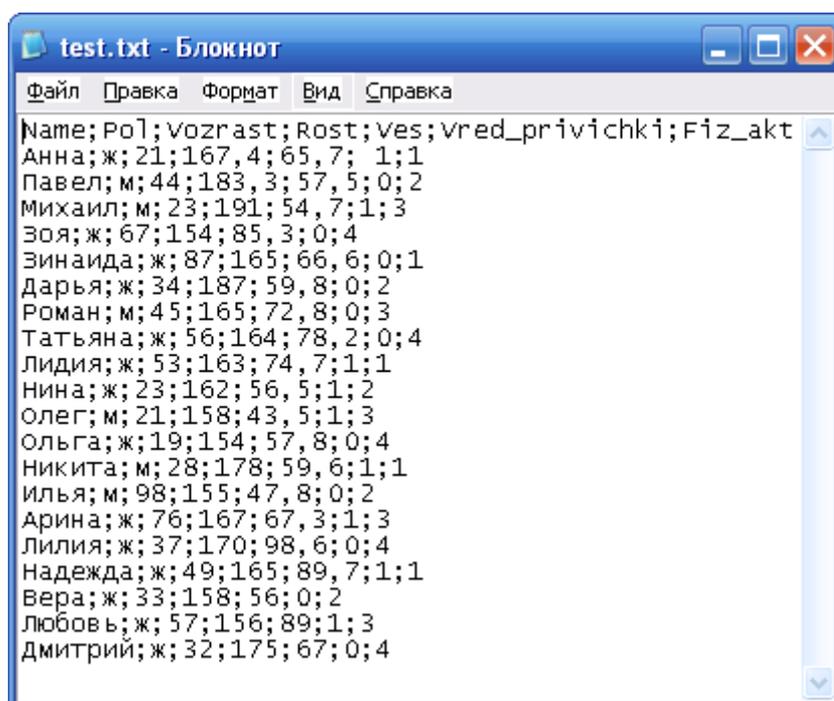


Рис. 5. Файл с данными о пациентах

После загрузки файла в виде сценария, была осуществлена его обработка.

С помощью «Мастера обработки» (рис. 6) был выбран инструмент «Калькулятор», предназначенный для добавления в набор данных новых полей, которые рассчитываются по определенным правилам на основе столбцов данных и встроенных функций [4].

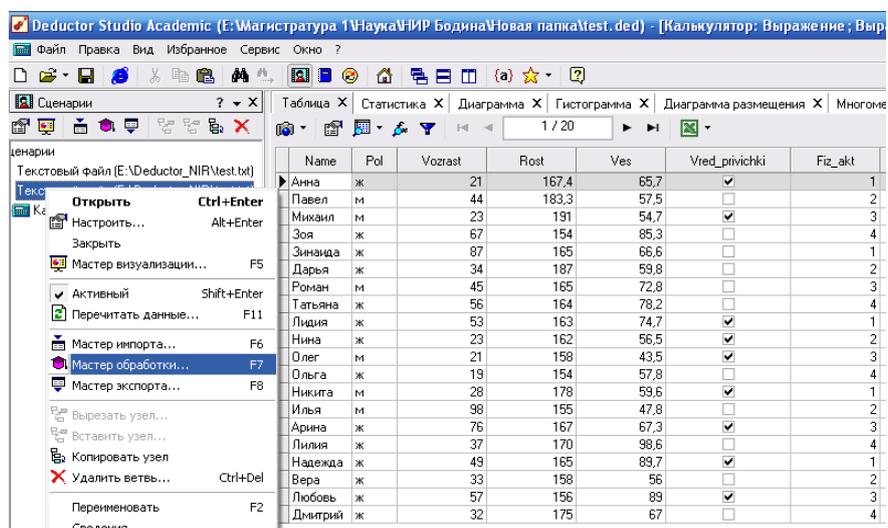


Рис. 6. Выбор «Мастера обработки»

В калькуляторе были заданы выражения для вычисления и отбора данных по конкретным полям таблицы:

– коэффициента избыточного веса, вычисляемый в соответствии со стандартной формулой расчета веса, равной $Вес/(Рост/100)^2$, выражение для отбора $Ves/((Rost/100)*(Rost/100))$;

– вредные привычки: если 1, то имеются вредные привычки (значение «Плохой»), если 0, то нет вредных привычек (значение «Хороший»), выражение для отбора $IF(Vred_privichki = 1; \text{“ПЛОХОЙ”}; \text{“ХОРОШИЙ”})$;

