

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМОВ ПРОДАЖ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Российский рынок ювелирных изделий несколько последних лет демонстрирует высокие темпы развития (особенно хорошие результаты показывает рынок ювелирных изделий из серебра). Ювелирная отрасль, как и другие отрасли экономики, находится под влиянием многих микро- и макроэкономических показателей. В первую очередь наблюдается высокая зависимость от поставщиков сырья, а значит, отрасль непосредственно связана с рынком драгоценных металлов и драгоценных камней. Помимо этого рынок ювелирных изделий остается одним из самых эластичных: изменение доходов у покупателей незамедлительно приводит к изменению уровня продаж.

В связи с неопределенностью внешней среды перед российскими ювелирами остро встает вопрос предвидения вероятного будущего состояния предприятия и среды, в которой оно существует, своевременного предупреждения возможных сбоев и срывов в работе. Это достигается с помощью прогнозирования ключевых показателей работы предприятия по всем направлениям его деятельности.

Большинство существующих моделей прогнозирования основываются на методах регрессионного анализа. Подобные модели, не смотря на относительно высокую адекватность, используются, как правило, для составления краткосрочных прогнозов. Регрессионные модели показывают низкую эффективность в периоды экономических и социальных изменений [1].

В связи с этим видится актуальным использование более точного и прогрессивного математического аппарата для прогнозирования, способного менять свое поведение (обучаться) в зависимости от изменения внешней среды, извлекая скрытые закономерности из потока данных с высокой точностью, – нейронных сетей.

Серьезным недостатком нейросетей является скрытый характер определения зависимости между входными и выходными величинами (т.н. эффект «черного ящика»), что приводит к значительным затратам по времени и ресурсов для построения адекватной модели. Наряду с этим решение задач в конкретной предметной области требует построения уникальной модели.

В связи с этим видится необходимость разработки методики использования аппарата теории нейронных сетей в задачах прогнозирования объемов сбыта ювелирных изделий из драгоценных металлов. Формализовано данную методику можно представить в виде блок-схемы, состоящей из шести этапов (рис. 1).

Первый этап работы заключается в выявлении факторов, оказывающих наибольшее влияние на объемы сбыта ювелирных изделий из серебра. Инструментами отбора показателей, включаемых в нейросетевую модель прогнозирования, являются канонический корреляционный и факторный анализ. С помощью канонического корреляционного анализа определяется степень тесноты связи между зависимой переменной (откликом) и множеством предикторных переменных. Факторный анализ используется для редукции множества предикторных переменных.

Второй этап включает в себя определение размера и структуры выборки. Исходного массива данных может быть недостаточно для качественного обучения нейронной сети, поскольку процесс обучения требует достаточно большого объема входных данных. Данную проблему можно устранить, используя метод долевого перегруппировки, заключающегося в нахождении тренда между двумя соседними точками множества. Также для уменьшения погрешности обучения и прогнозирования на втором этапе разработчику необходимо разделить данные на три группы: обучающее множество, тестовое множество и прогнозируемое множество.

