

УДК 004.048+004.855

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА НА УСЛУГИ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В ТЕЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕННЫХ КАЛЕНДАРНЫХ ПЕРИОДОВ**Казакова О. С., Мартыненко Т. В.**

*Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизированных систем управления
E-mail: mart@kita.dgtu.donetsk.ua, olga_julia@gorizont.dn.ua*

Аннотация

Казакова О. С., Мартыненко Т. В., Прогнозирование спроса на услуги скорой медицинской помощи в течение определенных календарных периодов. В статье разработана математическая постановка задачи прогнозирования числа вызовов скорой медицинской помощи в течение различных календарных периодов. Проведен анализ современного состояния методов прогнозирования. Проведены экспериментальные исследования с использованием нейронных сетей. Наилучшие результаты дают нейронная сеть с радиально-базисной функцией и многослойный перцептрон.

Общая постановка проблемы. Среди проблем реформирования отрасли здравоохранения важнейшее значение имеет совершенствование службы скорой медицинской помощи, которая оказывает круглосуточную экстренную помощь взрослому и детскому населению на догоспитальном этапе, а так же транспортировку больных в медицинские учреждения. От качества оказания этой помощи нередко зависят жизнь больного и дальнейший исход заболевания.

Управление станцией скорой медицинской помощи (ССМП) в современных условиях является сложной организационно технической проблемой и требует формирования управленческих решений по следующим направлениям деятельности станции:

- формирование оптимального графика выхода на линию бригад и оперативного персонала;
- управление материально-техническими поставками для обеспечения работы ССМП;
- разработка мероприятий по совместным действиям скорой медицинской помощи с другими оперативно-диспетчерскими службами и лечебно-профилактическими учреждениями;
- решения, связанные с оперативностью обслуживания вызовов бригадами и оперативным персоналом.

Анализ современных программных комплексов в рассматриваемой предметной области показал, что они в основном сосредоточены на решении задачи автоматизации документооборота. Однако эти системы не предоставляют возможности формирования управленческих решений для оптимизации работы ССМП.

Оптимизация работы станции скорой медицинской помощи требует, в первую очередь, обоснованного планирования ее ресурсов. Планировщики сталкиваются с задачей обеспечения достаточных ресурсов для удовлетворения вызова в любой момент времени и в любом месте, когда задержки ответа на вызов являются неприемлемыми. Любое решение задачи планирования работы ССМП требует балансировки экономических и медицинских целей.

Основными задачами при планировании ресурсов ССМП являются:

- обоснование числа дежурных бригад и мест их размещения,
- обоснование количества материально-технического обеспечения,

– обоснование числа мест для потерпевших, которые резервируются в стационарах города.

Постановка задачи. Для оптимизации работы ССМП необходимо прогнозировать количество ожидаемых вызовов скорой медицинской помощи для различных календарных периодов (таблица 1).

Таблица 1 – Прогнозирование вызовов скорой медицинской помощи

Период прогнозирования	Использование полученного прогноза
Годовой прогноз	Определение необходимого числа закупочных медикаментов при проведении тендера на закупку медицинского оснащения на будущий год.
Прогноз на месяц	Обоснование необходимого количества койко-мест для потерпевших, которые резервируются в стационарах города.
Прогноз для каждой подстанции на месяц	Управление запасами медикаментов и перевязочного материала на подстанциях скорой помощи.
Прогноз вызовов определенного профиля для каждого месяца года	Используется при составлении рациональных графиков отпусков медицинского персонала.
Прогноз на день	Обоснование решений о том, когда необходимо привлекать дополнительные ресурсы.

В общем виде задача прогнозирования сводится к поиску функции f

$$Y_{n+1} = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) \quad (1)$$

где Y_1, Y_2, \dots, Y_n – значения прогнозируемой величины в предшествующие моменты времени.

