

МНОГОПОДХОДНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ПРОДУКЦИЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

MULTI-APPROACH MODEL OF FORECASTING DEMAND FOR PRODUCTS OF THE METALLURGICAL INDUSTRY

**D. Riabkova
A. Smyslova
V. Shabalov**

Summary. This paper considered the process of forecasting demand for metallurgical product. The problems of classical forecasting methods are identified and a multi-approach model is proposed, it includes: a fuzzy regression model, a system dynamics model, and an agent model. The multi-approach model allows to forecast demand for 1–12 months with an accuracy of 91%.

Keywords: forecasting, regression analysis, metallurgy, fuzzy model, factor variables, demand.

Рябкова Дарья Андреевна

Аспирант, Череповецкий государственный университет, Череповец
da.gorchakova@yandex.ru

Смыслова Алёна Леонидовна

К.т.н., доцент, Череповецкий государственный университет, Череповец
grafista@mail.ru

Шабалов Виктор Александрович

К.т.н., доцент, Череповецкий государственный университет, Череповец
shabvic@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривает процесс прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли. Обозначены проблемы классических методов прогнозирования и предложена многоподходная модель, которая включает в себя: нечёткую регрессионную модель, модель системной динамики и агентную модель. По результатам разработанной модели выявлено, что её точность составляет 80–85% в зависимости от месяца спроса.

Ключевые слова: прогнозирование, регрессионный анализ, металлургия, нечёткая модель, факторные переменные, спрос.

Введение

Успех предприятия в условиях современного рынка зависит от знания рынка товара, способности анализировать и прогнозировать результаты модификации каких-либо его параметров и показателей. Особенностью металлургической отрасли является специфика продукции, используемого сырья и технологий. Необходимость в прогнозировании спроса и планировании производства металлургической отрасли напрямую связаны с объёмом продаж. Предприятию требуется проводить анализ их производственных возможностей с целью выявления необходимого объёма производства, сравнивая с показателями спроса потенциальных покупателей (для этого производят прогнозирование спроса на продукцию на будущие периоды).

Особое значение в металлургической отрасли имеет долгосрочное планирование динамики спроса. Наличие долгосрочного производственного плана в чёрной металлургии базируется на понимании тенденций рынка. Необходимость и важность системы планирования спроса рассматривается в статьях ряда авторов [1, 2, 9, 11].

Исследованию этой проблемы посвящены труды многих авторов. Исследование прогнозирования спроса в чёрной металлургии с помощью факторного анализа проведено в исследовании по анализу и прогнозированию конъюнктуры рынка металлопродукции [13]. В работе рассмотрен анализ спроса на отраслевом рынке, процесс прогнозирования, оценка ёмкости рынка ПАО «Северсталь», ОАО НЛМК и ОАО ММК.

Примером комплексного применения анализа временных рядов и факторного анализа служит исследование по построению модели ARIMA [11]. В работе предложено использовать в качестве основного фактора спроса на сталь коэффициент загрузки производственных мощностей. В процессе разработки были учтены автокорреляционные зависимости в динамике цены с помощью модели ARIMA.

При очевидной ценности имеющихся разработок, существующие методы оценки спроса исследуют не все аспекты взаимосвязи факторов, определяющих его величину. В настоящее время нерешённым является вопрос о прогнозировании спроса, позволяющем учитывать