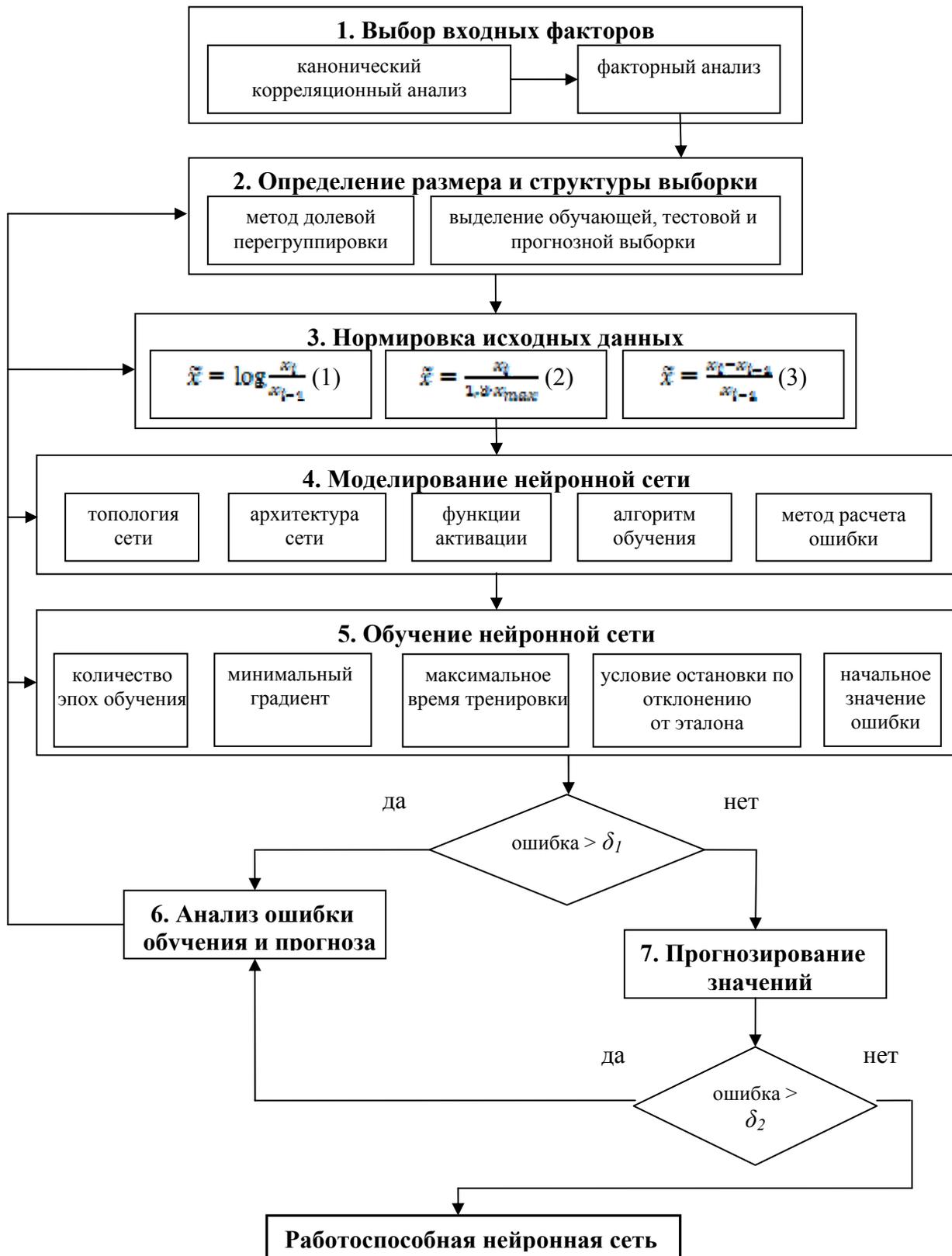


Рисунок 1. Методика проектирования архитектуры нейронной сети для решения задач прогнозирования спроса на ювелирные изделия

Нормировка исходных данных. Следует отметить, что абсолютные значения выбранных факторов нельзя использовать как вход для нейронной сети. Выходные сигналы будут лежать в рамках значений активационной функции, выбранной для нейронной сети. Следовательно, образ на входе должен лежать в том же интервале, что и выход [5]. Для прогнозирования объемов продаж ювелирных изделий рекомендуется преобразовать входные данные таким образом, чтобы значения каждого ряда лежали в пределах отрезка [0;1].

Этап моделирования нейронной сети является наиболее трудоемким процессом и заключается в определении топологии и архитектуры сети, выборе функций активации, алгоритмов обучения и метода расчета ошибки [3]. В результате проведения нескольких сотен экспериментов были определены основные параметры нейронной сети (таблица 1).

Таблица 1

Параметры нейронной сети

Параметр нейронной сети	Значение параметра
Тип сети	Сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (Feed-Forward Back Propagation)
Алгоритм обучения	метод Левенберга-Маркара (trainlm)
Метод расчета ошибки	Методом наименьших квадратов (mse)
Количество слоев	3
Число нейронов первого слоя (s_1)	количество нейронов в первом слое должно соответствовать количеству входных переменных
Функция активации первого слоя (f_1)	логистическая (logsig)
Число нейронов второго слоя (s_2)	количество нейронов во втором слое определяется эмпирическим путем
Функция активации второго слоя (f_2)	тангенциальная (tansig)
Число нейронов третьего слоя (s_3)	количество нейронов в третьем слое соответствует количеству выходных переменных
Функция активации третьего слоя (f_3)	логистическая (logsig)

Было выявлено, что для задач прогнозирования объемов продаж ювелирных изделий наиболее предпочтительна сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (Feed-Forward Back Propagation). В качестве алгоритма обучения использовался метод Левенберга-Маркара. Этот алгоритм обеспечивает быстрое обучение, но требует много ресурсов. Расчет ошибки обучения определяется методом наименьших квадратов.

Общая архитектура нейронной сети для прогнозирования объемов продаж представлена на рисунке 2, где \mathbf{p} - вектор входных переменных; \mathbf{y} - вектор выходных переменных; \mathbf{IW} (Input Weight) - матрица весов входа слоя; \mathbf{LW} (Layer Weight) - матрица весов выхода слоя; \mathbf{b} - вектор смещения; \mathbf{n} - вектор входа функции активации; \mathbf{a} - вектор выхода слоя; верхние индексы элементов указывают источник и адресата, нижние индексы элементов показывают номер нейрона в сети.

