

УДК 614.2

*С.Б. Петров, С.Д. Мазунина***ОПЫТ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ДОСТИЖЕНИЕМ КРИТЕРИЕВ НОВОЙ МОДЕЛИ МЕДИЦИНСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ, ПРИМЕНЯЮЩЕЙ БЕРЕЖЛИВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В настоящее время актуальность приобретают научные разработки, связанные с повышением готовности медицинских учреждений, оказывающих первичную медико-санитарную помощь населению, к работе с применением методов и инструментов бережливых технологий для увеличения уровня доступности и качества медицинской помощи населению России. Целью исследования является оценка прогностической значимости распространенных нейросетевых моделей для анализа ценностных составляющих приема участкового врача-терапевта, влияющих на показатель удовлетворенности качеством медицинской помощи, с позиции управления достижением критериев новой модели медицинской организации, применяющей бережливые технологии. Изучались следующие виды нейросетевых моделей: на основе многослойного перцептрона, радиально-базисной функции и обобщенно-регрессионной нейронной сети. В качестве контрольной группы сетей использовались модели на основе уравнений множественной линейной регрессии. Всего было получено и проанализировано 50 искусственных нейронных сетей. Оценка эффективности нейросетевых моделей производилась по следующим параметрам: отношение стандартных отклонений ошибки прогноза и исходных данных, а также корреляции Пирсона между наблюдаемыми и предсказанными моделью показателями. Среди изученных нейросетевых моделей наибольшим качеством прогноза обладают модели на основе многослойного перцептрона и обобщенно-регрессионных нейронных сетей. Это делает их перспективными для применения в системах, осуществляющих мониторинг и прогнозирование структуры ценностной для пациентов составляющей основных процессов в медицинских организациях. Предложенный нейросетевой подход может стать основой при создании информационных систем управления, осуществляющих мониторинг достижения целевых показателей и прогнозирующих риски в формировании новой модели медицинской организации, применяющей бережливые технологии.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, бережливые технологии, качество медицинской помощи, управление, здравоохранение, прогнозирование, риски.

DOI: 10.35634/2412-9593-2020-30-5-673-678

Изменения в современном практическом здравоохранении обязывают осваивать и успешно применять большой объем новых знаний и умений. В первую очередь успешное применение новых компетенций с максимальной эффективностью требуется от руководителей высшего звена [7]. Управление медицинской организацией состоит из разного комплекса действий, направленных на достижение поставленных целей, определенных национальным проектом «Здравоохранение» [4]. Особо актуальным становится применение современных методов моделирования, направленных на риск-ориентированное мышление (ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования), с возможностью своевременной корректировки управленческих решений. В условиях перехода на новую модель управления с активным применением бережливых технологий [5] одной из значимых задач, стоящих перед руководителями медицинских организаций, является выявление ценных составляющих в основных процессах организации первичной медико-санитарной помощи, непосредственно влияющих на удовлетворенность пациентов качеством оказываемых медицинских услуг. В настоящее время актуальность приобретают научные разработки, связанные с повышением готовности медицинских учреждений, оказывающих первичную медико-санитарную помощь населению к работе с применением методов и инструментов бережливых технологий для увеличения уровня доступности и качества медицинской помощи населению России [7]. В частности, важное значение приобретает оценка и прогнозирование структуры ценностной составляющей основных процессов с возможностью изменения управленческих решений на этапе мониторинга достижения поставленных целей. Модель, оценивающая качественные составляющие основных процессов, должна обладать высокой прогностической значимостью с возможностью гибко реагировать на изменения. Данным требованиям соответствует так называемый «нейросетевой подход» – применение моделей на основе искусственных нейронных сетей. Действительно, искусственные нейронные сети свободны от модельных ограничений, способны моделировать как линейные, так и сложные нелинейные зависимости, обладают способностью к обучению [1]. Системы управления на основе искусственных нейрон-

ных сетей хорошо зарекомендовали себя в экономике и производстве, в том числе в управлении рисками [2; 3; 6; 9]. Вместе с тем в настоящее время существует более двух десятков структур (топологий) искусственных нейронных сетей, что затрудняет выбор конкретной нейросетевой модели для решения задач мониторинга, прогнозирования и управления рисками, связанными с ценностной составляющей основных процессов медицинской организации, применяющей бережливые технологии.