В свою очередь Y_i может быть функцией от некоторых переменных:

$$Y_i = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (2)$$

Тогда годовой прогноз числа вызовов скорой медицинской помощи можно записать в виде:

$$kv_{n+1} = f(kv_1, kg_1, kv_2, kg_2, \dots, kv_n, kg_n) \quad (3)$$

где kv_i – количество вызовов скорой помощи в прошлые года;

kg_i – число жителей;

n – количество элементов выборки.

Прогнозирования числа вызовов скорой помощи на месяц представим в виде:

$$km_{n+1} = f(km_1, km_2, \dots, km_n) \quad (4)$$

где km_i – количество вызовов скорой помощи за прошлые месяцы.

Состояние здоровья людей, обострение хронических заболеваний, дорожно-транспортные происшествия тесно связаны с погодными условиями, поэтому число вызовов скорой медицинской помощи за день зависит от месяца (M), дня недели (D), температуры воздуха (Tem), влажности (H), наличия сильного дождя (R), снегопада (Sn), тумана (B) и гололеда (Sl).

Прогноз числа вызовов скорой помощи на день:

$$kd_{n+1} = f(g_1, g_2, \dots, g_n) \quad (5)$$

где $g_i = \{kd_i, M_i, D_i, Tem_i, H_i, R_i, Sn_i, Sl_i, B_i\}$.

Прогнозирование спроса на услуги скорой медицинской помощи в течение определенных календарных периодов. Прогноз – это результат процесса прогнозирования,

который представлен в словесной, математической, графической или другой форме суждения про возможное состояние объекта в будущий период времени.

Наиболее распространенным является прогнозирование на основе временных рядов. Временной ряд представляет собой упорядоченные во времени наборы измерений тех или иных характеристик исследуемого объекта или процесса. Временные ряды состоят из двух элементов:

- период времени, за который или по состоянию на который приводятся числовые значения;
- числовые значения того или иного показателя, называемые уровнями ряда.

Временной ряд y_t может быть представлен в следующем виде:

$$y_t = x_t + S + C + \varepsilon_t \quad (6)$$

где x_t – детерминированная неслучайная компонента процесса (тренд);

S – сезонная составляющая;

C – циклическая составляющая;

ε_t – стохастическая компонента процесса.

По временному признаку различают прогнозы:

- оперативные;
- краткосрочные;
- среднесрочные;
- долгосрочные.

Для нашего исследования период упреждения для краткосрочного прогнозирования составляет 1-2 недели, для среднесрочного – 1-3 месяца, а для долгосрочного – 1-2 года.

При построении прогнозирующих систем важным вопросом является выбор методов, которые давали бы адекватные прогнозы для изучаемых процессов и систем. Методы прогнозирования можно разделить на следующие группы:

- интуитивные методы – используются, когда отсутствуют какие-либо статистические данные, на которых мог бы базироваться количественный прогноз, или если невозможно учесть влияние многих факторов из-за сложности объекта прогнозирования, в этом случае использую оценки эксперта или коллектива экспертов (метод «интервью», анкетирование, метод комиссий);
- методы экстраполяции – заключаются в изучении устойчивых тенденций развития объекта прогнозирования и переносе их на будущее (метод наименьших квадратов, экспоненциальное сглаживание, вероятностное моделирование);
- регрессионные методы – основаны на анализе и использовании устойчивых статистических связей между некоторыми переменными и прогнозируемой функцией. Получение регрессионной модели происходит в два этапа: подбор вида функции и вычисление ее параметров;
- нейронные сети – альтернатива традиционным методам решения задач прогнозирования временных рядов. В нейронных сетях информация преобразуется по образу процессов, происходящих в мозгу человека.

Анализ методов показал, что методы экстраполяции являются наиболее простыми, однако дают плохие результаты, так как не учитывают механизмы, которые влияют на прогнозируемые данные. Регрессионные методы дают менее точные результаты, чем применение нейронных сетей. Недостатком нейронных сетей является то, что сеть после обучения представляет собой «черный ящик», логика принятия решений нейронной сетью скрыта от эксперта. Следовательно, для проведения экспериментальных исследований были выбраны нейронные сети.