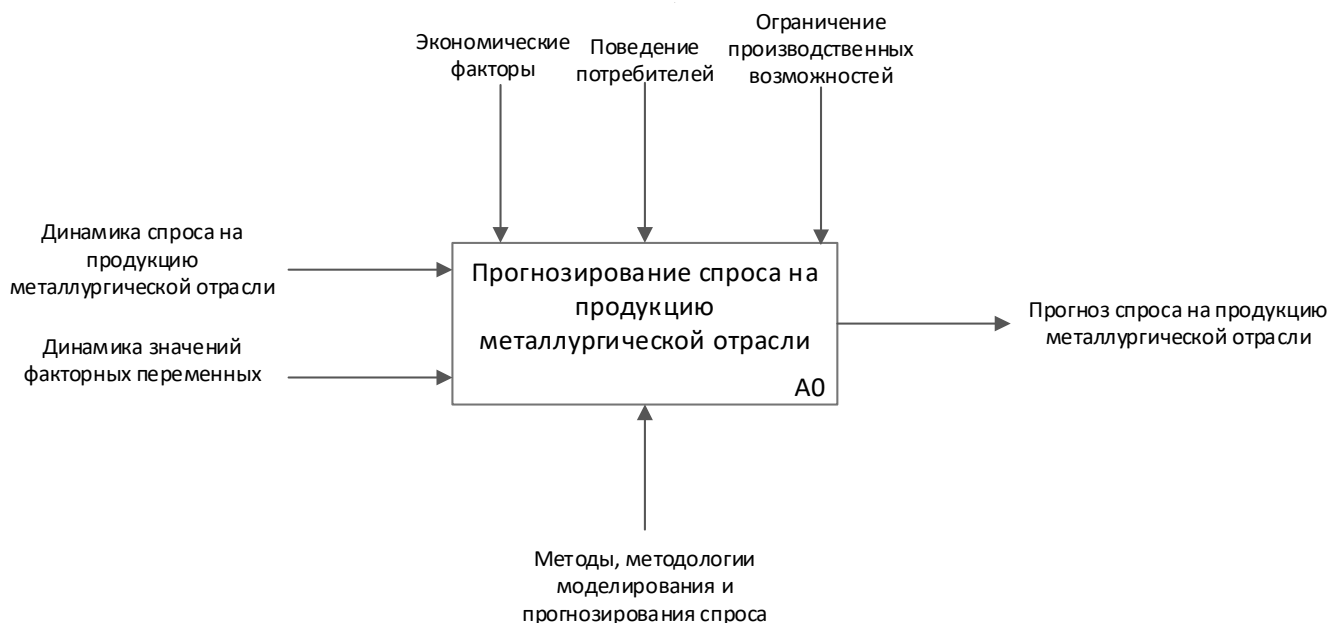


Рис. 1. Контекстная диаграмма модели процесса прогнозирования

в себе не только экономические переменные, но и производственные параметры и портрет потребителя.

Ранее авторами была исследована классическая регрессионная модель [8] и нечёткая регрессионная модель прогнозирования [9], однако можно предположить, что многоподходная модель даст более высокие результаты прогноза.

Таким образом, актуальна задача разработки новой модели прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли с целью повышения точности прогнозирования и сокращения потерь предприятия при хранении нецелевых запасов, вызванных некорректной оценкой плана спроса на будущие периоды.

1. Описание процесса прогнозирования спроса с помощью многоподходной модели

В исследовании используется ряд определений:

1. Процесс прогнозирования — это процесс построение предсказания значений прогнозируемого показателя будущего на основе исторических данных, текущих данных (текущей ситуации) и на основе анализа трендов [7].
2. Модель прогнозирования — функциональное представление, адекватно описывающее исследуемый процесс и являющееся основой для получения его будущих значений [8]. В рамках данного исследования моделью прогнозирования выступает многоподходная модель.

3. Метод прогнозирования — последовательность действий, которые нужно совершить для получения модели прогнозирования [10].

В качестве инструмента прогнозирования выступает программный продукт Anylogic. Anylogic — это инструмент для имитационного моделирования различных процессов: производство, горное дело, логистика, маркетинг, дорожное движение и др. Данный инструмент моделирования широко применяется при исследовании сложных систем, в том числе и в металлургической отрасли. Например, в работе «Современные логистические системы транспортировки жидкого чугуна» авторы рассматривают Anylogic в качестве инструмента для построения процесса для транспортировки чугуна [5].

Для подтверждения гипотезы о более точном прогнозировании спроса на продукцию металлургической отрасли с учетом влияния экономических показателей, поведения потребителей и производственных возможностей предприятия, требуется разработать новую модель, которую назовем многоподходной.

Оптимальным является использование многоподходного процесса прогнозирования с применением следующих методов:

1. Агентное моделирование для визуализации множества индивидуальных объектов (покупателей) и присвоения им характеристик.
2. Нечёткая регрессионная модель для прогнозирования спроса на будущие периоды с применением факторных переменных.