– для выявления пациентов с избыточным весом задано условие: если коэффициент избыточного веса больше 25, то пациент “плохой” и имеет избыточный вес, выражение для отбора $IF(EXPR > 25; \text{“ПЛОХОЙ”}; \text{“ХОРОШИЙ”})$;

– условие: если физическая активность отсутствует, то значение «Плохой», если наоборот – значение «Хороший», выражение для отбора $IF((Fiz_akt > 2); \text{“ПЛОХОЙ”}; \text{“ХОРОШИЙ”})$;

– итоговое условие: если все ранее рассчитанные значения равны «Плохой», то на данного пациента стоит обратить внимание.

Выражение итогового условия выглядит следующим образом: $IF ((EXPR_1 = \text{«Плохой»}) \text{ and } (EXPR_2 = \text{«Плохой»}) \text{ and } (EXPR_3 = \text{«Плохой»}); \text{«Плохой»}; \text{«Хороший»})$.

Тип данных выражений «Строковый». В следующем окне «Способ отображения» были выбраны «Таблица» и «Статистика». С помощью визуализатора «Статистика» можно увидеть, что имеется 2 «Плохих» пациента в группе риска, что составляет 10 % всех пациентов и имеется 18 «Хороших» пациентов, что составляет 90 % всех пациентов.

Для проверки правильности классификации был выбран мастер обработки «Логистическая регрессия». Таблица сопряженности, полученная в результате применения «Логистической регрессии», показывает, что все пациенты из группы риска были классифицированы верно (100 %) (рис. 7). Этот результат совпадает с вычисленным ранее с помощью инструмента «Калькулятор».

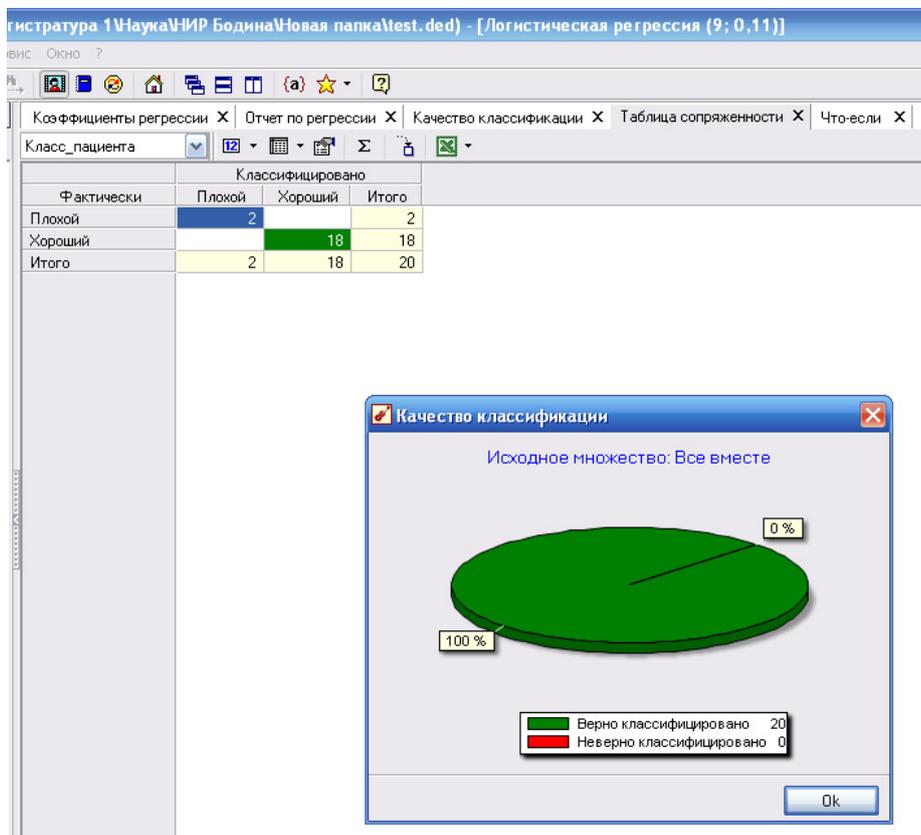


Рис. 7. Таблица сопряженности

Заключение

Задача многоагентной системы заключается в нахождении соответствия и взаимодействия между группами агентов, при этом важнейшим принципом является приоритет очередности оказания медицинской помощи конкретному пациенту. Это является актуальной задачей в силу ограниченности ресурсов медицинского учреждения и возможного неограниченного потока пациентов.