В рамках пятого этапа происходит обучение нейронной сети. Обучение сети осуществляется путем определения рациональных параметров. В результате расчетов были установлены оптимальные параметры обучения нейронных сетей для задач прогнозирования объемов продаж ювелирных изделий (таблица 2).

Таблица 2

Параметры обучения нейронной сети

Параметр обучения нейронной сети	Значение параметра
Количество эпох обучения	300
Минимальный градиент	0,001
Условие остановки по отклонению от эталона	0
Начальное значение ошибки (m_i)	0,001

Процесс обучения иллюстрируется графиком зависимости функции ошибок от номера эпохи обучения. В случае если ошибка обучения принимает допустимое значение, нейронная сеть исследуется на адекватность на прогнозной выборке. По величине ошибки прогнозирования данных разработчик принимает решение использовать полученную нейронную сеть в практических целях или провести ее доработку.

В случае если ошибки обучения или прогнозирования принимает значение больше допустимого, на шестом этапе осуществляется их анализ. В первую очередь внимание должно быть обращено на величину отклонения от допустимого значения и на график зависимости функции ошибки от номера эпохи обучения. Исходная нейронная сеть может быть доработана в соответствии с этапами 2-5.

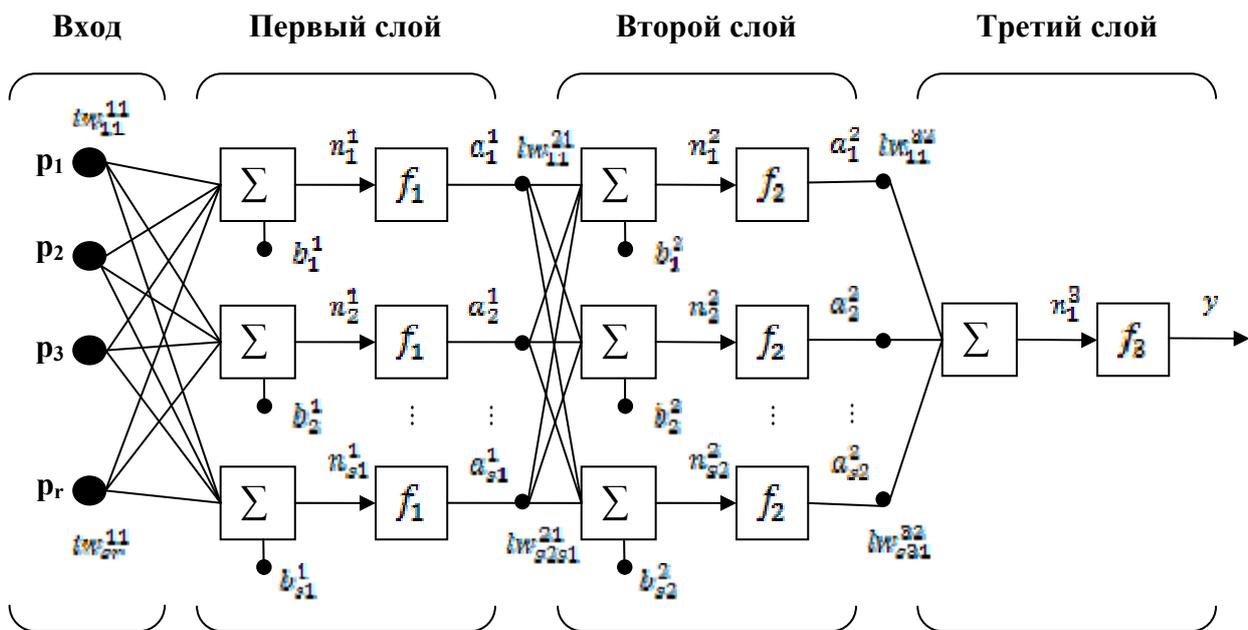


Рисунок 2. Общая архитектура нейронной сети для прогнозирования продаж

Апробация данной методики проводилась по данным Российской государственной Пробирной палаты и одного из крупнейших на российском рынке предприятий ювелирной отрасли ЗАО Приволжский ювелирный завод «Красная Пресня».

Консолидированные данные Пробирной палаты дают представление об общей ситуации в ювелирной отрасли. Учет заклеянных и опробованных ювелирных изделий ведется в количественном и массовом измерении. В связи с этим анализ влияния параметров внешнего окружения на объемы заклеянных и опробованных ювелирных изделий проведен в двух измерениях.

ЗАО ПЮЗ "Красная Пресня" занимает первое место по выпуску ювелирных изделий из серебра (доля предприятия на отечественном рынке ювелирных изделий из серебра более 6%). Т.к. изделия из серебра занимают наибольшую долю в выручке предприятия, поэтому именно спрос на ювелирные изделия из этого драгоценного металла является объектом исследования. Для ювелирного предприятия важно определять величину объемов продаж не только в натуральном измерении (в штуках и килограммах) для планирования объемов закупок сырья и материалов, но и в стоимостном для прогнозирования поступлений денежных средств.