Экспериментальные исследования. Для прогнозирования количества вызовов скорой медицинской помощи на год были взяты данные годовых отчетов ССМП г. Донецка о количестве проживающего населения и числе выполненных выездов бригадами скорой помощи за 9 лет: с 2001 по 2009 года.

Моделирование прогнозов с помощью нейронных сетей реализовано в среде STATISTICA Neural Networks. Результаты работы для различных типов сетей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты работы нейронных сетей

№	Тип сети	Вход	Скрытый слой	Скрытый слой (2)	Значение ошибки
1	Linear	1	-	-	3723.104
2	GRNN	1	7	2	3642.176
3	RBF	1	3	-	1053.351
4	MLP	1	4	-	604.2717
5	MLP	1	3	2	236.5204
6	RBF	1	5	-	164.2424
7	MLP	1	4	4	96.56229
8	MLP	1	20	16	65.15975
9	RBF	1	6	-	3.452e-11
10	RBF	1	7	-	2.613e-12

В таблице приняты следующие обозначения:

Linear – линейная нейронная сеть;

GRNN – обобщенно-регрессионная нейронная сеть;

RBF – нейронная сеть с радиально-базисной функцией;

MLP – многослойный перцептрон.

Наилучший результат получен с помощью сети номер 10. Сеть состоит из трех слоев, входной и выходной слои содержат по одному нейрону, скрытый слой содержит 7 нейронов. Схема сети представлена на рисунке 1б. На вход нейронной сети подается число жителей города, а на выходе нейронная сеть формирует соответствующее значение числа вызовов скорой медицинской помощи. Исходный набор данных был разбит на обучающую выборку (78%) и тестовую (22%). Результаты работы сети представлены на рисунке 1а. На графике Y – фактические значения, Y_1 – выходы нейронной сети.

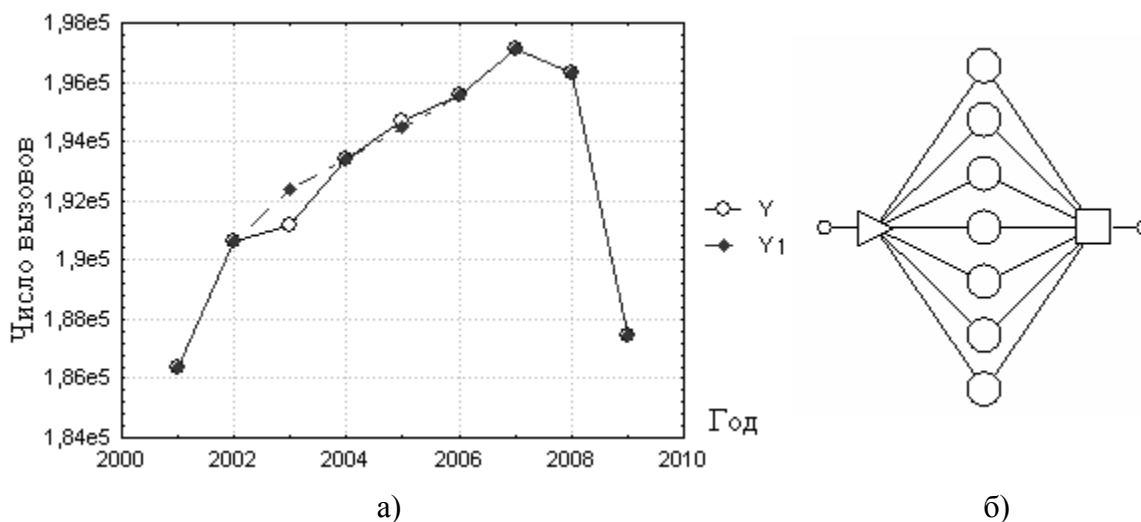


Рисунок 1. – Результаты работы и схема нейронной сети

Для прогнозирования количества вызовов скорой медицинской помощи на месяц для первой подстанции были взяты данные ССМП г. Донецка о числе вызовов скорой медицинской помощи за каждый месяц по первой подстанции за период с 2006 по 2009 года.