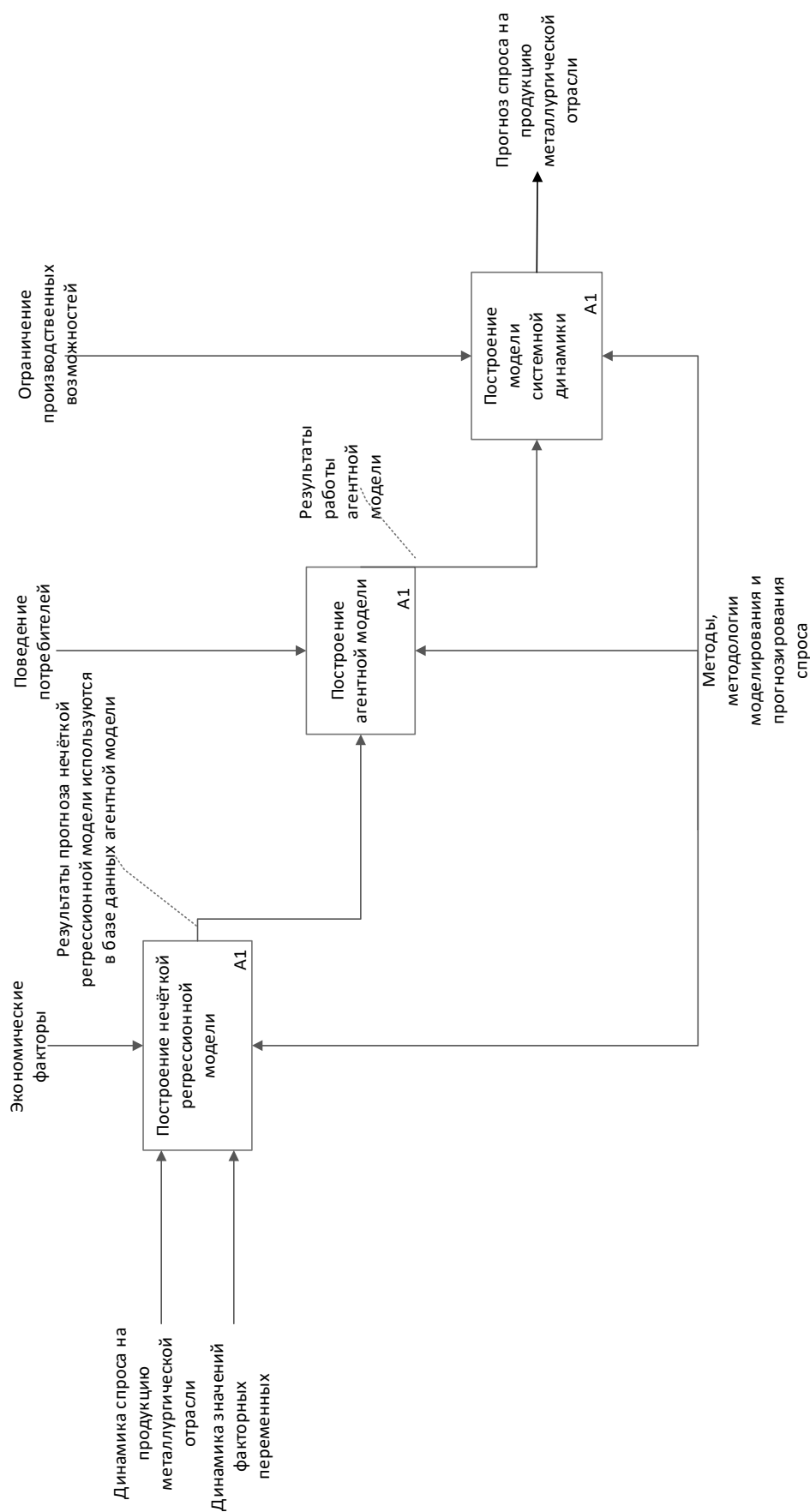


Рис. 2. Декомпозиция процесса «Прогнозирование спроса на продукцию металлургической отрасли»