Разработка адекватных нейросетевых моделей проводилась в соответствии с вышеописанной методикой в 7 этапов.

1. На основе мнений специалистов, обзоров рынков и на основе ранее проведенных исследований были выявлены факторы, вероятно оказывающие влияние на объемы продаж ювелирных изделий из серебра. В качестве таковых были выделены следующие группы параметров [2]:

- ✓ социально-экономические показатели (уровень дохода на душу населения, среднемесячная заработная плата, уровень безработицы),
- ✓ биржевые индексы (индекс Доу Джонс, индекс РТС, индекс ММВБ, индекс NIKKEI),
- ✓ курсы валют (курс доллара США, курс евро),
- ✓ цены на основные ресурсы (цена за унцию серебра, цена за унцию золота, цена за баррель нефти),
- ✓ экономические индексы (индекс промышленного производства, индекс потребительских цен, индекс розничного товарооборота, индекс инвестиций в основной капитал),
- ✓ процентные ставки (ставка рефинансирования, ставки по кредитам и депозитам, межбанковская ставка).

С помощью канонического корреляционного анализа по каждой из зависимых переменных были сформированы корреляционные матрицы. Графическая интерпретация корреляционной матрицы для данных по Пробирной палате и ювелирного завода представлена на рисунке 3 и 4 соответственно.

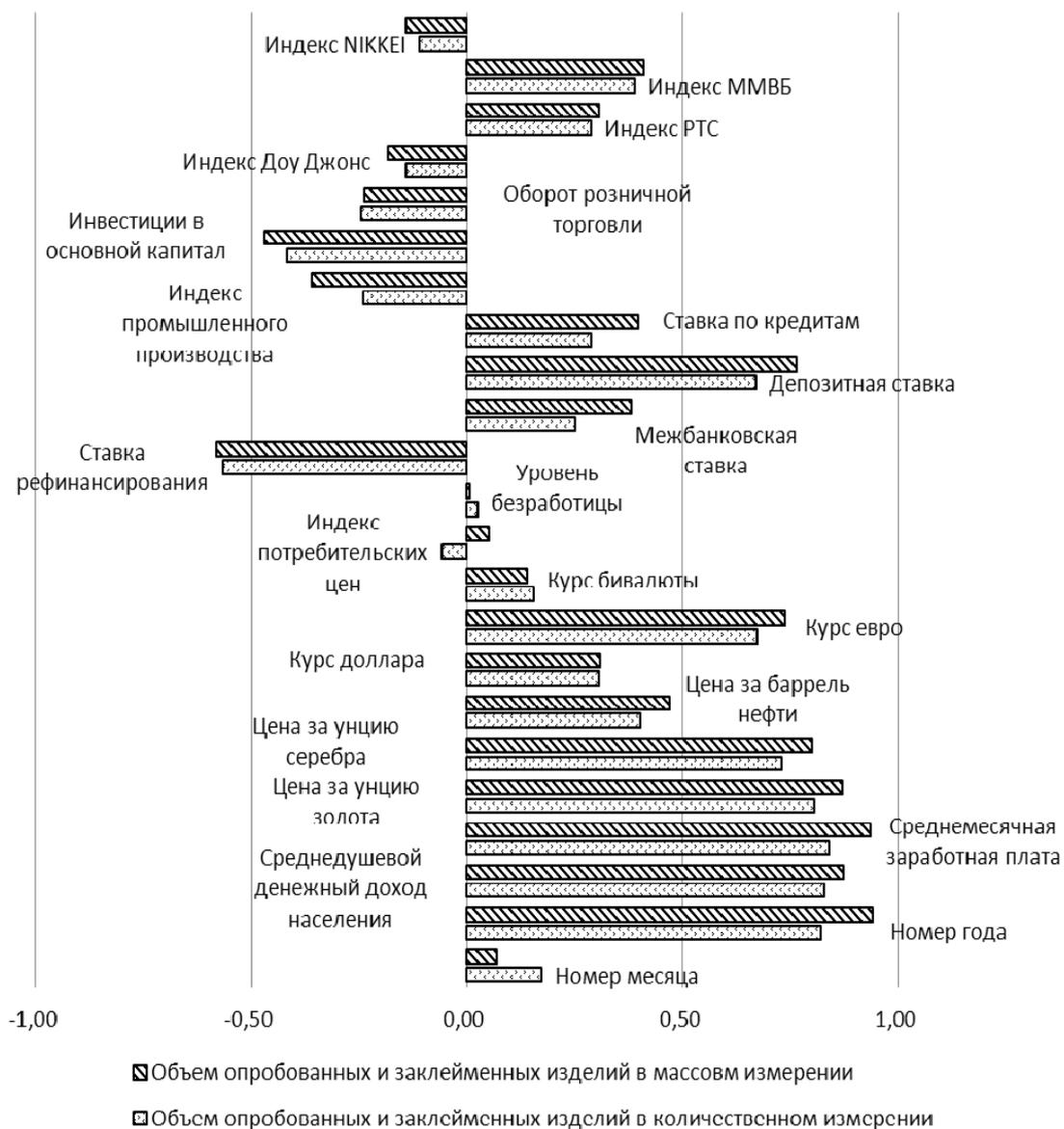


Рисунок 3. Степень корреляции факторов внешней среды и объемов опробованных и заклеянных ювелирных изделий из серебра в России