Цель исследования: дать оценку прогностической значимости распространенных нейросетевых моделей для анализа ценностных составляющих приема участкового врача–терапевта, влияющих на показатель удовлетворенности качеством медицинской помощи, с позиции управления достижением критериев новой модели медицинской организации, применяющей бережливые технологии.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено на базе ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России совместно с Минздравом Кировской области и региональным центром ПМСП в рамках сотрудничества по продвижению федеральных проектов в здравоохранении. Для нейросетевого моделирования был взят анализ удовлетворенности пациентов приемом врача-терапевта участкового в медицинских организациях, применяющих бережливые технологии и оказывающих первичную медико-санитарную помощь для взрослого населения. Исследование включало в себя несколько этапов. Первый этап: разработка анкет; второй этап: проведение анкетирования в предложенных региональным центром ПМСП поликлиниках; третий этап: анализ полученных результатов с формированием искусственных нейронных сетей. Анкетированию подлежали пациенты, выходящие из кабинета врача-терапевта после приема. Всего было опрошено 525 респондентов, из них в поликлиниках областного центра 329 человека и в поликлинике района области – 196 человек.

Путем сопоставления данных анкетирования пациентов нами были получены обучающая и тестовая выборки для искусственных нейронных сетей, где в качестве входных переменных представлены возраст пациента (посетителя) и частота посещения поликлиники. Выходными переменными являлись частоты основных компонентов структуры ценностной составляющей приема участкового врача-терапевта, выявленных по результатам анкетирования пациентов (посетителей) поликлиник: «Вежливость, внимательность», «Информативность ответов врача», «Проведение осмотра, рекомендации», «Компетентность врача», «Точность диагностики», «Личное общение».

Изучались следующие виды нейросетевых моделей: на основе многослойного персептрона (МП – нейронные сети), радиально-базисной функции (РБФ – нейронные сети) и обобщенно-регрессионной нейронной сети (ОР – нейронная сеть). В качестве контрольной группы сетей использовались модели на основе уравнений множественной линейной регрессии. Всего с помощью программного модуля Statistica Neural Network было получено и проанализировано 50 искусственных нейронных сетей. Оценка эффективности нейросетевых моделей производилась по следующим параметрам: производительность модели, величина ошибки на тестовой выборке, отношение стандартных отклонений («SD ratio») ошибки прогноза и исходных данных, а также корреляции Пирсона между наблюдаемыми и предсказанными моделью показателями [1]. Статистическая обработка данных включала оценку нормальности распределения изучаемых количественных данных с помощью критерия Шапиро-Вилка. Отмечено, что изучаемые в исследовании количественные данные имеют распределение, близкое к нормальному, что позволило применить к описанию данных параметры нормального распределения, а для анализа использовать параметрические методы. Количественные данные представлены средней арифметической и средним квадратическим отклонением ($M \pm \sigma$), а также 95 % доверительными интервалами средней арифметической – $CI_{95\%}$. Оценка статистической значимости различий выборочных количественных данных включала однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорными сравнениями по критерию Ньюмена-Кейлса [8]. Критическим уровнем статистической значимости различий (p) выбрано значение $p < 0,05$. Статистическая обработка данных выполнена в программе Statistica 6.1.

Результаты

В табл. 1 представлены результаты оценки показателя отношения стандартных отклонений предсказанных и наблюдаемых данных в зависимости от выбранной прогностической модели, а также характеристика корреляционных связей, предсказанных с помощью моделей и наблюдаемых данных.

Таблица 1

Показатели нейросетевых моделей

Модель	Показатель	
	Отношение стандартных отклонений «SD-ratio», CI95%	Корреляция, CI95%
Модель линейной регрессии	0,82 – 0,95	0,3 – 0,55
МП – нейронная сеть	0,43 – 0,57*	0,77 – 0,86*
РБФ – нейронная сеть	0,87 – 0,99	0,38 – 0,49
ОР – нейронная сеть	0,26 – 0,46*	0,79 – 0,93*
p (ANOVA)	<0,001	<0,001

* различие с контрольной группой статистически значимо ($p < 0,05$).

Если нейронная сеть работает результативно, можно ожидать, что ее средняя ошибка на имеющихся наблюдениях будет близка к нулю, а стандартное отклонение этой ошибки будет меньше стандартного отклонения выборочных значений (иначе нейросетевая модель давала бы результат не лучше, чем простое угадывание). Отношение SD значительно меньше единицы говорит об эффективности сети, кроме того, величина, равная разности единицы и отношения SD, соответствует доле объясненной дисперсии нейросетевой модели [1]. Как видно из данной таблицы, при прогнозировании структуры ценностной составляющей приема врача-терапевта модели на основе многослойного персептрона и обобщенно-регрессионные нейронные сети имеют параметр «SD ratio», статистически значимо меньший, чем линейные модели или радиально-базисные сети.