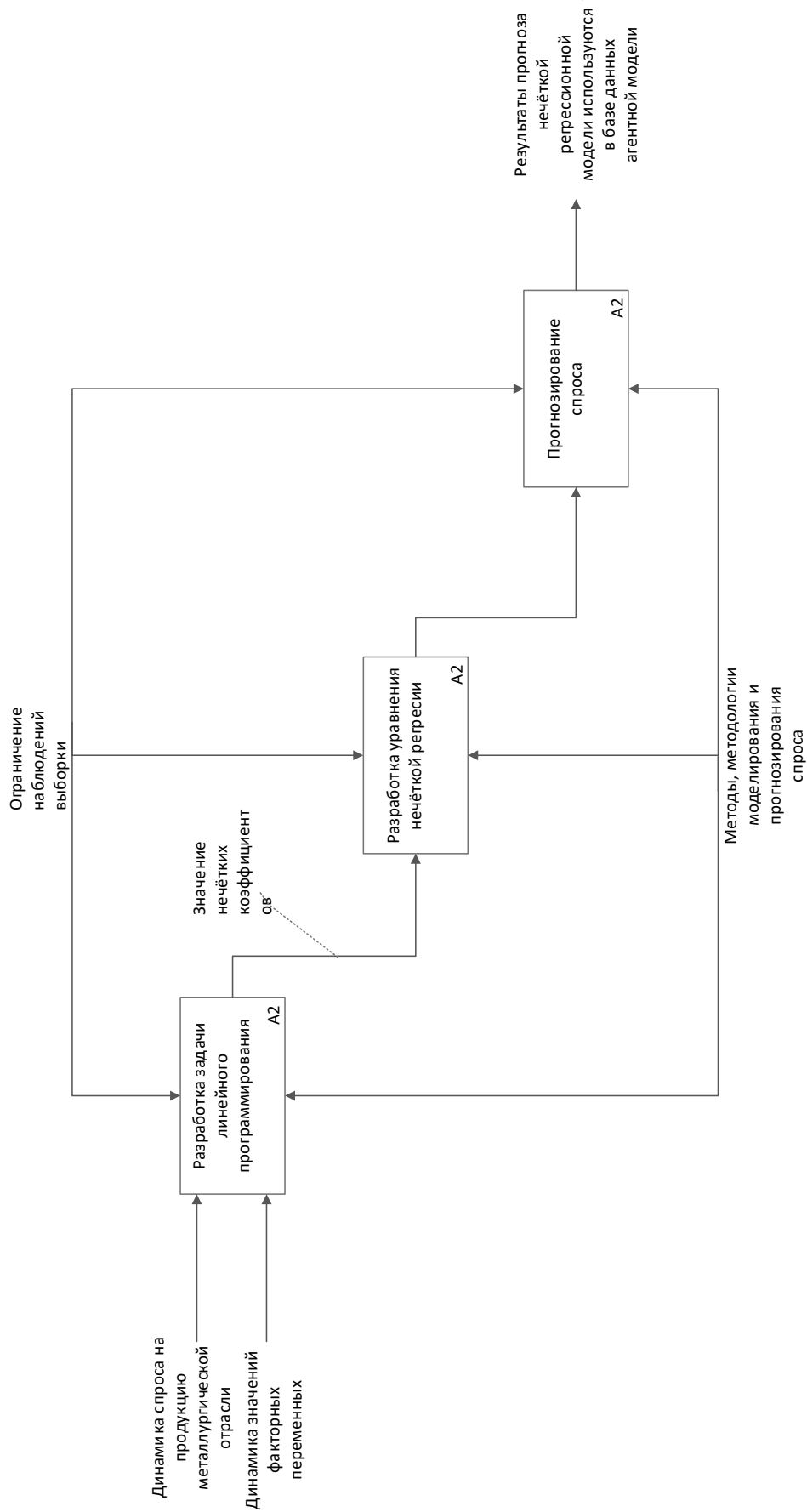


Рис. 3. Декомпозиция процесса «Построение нечёткой регрессионной модели»

3. Дискретно-событийное моделирование для визуализации производства заказов клиента, производственного процесса и ограничений производственных возможностей предприятия.

Структура многоподходной модели прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли представлена на основе контекстной диаграммы.

Контекстная диаграмма модели, представленная в нотации IDEF0 (рис. 1).

Первый уровень декомпозиции многоподходной модели изображен на рис. 2. Данный уровень представляет собой структуру разрабатываемой многоподходной модели. Выделены основные этапы прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли:

1. Нечёткая регрессионная модель — это нечеткий тип регрессионной модели, который применяется для вычисления функциональных соотношений между зависимыми и независимыми переменными в случае нечетких событий [3].
2. Агентная модель — метод имитационного моделирования, отражающий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом [4].
3. Модель системной динамики — это модель, направленная на моделирование сложных систем, исследующая их поведение во времени и зависимости структуры элементов системы и взаимодействия между ними [3].

Структура многоподходной модели представлена на рис. 2. На первом этапе разработки многоподходной модели прогнозирования на продукцию металлургической отрасли происходит процесс построения нечёткой регрессионной модели. В качестве входных данных используются динамика спроса на продукцию за прошлые периоды (2016–2019 гг.) с месячных детализаций, а также значения факторных переменных.

Декомпозиция процесса «Построение нечёткой регрессионной модели» представлена на рис. 3.

При построении нечёткой регрессионной модели на первом этапе происходит постановка задачи линейного программирования. Она состоит из ограничений наблюдений выборки. В результате решения задачи мы получаем значения нечётких коэффициентов модели и факторные переменные, которые имеют наибольшее влияние на спрос. С помощью найденных значений составляется уравнение нечёткой регрессионной модели, которое позволяет произвести прогнозирование спроса на будущие периоды.

Процесс «Построение агентной модели» включает в себя агентов и связи между ними. Под агентом понимается элемент модели, который может иметь поведение, память (историю), контакты и т.д. и может моделировать людей, компании, проекты, автомобили, города, животных, корабли, товары и т.д. В рамках данного исследования в качестве агентов будут выступать:

1. Потребителей металлургической продукции.
2. Завод (в данном агенте с помощью системной динамики учитываются производственные возможности предприятия).
3. База данных с результатами прогнозирования нечёткой регрессионной модели.

Процесс «Системной динамики» включает в себя моделирование поведения потребителей (влияние на них ключевых показателей: реклама, качество продукции, сроки поставки). В данном процессе происходит финальное прогнозирование спроса под влиянием результатов работы агентной модели и нечёткой регрессионной модели.