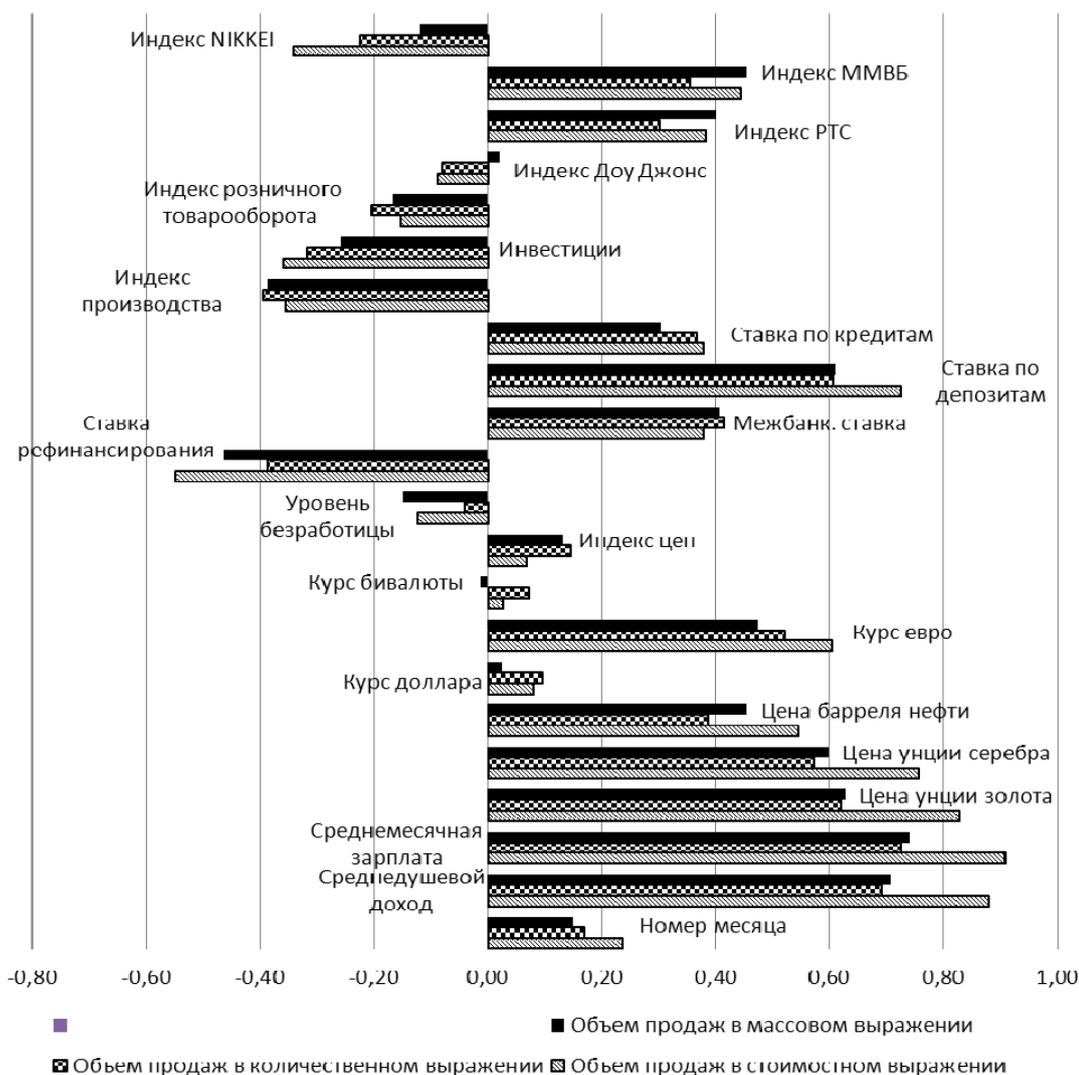


Рисунок 4. Степень корреляции факторов внешней среды и объемов продаж ювелирного завода в трех измерениях

В ходе факторного анализа выявили, что для разработки оптимальных математических моделей по описанию спроса на ювелирные изделия из серебра необходимо пять параметров.