Не выявлено статистически значимых различий по показателю «SD-ratio» выходных данных моделей на основе многослойного персептрона и обобщенно-регрессионных сетей ($p=0,13$). Показатели отношения стандартных отклонений, полученные в нейросетевых моделях на основе радиально-базисной функции, не имеют статистически значимого различия от аналогичных параметров моделей линейной регрессии (контрольной группы): $p=0,66$.

Коэффициенты корреляции, характеризующие связь между результатами прогноза, полученных с помощью линейных моделей, входящих в контрольную группу и наблюдаемыми данными, имеют умеренные (средние) значения по силе связи. Аналогичная картина наблюдается и для моделей на основе РБФ – нейронных сетей, которые не имеют статистически значимых различий по показателю корреляции выходных данных с контрольной группой моделей ($p=0,83$). Доверительные интервалы коэффициентов корреляции нейросетевых моделей на основе многослойного персептрона и обобщенно-регрессионных сетей находятся в пределах сильной корреляционной связи и не имеют статистически значимых различий друг с другом ($p=0,48$). Показатели корреляции выходных и наблюдаемых данных нейросетевых моделей на основе многослойного персептрона и обобщенно-регрессионных сетей имеют статистически значимые различия с аналогичным показателем контрольной группы ($p < 0,001$).

В табл. 2 представлены отношения стандартных отклонений по каждому выявленному структурному компоненту ценностной составляющей приема врача-терапевта в зависимости от вида искусственной нейронной сети.

Таблица 2

Отношение стандартных отклонений («SD ratio»), $M \pm \sigma$

Компоненты ценностной составляющей приема врача-терапевта	Тип сети			
	Линейные модели	МП – нейронные сети	РБФ – нейронные сети	ОР – нейронные сети
Вежливость, внимательность	0,97±0,04	0,54±0,36	0,93±0,28	0,32±0,38
Информативность ответов врача	0,92±0,04	0,4±0,29	0,92±0,17	0,32±0,37
Проведение осмотра, рекомендации	0,89±0,07	0,31±0,28	0,89±0,27	0,32±0,32
Компетентность врача	0,81±0,24	0,08±0,2	0,9±0,45	0,22±0,37
Точность диагностики	0,82±0,04	0,9±0,36	0,92±0,34	0,37±0,27
Личное общение	0,91±0,04	0,77±0,43	1,0±0,12	0,64±0,18

Наилучшие средние значения показателя SD ratio для сети на основе многослойного персептрона были достигнуты для компонентов: «Компетентность врача», «Проведение осмотра, рекомендации», «Информативность ответов врача», «Точность диагностики», лучшие значения для ОР – нейронных сетей были достигнуты при прогнозе частоты всех структурных компонентов ценностной составляющей. Для моделей на основе РБФ-сетей практически все полученные средние значения были близки единице. В контрольной модели (линейная регрессия) практически все полученные средние значения также были близки. Обращает на себя внимание то, что наибольшие значения параметра SD ratio у всех исследуемых моделей отмечены при прогнозе частоты ответов по компонентам «Точность диагностики» и «Личное общение», что может говорить о низком качестве прогноза по данным компонентам. В целом по всем компонентам ценностной составляющей наименьшие значения SD ratio, а значит и наибольшая точность прогноза, отмечены при применении нейросетевых моделей на основе многослойного персептрона и обобщенно-регрессионной сети. Кроме того, отмечено, что показатель отношения стандартных отклонений имеет довольно высокую вариабельность.

Оценка корреляционной зависимости наблюдаемых и предсказанных структурных компонентов ценностной составляющей представлена в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции, характеризующие зависимость фактических и предсказанных данных, $M \pm \sigma$

Компоненты ценностной составляющей приема врача-терапевта	Тип сети			
	Линейные модели	МП – нейронные сети	РБФ – нейронные сети	ОР – нейронные сети
Вежливость, внимательность	0,21±0,19	0,84±0,2	0,47±0,17	0,87±0,24
Информативность ответов врача	0,36±0,25	0,87±0,24	0,39±0,26	0,86±0,31
Проведение осмотра, рекомендации	0,47±0,14	0,89±0,27	0,48±0,26	0,88±0,22
Компетентность врача	0,49±0,39	0,97±0,15	0,52±0,27	0,88±0,27
Точность диагностики	0,57±0,05	0,66±0,28	0,51±0,26	0,9±0,14
Личное общение	0,42±0,1	0,63±0,35	0,25±0,16	0,74±0,19