В многоподходной модели прогнозирования спроса совместно используются метод системной динамики и агентный подход, а также результаты прогнозирования спроса с помощью нечёткой регрессионной модели. Клиенты приобретают продукт под влиянием рекламы и личного общения друг с другом.

2. Построение многоподходной модели прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли

Первым этапом является построение нечёткой регрессионной модели. Исходными данными модели являются результаты прогнозирования динамики спроса с помощью нечёткой регрессионной модели. Методика построения нечёткой регрессионной модели используется в ряде российских и зарубежных научных исследованиях [6, 9, 10, 14, 20]. Процесс построения нечёткой регрессионной модели был рассмотрен в статье «Нечеткая регрессионная модель планирования поставок продукции металлургического предприятия» [9].

В результате построения нечёткой регрессионной модели при заданных параметрах было выявлено, что при пороговом значении $h = 0,2$ (это количественные индикаторы, численно отражающие предельно допустимые с позиции экономических интересов соотношения [14]) модель имеет следующий вид:

$$Y = 8417,32 * X_1 + < 575,18; 1470,93; 2366,75 > * X_5 + 5,44 * X_6,$$

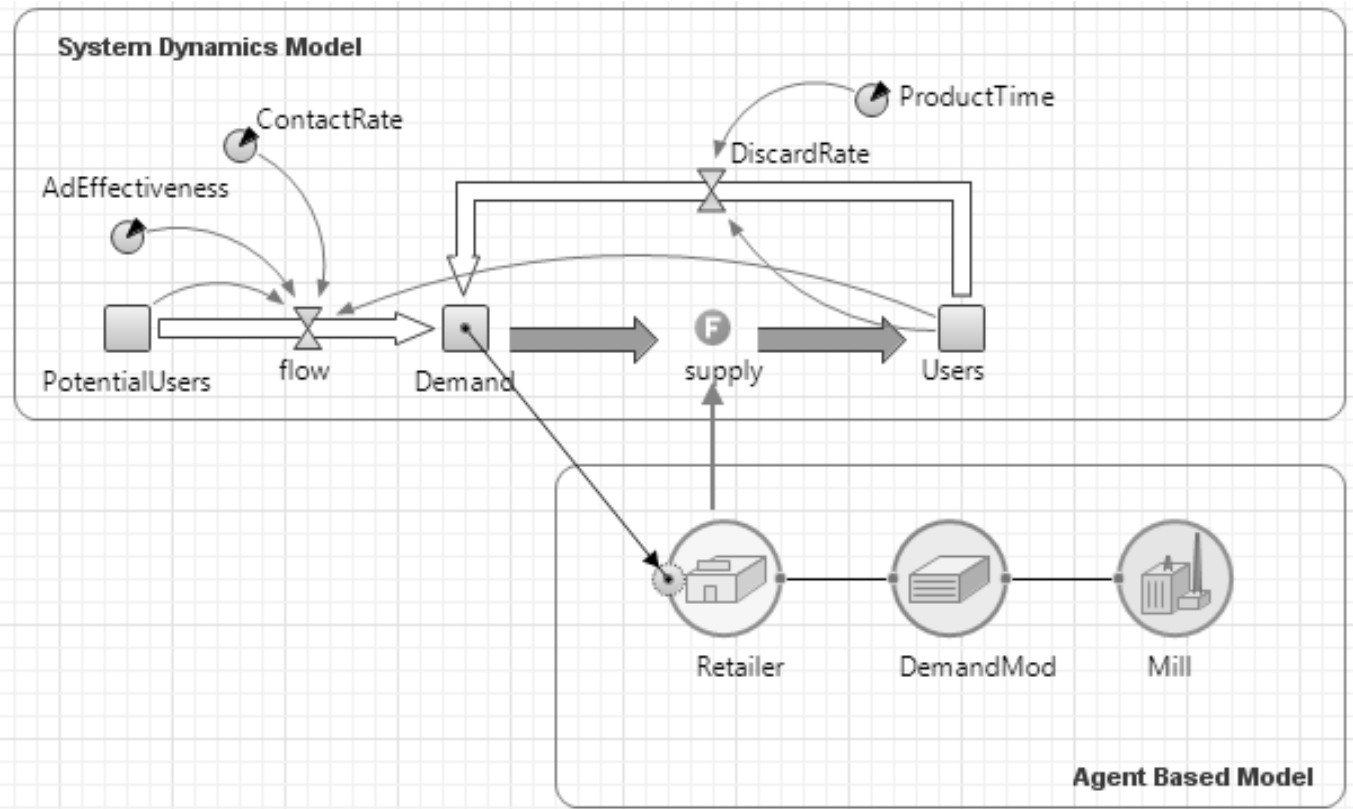


Рис. 4. Многоподходная модель прогнозирования спроса

где Y — значение резуль­тативного показателя (прогнозное значение спроса на продукцию металлургической отрасли);

X_1, X_5, X_6 — значение факторных переменных (темпы инфляции; индекс предпринимательской уверенности организаций по добыче полезных ископаемых; средние цены на железную руду, руб.).