Результаты канонического корреляционного и факторного анализа показали, что не все параметры, предложенные первоначально, могут достоверно описать функцию спроса на ювелирные изделия из серебра на макро- и микроуровне. В качестве критерия отбора параметров использовали коэффициент корреляции равный 0,6 (данное значение коэффициента показывает высокую значимость) [4]. Таким образом, наибольшее влияние на объемы продаж ювелирных изделий из серебра в стоимостном, количественном и массовом выражении оказывают такие факторы, как среднемесячная заработная плата (X_1), цена за унцию золота (X_2) и серебра (X_3), курс евро (X_4) и ставка по депозитам (X_5).

2. Для более качественного обучения исходная выборка данных, включающая в себя значения за 84 периода, была увеличена методом доленой перегруппировки до 794 значений. Из данного множества выделили: обучающую выборку (710 искусственно полученных значений), тестовую выборку (72 исходных значения) и прогнозную выборку (12 исходных значений).

3. Нормировку исходных данных проводили по формуле 2. При таком способе нормировки значения показателей находятся в пределах отрезка $[0;1]$, что соответствует области определения логистической функции активации.

4-5. Для прогнозирования объемов продаж на уровне отрасли и для отдельного ювелирного предприятия в различных измерениях были получены нейронные сети (таблица 3).

Таблица 3

Параметры нейронных сетей для прогнозирования объемов опробованных и заклеянных ювелирных изделий из серебра в России и объемов продаж ювелирного завода

Параметр нейронной сети	Значение параметров нейронной сети для прогнозирования				
	опробованных и заклеянных ювелирных изделий из серебра		продаж ювелирного завода		
	в количественном выражении (НС1-1)	в массовом выражении (НС1-2)	в стоимостном выражении (НС2-1)	в массовом выражении (НС2-2)	в количественном выражении (НС2-3)
Тип сети	Сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (Feed-Forward Back Propagation)				
Алгоритм обучения	метод Левенберга-Маркара (trainlm)				
Метод расчета ошибки	Методом наименьших квадратов (mse)				
Количество слоев	3				
Число нейронов первого слоя	5	5	5	5	5
Функция активации первого слоя	логистическая (logsig)				
Число нейронов второго слоя	16	18	15	18	14
Функция активации второго слоя	тангенциальная (tansig)				
Число нейронов третьего слоя	1	1	1	1	1
Функция активации третьего слоя	логистическая (logsig)				

Динамика обучения нейронной сети, по уровню ошибки, представлена на рисунке 5.

Из графика видно, что сеть постепенно обучалась в течение 300 эпох, ошибка обучения постоянно сокращалась и стабилизировалась на значение $10^{-3,3}$. Сводные значения по обучению трех нейросетей представлены в таблице 4.

6-7. На заключительном этапе проектирования нейронных сетей проверяется качество их прогнозных возможностей. Было получено 12 прогнозных значений с помощью нейронных сетей и регрессионных моделей (таблица 5).

Таблица 4

Оценка качества обучения нейросетевых моделей прогнозирования

Показатель качества модели	Значение показателя для					Норма
	НС1-1	НС1-2	НС2-1	НС2-2	НС2-3	
1. Коэффициент детерминации	0,997	0,998	0,997	0,999	0,998	1,00
2. Коэффициент множественной детерминации	0,997	0,998	0,997	0,999	0,998	1,00
3. F-критерий Фишера	$5,44 \cdot 10^4$	$8,14 \cdot 10^5$	$4,64 \cdot 10^4$	$3,08 \cdot 10^6$	$7,14 \cdot 10^4$	8,34