Результаты прогнозирования для различных типов сетей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты работы нейронных сетей

№	Тип сети	Вход	Скрытый слой	Скрытый слой (2)	Значение ошибки
1	RBF	1	2	-	147.8949
2	RBF	1	3	-	145.1708
3	RBF	1	4	-	127.4304
4	Linear	1	-	-	86.81967
5	GRNN	1	40	2	37.26087
6	GRNN	1	40	2	36.88855
7	GRNN	1	40	2	36.27042
8	MLP	1	1	-	33.79268
9	MLP	1	3	-	2.841977
10	MLP	1	13	-	2.58054

Наилучший результат получен с помощью сети номер 10. Сеть представляет собой многослойный персептрон, у которого скрытый слой содержит 13 нейронов. Схема сети представлена на рисунке 2б. На входы подается четыре предыдущих значения числа вызовов скорой помощи, а на выходе сеть формирует будущее число вызовов. Обучающая выборка составляет 92%, тестовая – 8%. Результаты работы сети представлены на рисунке 2а.

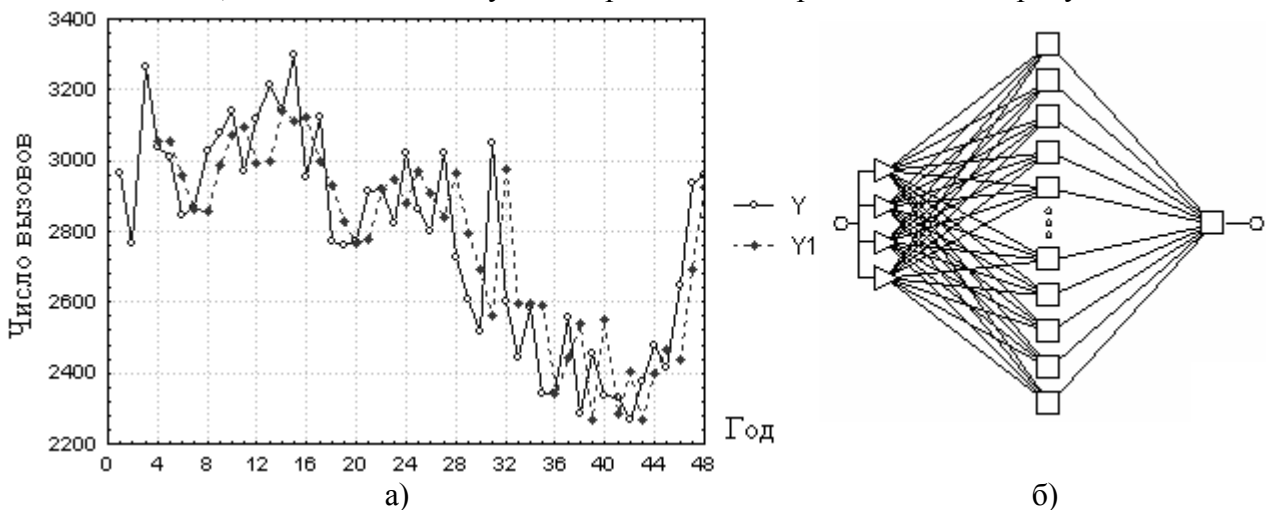


Рисунок 2. Результаты работы и схема нейронной сети

Выводы. В статье разработана математическая постановка задачи прогнозирования числа вызовов скорой медицинской помощи в течение различных календарных периодов. Проведены экспериментальные исследования с помощью нейронных сетей в среде STATISTICA Neural Networks. По результатам исследования выбраны оптимальные структуры нейронных сетей для каждого из прогнозов. Ошибка для годового прогноза составила $2.613e-12$, для прогнозирования количества вызовов на месяц – 2.58054.

Список литературы

1. Моисеев В. С., Бутузова А. В. Основные задачи разработки автоматизированной системы управления скорой медицинской помощью.
2. Тихонов Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие. - Невинномыск, 2006. – 221 с.