Точность нечёткой регрессионной модели прогнозирования составляет 70–76%. Оценка точности модели проведена путём расчёта взвешенной абсолютной процентной ошибки прогнозирования (WAPE) [3].

Исходными данными многоподходной (имитационной) модели являются результаты прогнозирования динамики спроса с помощью нечёткой регрессионной модели.

Для построения модели цепочки поставок используется агентная модель. Продукт доставляется по цепочке поставок, моделируемой с помощью нескольких агентов (ритейлер, прогноз спроса нечёткой модели и производственные возможности завода), каждый из которых поддерживает определенную политику управления запасами.

Процесс производства в агенте *Mill* (завод), в свою очередь, моделируется с помощью простой диаграммы системной динамики, где интенсивность производства и производственные возможности управляются политикой завода. Поведение покупателя в условиях современного рынка невозможно адекватно отразить без моделирования процессов принятия решений. Для учёта данного фактора в модели покупатель будет представлен в качестве индивида, функционирующего на рынке металлургической продукции, выбирающий лучший продукт для достижения своих целей (учитывая различные факторы: технический, экономические, социальные) [12, 18]. Данные индивиды являются единицами, принимающими решения, — агентами *PotentialUsers* и *Users*. Процессы, происходящие на рынке металлургической продукции, рассматриваются в модели как интегральная сумма всех индивидуальных решений агентов.

С помощью агентного моделирования удаётся формализовать в модели множество факторов, которые оказывают влияние на принятие потребителями решений, что, в конечном счёте, сказывается на объёмах и сроках переходов потребителей от использования одного продукта к использованию другого, эквивалентного ему [16, 19]. Помимо этого, данная модель позволяет учесть

различные виды продуктов и их технические характеристики.

В предложенной модели агенты — это активные объекты, которые характеризуют поведение некоторого множества однотипных потребителей продукции металлургической отрасли со сходным поведением при принятии решений в условиях рыночной экономики. Можно говорить, что сходное поведение присуще агентам, находящимся в одинаковых экономических и социальных условиях [17]. При анализе потребителей металлургической отрасли следует проводить их классификацию по двум параметрам: ниша предприятия (например, заборы и ограждения, детские площадки, металлическая мебель, кровля и профнастил, и т.д.), а также их географическое расположение. В рамках предложенной модели агент рассматривается как кластер (некоторое число, множество) потребителей определённого типа. Они используют один вид продукта и имеют одинаковое конечное назначение, поэтому имеют схожую стратегию поведения на рынке.

В процессе построения многоподходной модели учитываются поведения мелких, средних и крупных потребителей, а также внешние факторы, например, поведения рынка в условиях эпидемии, вызванной COVID-19.

Результаты построения многоподходной модели прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли представлены на рис. 4.

В модели системной динамики (system dynamics model) используются следующие объекты для построения модели:

1. *PotentialUsers* — новые/потенциальные потребители;
2. *AdEffectiveness* — эффективность рекламы, задаёт процент потенциальных пользователей, которые принимают решение о приобретении продукта под влиянием рекламы в течение месяца;
3. *ContactRate* — параметр, который учитывает привлечение продавцами новых клиентов для покупки металлопроката.
4. *Flow* — накопитель, который позволяет рассчитать конечное число потребителей.
5. В системно-динамической модели на интерфейс вынесен накопитель *Demand*, так что он доступен ритейлеру, и ритейлер «перемещает» потребителей из накопителя *Demand* в накопитель *Users* по мере поступления товара.
6. На значение накопителя *Users* оказывает влияние цена и значение скидки (*DiscardRate*), в данный параметр присоединена база данных со средними ценами на горячекатаный рулон (он является базовым продуктом при формировании цен на металлопрокат).

7. *Supply* — цепочка поставок.

В агентной модели (agent based model) используются следующие объекты для построения:

1. *Retailer* — ритейлер/трейдер, у которого агент может приобрести металлопрокат.
2. В агент *DemandMod* заложены прогнозные значения среднего сценария нечёткой регрессионной модели.
3. Агент *Mill* позволяет учесть производственные возможности предприятия и ограничения при ремонте оборудования.

Потребительский рынок моделируется согласно модели Басса с продуктом с ограниченным сроком эксплуатации, что позволяет учесть повторные продажи данного продукта одному и тому же покупателю [15]. Потребители изначально не являются пользователями рассматриваемого продукта, но потенциально заинтересованы в продукте (являются потенциальными потребителями).