Предлагаемая подсистема позволит эффективно распределять ресурсы медицинского учреждения между пациентами, проходящими процедуру мониторинга.

В результате применения многоагентных технологий для реализации подсистемы мониторинга повысится качество оказания медицинской помощи за счет эффективного распределения ресурсов медицинского учреждения между пациентами.

Процесс моделирования был проведен на третьем (исполнительном) уровне с помощью программной среды *GPSS World*, так как для планирования эксплуатации многоагентной подсистемы мониторинга требовалось определить оптимальное количество сотрудников медицинского учреждения и эффективность использования их рабочего времени. В результате проведенного имитационного моделирования можно сделать вывод о том, что для эффективной работы медицинских работников при возникновении критических ситуаций и наиболее быстрого реагирования на сигналы системы, стоит предусмотреть расширение штата для выполнения данной работы. Анализ данных показал, что система будет эффективно работать с тремя сотрудниками. Благодаря быстрому и своевременному реагированию на сигналы системы и их интерпретированию возрастет возможность снизить смертность от инфаркта миокарда.

В ходе аналитической обработки данных с помощью платформы *Deductor Studio Academic* был проведен отбор пациентов с наиболее слабыми физическими характеристиками здоровья. Благодаря этому врач сможет определить, кому из пациентов необходимо оказывать медицинскую помощь в первую очередь.

Библиографический список

1. *Городецкий, В. И.* Самоорганизация и многоагентные системы. Модели многоагентной самоорганизации / В. И. Городецкий // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 92–120.
2. *Городецкий, В. И.* Инструментальные средства для открытых сетей агентов / В. И. Городецкий, О. В. Карсаев, В. В. Самойлов, С. В. Серебряков // Известия РАН. Теория и Системы Управления. – 2008. – № 3. – С. 106–124.
3. *Старикова, А. Ю.* К вопросу применения имитационного моделирования для управления интеллектуальной собственностью / А. Ю. Старикова, З. И. Баусова, Э. Ф. Шадрина // Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2015) : сб. науч. ст. XII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. – С. 264–265.
4. *Шадрина, Э. Ф.* Оценка эффективности работы системы контроля и учета результатов интеллектуальной деятельности / Э. Ф. Шадрина, З. И. Баусова, А. Ю. Старикова // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. III Ежегодной межвуз. студен. науч.-практ. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – С. 147–149.
5. *Distributed Computer Diagnostic System KardioVid on the Base of the Multi-Agent Technologies / O. N. Bodin, A. G. Ubiennykh, A. S. Sergeenkov, S. A. Balakhonova, F. K. Rakhmatullov, K. A. Ozhikenov // 18th International Conference on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2017 (Novosibirsk, 29 June – 3 July 2017). – Novosibirsk, 2017. – P. 610–612.*
6. *Сергеенков, А. С.* Применение многоагентных технологий для реализации подсистемы мониторинга пациентов / А. С. Сергеенков // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2016) : тр. Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. С. А. Прохорова. – Самара : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2016. – С. 592–595.

Бодин Олег Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-
измерительная техника и метрология,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: bodin_o@inbox.ru

Bodin Oleg Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Баусова Зоя Ивановна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-
вычислительные системы,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40),
E-mail: bausovazoya@mail.ru

Безбородова Оксана Евгеньевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра техносферная безопасность,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ot@pnzgu.ru

Убиенных Анатолий Геннадьевич

старший преподаватель,
кафедра информационно-
вычислительные системы, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: utolg@mail.ru

Bausova Zoya Ivanovna

candidate of technical sciences,
associate professor, sub-department
of information and computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Bezborodova Oksana Evgen'evna

candidate of technical sciences,
associate professor, sub-department
of technosphere safety,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Ubiennykh Anatoliy Gennad'evich

senior lecturer, sub-department
of information and computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Бодин, О. Н. Имитационное моделирование многоагентной технологии в компьютерной диагностической системе «Кардиовид» / О. Н. Бодин, З. И. Баусова, О. Е. Безбородова, А. Г. Убиенных // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 1 (27). – С. 78–86. – DOI 10.21685/2307-5538-2019-1-11.