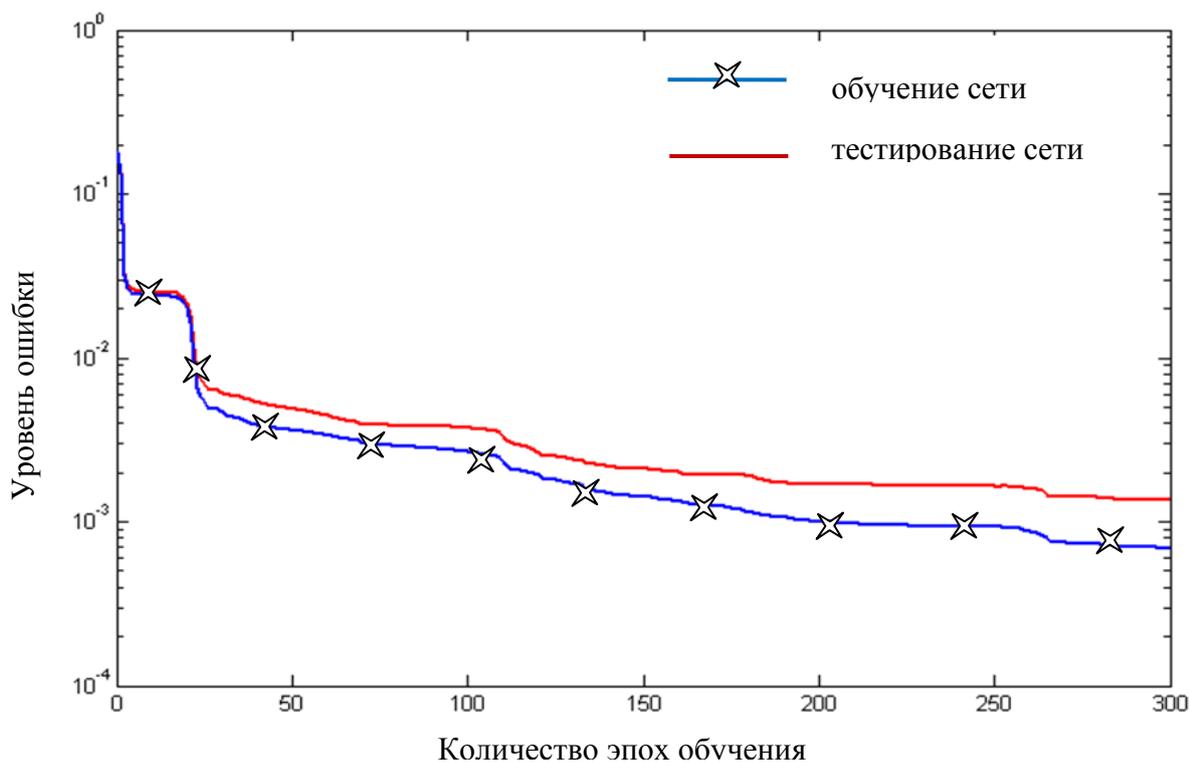


Рисунок 5. Динамика ошибки обучения нейронной сети для прогнозирования объемов продаж ювелирного завода в стоимостном выражении

Таблица 5

Регрессионные модели для прогнозирования объемов заклеянных и опробованных ювелирных изделий и объемов продаж ювелирного завода

Прогнозируемый показатель	Формула
1. Объем заклеянных и опробованных ювелирных изделий в количественном измерении (PM1-1)	$Q_{1-1} = -0.607 + 0.001X_1 + 0.001X_2 - 0.002X_3 + 0.044X_4 - 0.001X_5$
2. Объем заклеянных и опробованных ювелирных изделий в массовом измерении (PM1-2)	$Q_{1-2} = -4.691 + 0.001X_1 + 0.011X_2 - 0.169X_3 + 0.167X_4 - 0.440X_5$
3. Объем продаж ювелирного завода в стоимостном выражении (PM2-1)	$Q_{2-1} = 0.357 + 0.733X_1 + 1.267X_2 - 0.758X_3 - 0.745X_4 - 0.025X_5$
4. Объем продаж ювелирного завода в количественном выражении (PM2-2)	$Q_{2-2} = 0.326 + 0.538X_1 + 0.778X_2 - 0.546X_3 + 0.143X_4 - 0.319X_5$
5. Объем продаж ювелирного завода в массовом выражении (PM2-3)	$Q_{2-3} = 0.511 + 0.664X_1 + 0.341X_2 - 0.245X_3 - 0.291X_4 - 0.060X_5$

Анализ результатов показал, что нейросетевые модели более точно прогнозируют ключевые показатели отрасли и ювелирного завода, чем регрессионные (таблица 6).

Полученные нейронные сети отличаются высокой точностью прогнозирования, т.к. средняя относительная ошибка прогноза по модулю не более 11%.

Для примера приведем графики фактических значений показателей и прогнозные значения, полученные регрессионной и нейросетевой моделями (рис. 6 и 7).

Таблица 6

Показатели качества прогнозирования объемов опробованных и заклеянных ювелирных изделий из серебра в России и объемов продаж ювелирного завода нейронными сетями и регрессионными моделями

Показатель качества прогноза	Значение показателя									
	Нейронная сеть					Регрессионная модель				
	НС1-1	НС1-2	НС2-1	НС2-2	НС2-3	PM1-1	PM1-2	PM2-1	PM2-2	PM2-3
1. Средняя относительная ошибка по модулю, %	11,3	9,9	12,3	10,2	12,1	27,9	29,5	29,9	31,4	34,3
2. Относительное число случаев нахождения прогноза в доверительном интервале, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	75,0	66,7	66,7	66,7	58,3