В многоподходной модели продукт производится производителем (заводом). Производитель выпускает определённый объём продукта в месяц согласно производственным возможностям и стратегии предприятия (данное значение отражается в агенте *Mill*), и эта интенсивность производства может меняться, например, она может подгоняться под текущий спрос (известный производителю), а также могут накладываться ограничения в случае ремонта оборудования. Значение в данном агенте определяется месячными производственными возможностями предприятия.

Модель системной динамики состоит из накопителей: *PotentialUsers* (полученное значение под влиянием факторов определяет число новых потребителей), *Users* (определяет число потребителей) и *Demand* (прогнозное значение потребителей в текущем месяце).

Потенциальные потребители приобретают продукт под влиянием рекламы (работы продавцов компании) и общения с пользователями этого продукта. Реклама порождает спрос на продукт среди потенциальных потребителей. Эффективность рекламы задаёт процент потенциальных пользователей, которые принимают решение о приобретении продукта под влиянием рекламы в течение месяца.

Под влиянием параметра *ContactRate* происходит привлечение продавцами новых клиентов для покупки продукта. На значение накопителя *Users* оказывает влияние цена и значение скидки (*DiscardRate*), в данный параметр заложена база данных со средними ценами на поставляемую продукцию металлургической отрасли.

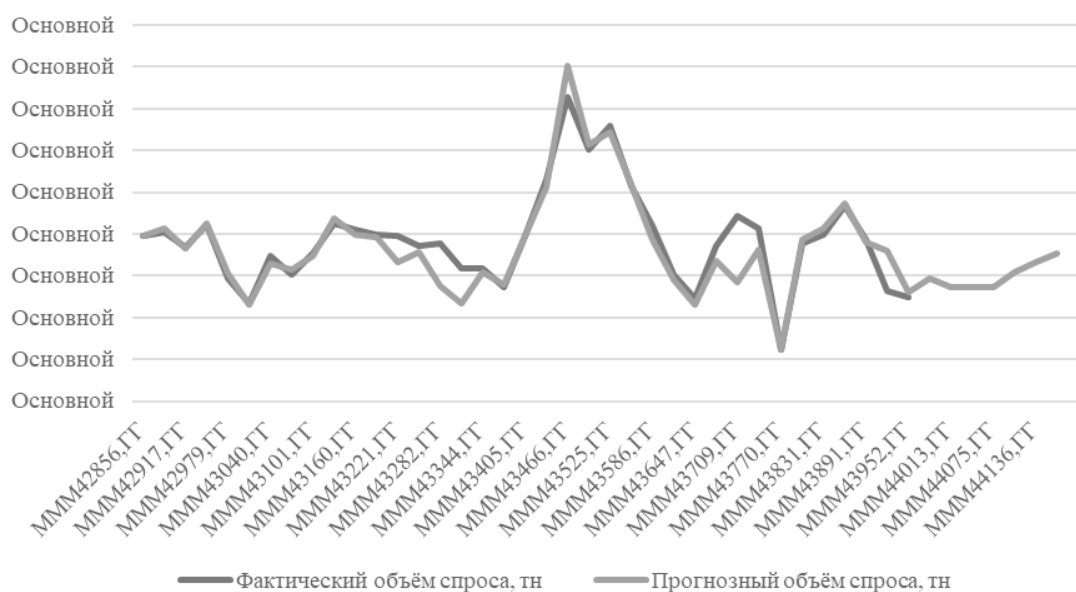


Рис. 5. Результаты прогнозирования многоподходной модели и фактические данные спроса

ли. В агент *DemandMod* заложены прогнозные значения среднего сценария нечёткой регрессионной модели. Данные параметры позволяют в многоподходной модели учитывать влияние факторных экономических переменных.

При разработке нечёткой регрессионной модели было выявлено, что отклонение от фактических значений спроса в большей степени связано с производственными возможностями стана. Данный фактор позволяет учесть агент *Mill*. В модели производственных возможностей возможно заложить плановые ремонты агрегатов и ограничения по объёмам производства.

При построении многоподходной модели мы получаем прогнозные значения спроса на продукцию металлургической отрасли с мая 2017 по декабрь 2020. Сравнение реальных и значений прогноза спроса многоподходной модели на продукт металлургической отрасли представлено на рис. 5. График динамики спроса построен в excel.

Анализируя прогнозные данные спроса за период с января 2019 по март 2020, можно сделать следующие выводы: максимальное отклонение результатов прогнозной модели от фактического значения спроса составляет 9,6% (1857 тн), минимальное отклонение результатов прогнозной модели от фактического значения спроса 3,5% (707 тн). Средняя относительная погрешность модели прогнозирования составляет 2,8%. В апреле месяце модель прогнозирует спрос на 36% выше фактического в связи с началом карантина по COVID-19

в России. Учёт эпидемиологической ситуации в многоподходной модели позволило достичь отклонения от фактического объёма спроса в мае 5%.