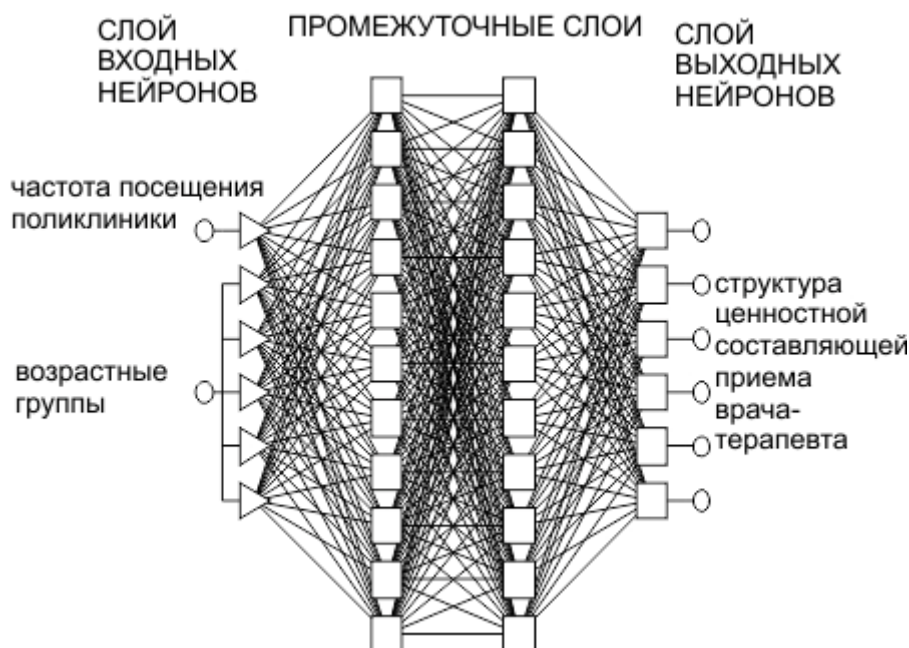


Рис. Нейросетевая модель на основе многослойного персептрона

Как видно из данной таблицы, средние значения коэффициентов корреляционных связей между предсказанными данными, полученными с помощью линейных моделей, входящих в контрольную группу и наблюдаемыми данными, имеют умеренные (средние) и низкие значения по силе связи. Аналогичная картина наблюдается и для моделей на основе радиально-базисных функций. Такая картина может говорить о невысокой прогностической эффективности данных моделей в отношении компонентов ценностной составляющей.

Напротив, выходные данные моделей на основе многослойного персептрона и обобщенно-регрессионных нейронных сетей имеют сильную прямую корреляционную связь с наблюдаемыми данными, что может говорить о высокой прогностической эффективности данных нейросетевых моделей. Также обращает на себя внимание высокая вариабельность коэффициентов корреляции.

На рис. представлена архитектура одной из исследованных нейросетевых моделей – искусственная нейронная сеть на основе многослойного персептрона.

Обсуждение и результаты

Результаты анализа показателей эффективности нейросетевых моделей позволили сделать ряд выводов относительно их применения при прогнозировании структуры ценностной составляющей приема врача-терапевта. Линейные модели обладают невысокой эффективностью в прогнозировании структуры ценностной составляющей приема врача участкового терапевта, что косвенно указывает на наличие сложных нелинейных зависимостей между возрастными особенностями пациентов, частотой посещения поликлиники и структурой ценностной составляющей приема врача-терапевта. Лучшие результаты при прогнозировании структуры ценностной составляющей дают модели на основе искусственных нейронных сетей. Прогностическая эффективность нейросетевой модели на основе радиально-базисной сети при моделировании зависимости структуры ценностной составляющей от возраста и частоты посещения поликлиники практически не отличается от эффективности простых линейных моделей. Среди изученных нейросетевых моделей наибольшим качеством прогноза обладают модели на основе многослойного персептрона и обобщенно-регрессионных нейронных сетей, что делает их перспективными для применения в системах, осуществляющих мониторинг и прогнозирование структуры ценностной составляющей основных процессов в медицинских организациях, применяющих бережливые технологии.