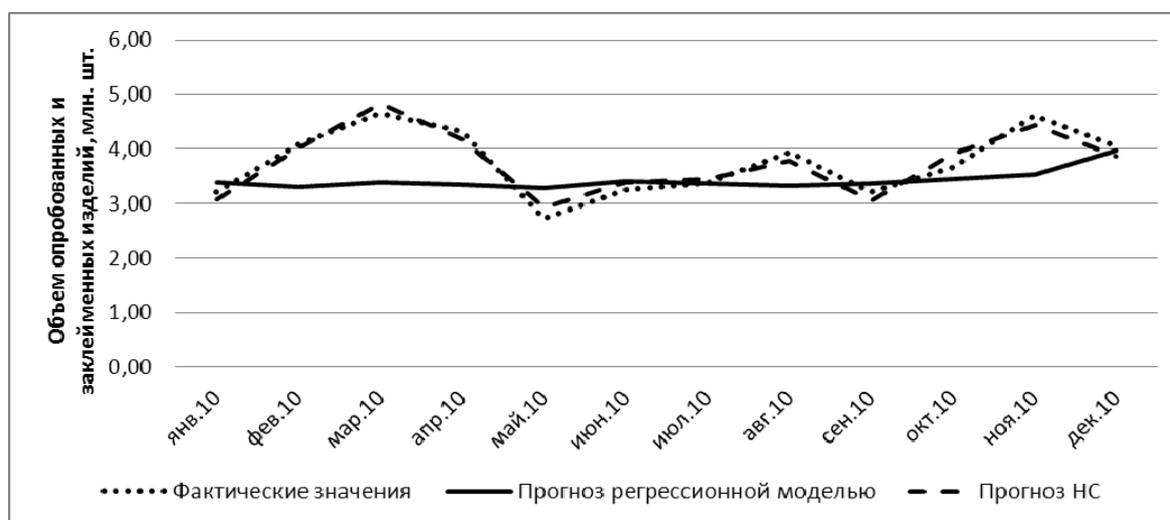


Рисунок 6. Прогнозные и фактические значения объемов опробованных и заклеянных ювелирных изделий в количественном выражении

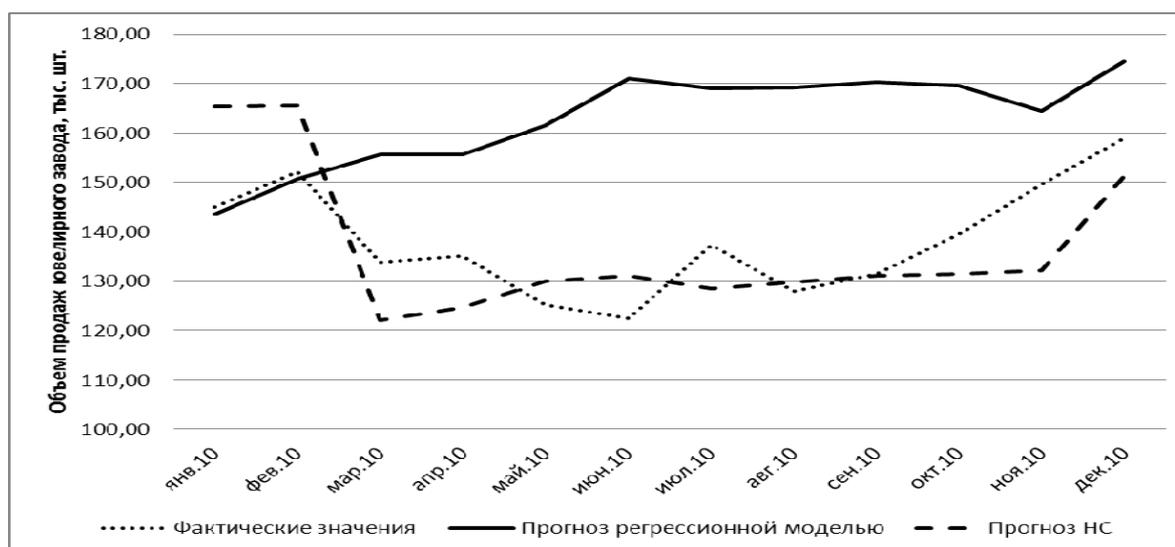


Рисунок 7. Прогнозные и фактические значения объемов продаж ювелирного завода в количественном выражении

Как видно из рисунка, значения показателей, спрогнозированные нейронной сетью, наиболее приближаются к фактическим значениям.

Результаты апробации на микро- и макроуровне экономики показали, что предложенная методика по проектированию топологии нейронной сети для решения задач прогнозирования спроса на ювелирные изделия может быть использована в практических целях. Применение предложенной методики позволит более универсально подходить к решению задач прогнозирования спроса на ювелирные изделия, сделает более прозрачным механизм определения структуры нейронной сети.

Данная методика позволит значительно минимизировать трудозатраты персонала, занимающегося подобной проблематикой, и увеличить качество прогноза. Модели, разработанные на основе аппарата теории нейронных сетей, позволят ювелирному заводу более качественно планировать не только сбытовую деятельность, но и деятельность всего предприятия в целом, а это в свою очередь приведет к снижению страховых запасов, к увеличению рентабельности деятельности, ускорению оборачиваемости ресурсов и повышению ликвидности и платежеспособности предприятия.