Точность многоподходной модели прогнозирования составляет 80–85%, что говорит о высокой точности прогнозирования. Оценка точности модели проведена путём расчёта взвешенной абсолютной процентной ошибки прогнозирования.

Заключение

Проблема повышения точности прогнозирования спроса является не решённой в полной мере на текущий момент. Для повышения точности прогнозирования предлагается использование многоподходной модели, включающей в себя: нечёткую регрессионную модель для прогнозирования динамики спроса с использованием экономических факторных переменных; агентную модель для описания поведения потребителей; модель системной динамики для наложения ограничений по производственному процессу.

В результате исследования выявили, что точность прогнозирования с помощью многоподходной составляет 80–85%, при прогнозировании спроса с применением только нечёткой регрессионной модели — 70–76%. При сравнительном анализе результатов, выявили что предложенная многоподходная модель позволяет повысить точность прогнозирования до 10%. Что является значимым результатом при производимых объёмах предприятий металлургической отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесхмельницкий, М.И. Аналитическая записка о состоянии черной металлургии в России [Текст] // М.: Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 14–16.
2. Бесхмельницкий, М.И. О состоянии чёрной металлургии [Текст] // М.: Экономист. — 2012. — № 2. — С. 36–38.
3. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление: Учебник [Текст] / Пер. с англ. / Г.М. Дженкинс — М.: Мир, 2013. — 406 с.
4. Борщев, А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика [Текст] // М.: Exponenta Pro. — 2008. — № 3–4. — С. 78–81.
5. Виноградов К.О., Современные логистические системы транспортировки жидкого чугуна [Текст] / А.Л. Смылова // М.: Металлург. — 2019. — № 9. — С. 29–31.
6. Волкова, Е.С. Нечеткая линейная регрессия в оценке [Текст] / В.Б. Гисин // М.: Вопросы оценки. — 2015. — № 1. — С. 26–33.
7. Волкова, Е.С. Нечеткая линейная регрессия в модели роста технологических знаний [Текст] / В.Б. Гисин // М.: Вестник Финансового университета. — 2015. — № 5 (89). — С. 97–104.
8. Горчакова, Д.А. Регрессионная модель прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли [Текст] / В.А. Шабалов // М.: Научная мысль. — 2017. — № 1 (23). — С. 73–82.
9. Горчакова, Д.А. Нечеткая регрессионная модель планирования поставок продукции металлургического предприятия [Текст] / В.А. Шабалов // М.: Вестник Череповецкого государственного университета. — 2019. — № 3 (90). — С. 9–16.
10. Домрачев, В.Г. О построении регрессионной модели при нечетких исходных данных [Текст] / О.М. Полещук // М.: Автоматика и телемеханика. — 2003. — № 11. — С. 74–83.
11. Кононова, О.Н. Планирование спроса [Текст] // М.: Северсталь. — 2014. — № 2. — С. 3–5.
12. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH: Учебное пособие [Текст] — М.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
13. Магруппова, З.М. Анализ и прогнозирование конъюнктуры рынка металлопродукции: Учебное пособие [Текст] — М.: ГОУ ВПО ЧГУ, 2013. — 215 с.
14. Чернов, В.Г. Краткосрочное прогнозирование на основе свертки нечетких гипотез [Текст] // М.: Информационно-управляющие системы. — 2005. — № 3(16). — С. 50–57.
15. Bardossy, A. Note on fuzzy regression // Fuzzy Sets and SystemP. — 2009. — № 37. — P. 66–75.
16. Cerioli, A. A fuzzy approach to the measurement of poverty / Ed. by Dagum C., Zenga M. // Income and Wealth Distribution, Inequality and Poverty. Berlin: Springer-Verlag. — 2011. — P. 272–284.
17. Cheli, B. A totally fuzzy and relative approach to the multidimensional analysis of poverty // Economic Notes by Monte dei Paschi di Siena. — 2015. — № 24 (1). — P. 115–134.
18. Dagum, C. New approaches to the measurement of poverty. Poverty Measurement for Economies in Transition in Eastern European Countries // Polish Statistical Association and Central Statistical Office. — 2012. — P. 201–225.
19. Garifullin, M. Using Anylogic and Agen-Based Approach to Model Consumer Market // Anylogic company, URL: www.xjtek.com
20. Martinetti, C. A new approach to the evaluation of well-being and poverty by fuzzy set theory // Giornale Degli Economisti e Annali di Economia. — 2014. — № 53. — P. 367–388.

© Рябкова Дарья Андреевна (da.gorchakova@yandex.ru),

Смылова Алёна Леонидовна (grafista@mail.ru), Шабалов Виктор Александрович (shabvic@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»