Ценностная составляющая для пациента в основных процессах медицинских организаций напрямую связана с формированием основного критерия пациенто-ориентированного подхода удовлетворенностью качеством оказываемой медицинской помощи. Предложенные нейросетевые модели могут стать основой при создании информационных систем управления, осуществляющих мониторинг в достижении критериев эффективности новой модели медицинской организации, применяющей бережливые технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков В.П. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. 392 с.
2. Морозенко А.А. Условия устойчивости инвестиционно-строительного проекта на основе концепции управления рисками // Вестн. МГСУ. 2012. №10. С. 260-266.
3. Ндайрагидже И., Лapidус А.А Искусственные нейронные сети как инструмент оптимизации производственных процессов в строительстве // Технология и организация строительного производства. 2018. № 4. С. 3-6.
4. Паспорт национального проекта «Здравоохранение» (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16).
5. Паспорт федерального проекта «Развитие системы оказания первичной медико-санитарной помощи» (приложение к протоколу заседания проектного комитета по национальному проекту «Здравоохранение» от 14 декабря 2018 г. № 3).
6. Сержкина Н.А., Самсонова О.Д., Ширшов А.Г. Искусственные нейронные сети в процессах управления // Академическая публицистика. 2017. № 11. С. 334-339.
7. Сквирская Г.П. Актуальные проблемы модернизации системы первичной медицинской помощи и повышения эффективности управления медицинскими организациями // Главный врач. 2014. № 11. С. 4-8.
8. Сочкова Л.В., Быкова М.М., Ким А.В., Носырева О.М. Опыт реализации пилотного проекта «бережливая поликлиника» в поликлинике крупного города // Медицина и организация здравоохранения. 2018. Т. 3, № 2. С. 4-11.

9. Халафян А.А. Современные статистические методы медицинских исследований. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. 320 с.
10. Karanowski G. 2017. Lean strategy implementation: Success is achievable through the accountant. *Cost Management*. 2017, January/February. P.42-47.

Поступила в редакцию 21.09.2020

Петров Сергей Борисович, кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой гигиены, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения с курсом экономики и управления, ведущий специалист УМЦ по развитию бережливых технологий и здравоохранения «Фабрика процессов»

E-mail: sbpetrov@mail.ru

Мазунина Светлана Диановна, кандидат медицинских наук, директор УМЦ по развитию бережливых технологий и здравоохранения «Фабрика процессов» ФГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет» Минздрава России

610998, Россия, г. Киров, ул. К. Маркса, 112

E-mail: leanmed@kirovgma.ru

S.B. Petrov, S.D. Mazunina

EXPERIENCE OF NEURAL NETWORK MODELING IN MANAGING THE ACHIEVEMENT OF CRITERIA FOR A NEW MODEL OF A MEDICAL ORGANIZATION THAT USES LEAN TECHNOLOGIES

DOI: 10.35634/2412-9593-2020-30-5-673-678

Nowadays the scientific developments connected with increase of readiness of the medical institutions, rendering primary medical and sanitary aid, to work with application of methods and tools of lean technologies for increase of level of availability and quality of medical aid to the population of Russia acquire urgency. The aim of the study is to assess the prognostic importance of common neural network models to analyze the value components of the reception of a local therapist, affecting the level of satisfaction with the quality of medical care, from the position of management to achieve the criteria of a new model of a medical organization using lean technologies. The following types of neural network models were studied: based on a multilayer perceptron, a radial basis function, and a generalized regression neural network. Models based on multiple linear regression equations were used as a control group of networks. In total, 50 artificial neural networks were obtained and analyzed. The effectiveness of neural network models was evaluated based on the following parameters: the ratio of standard deviations of the forecast error and the source data, as well as the Pearson correlation between the observed and predicted indicators of the model. Among the studied neural network models, models based on a multi-layer perceptron and generalized regression neural networks have the highest quality of prediction, which makes them promising for use in systems that monitor and predict the structure of the value component of the main processes in medical organizations for patients. The proposed neural network models can become the basis for creating information management systems that monitor the achievement of performance criteria for a new model of a medical organization that uses lean technologies.

Keywords: artificial neural networks, lean technologies, quality of medical care, management, healthcare, forecasting, risks.

Received 21.09.2020

Petrov S.B., Candidate of Medicine, Head of the Department of Hygiene, Associate Professor at Department of Public Health, Leading specialist of Educational and Methodological Center for the Development of Lean Technologies and Healthcare

E-mail: sbpetrov@mail.ru

Mazunina S.D., Candidate of Medicine, Director of Educational and Methodological Center for the Development of Lean Technologies and Healthcare

E-mail: leanmed@kirovgma.ru

Kirov State medical University

Karla Marksa st., 112, Kirov, Russia, 610998