

где $T(r, \tau)$ – текущая температура; r – текущая координата; r_0 – текущий радиус, изменяемый за счет массоотдачи; λ – коэффициент теплопроводности воды; c – теплоемкость капли; ρ_k – плотность капли.

Начальное условие: $T(r, \tau) = T_0$.

В качестве граничных условий принимаем граничные условия третьего рода и условия симметрии в центре капли;

2. При $r = 0$

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} = 0;$$

3. При $r = r_0$

$$-\lambda \frac{\partial T(r_0, \tau)}{\partial r} = \alpha_k [T(r_0, \tau) - T_r];$$

4. При испарении капли:

$$-\lambda \frac{\partial T(r_0, \tau)}{\partial r} = \rho r_k \frac{d\xi}{d\tau} + q_{\text{пов}},$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, определяемый по формуле [3].

$$\text{Nu} = 2 + 0,459 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,33} \quad \text{при } 5 \leq \text{Re} \leq 5 \cdot 10^{-3};$$

$$q_{\text{пов}} = \alpha_k [T(r_0, \tau) - T_r] - c_{\text{рп}} [T(r_0, \tau) - T_r] G_{\text{п}} / F,$$

где $c_{\text{рп}}$ – теплоемкость водяного пара; $G_{\text{п}}$ – плотность потока пара с поверхности капли; F – площадь поверхности капли.

Плотность потока массы $G_{\text{п}}$, кг/(м²·с), определяем по уравнению

$$G_{\text{п}} = \beta(\rho_c - \rho_o),$$

где β – коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности концентраций диффундирующего вещества, м/с; c, o – индексы, показывающие, что концен-

трация диффундирующего вещества берется на поверхности радиуса фаз и вдали от нее.

Для расчета коэффициента массоотдачи используется уравнение [3]:

$$\text{Sh} = 2 + 0,552 \text{Re}^{0,5} \text{Se}^{0,33}$$

$$(\text{при } \text{Se} = 0,6 - 4 \cdot 10^{-2}; \text{Re} = 1 - 7 \cdot 10^{-4}),$$

где Sh – критерий Шервуда, $\text{Sh} = \beta d_k / D$; Se – критерий Шмидта, $\text{Se} = V / D$; D – коэффициент диффузии.

Коэффициент диффузии в газе можно рассчитать по уравнению [3].

$$D_{\text{F}_{\text{H}_2\text{O}}} = 4,3 \cdot 10^{-3} \frac{T_r^{3/2}}{p(V_1^{1/3} + V_2^{1/3})} \sqrt{\frac{1}{M_1} \frac{1}{M_2}},$$

где V_1, V_2 – удельный объем газовой фазы и распределяемого компонента; M_1, M_2 – молекулярные массы веществ.

Общая зависимость коэффициента диффузии от температуры [3] имеет вид:

$$D / D_0 = (T / T_0)^{3/2}.$$

Таким образом, предложена математическая модель охлаждения капли воды в газовом потоке с учетом массообмена влаги.

Литература

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987. 328 с.
2. Синецын Н.Н., Полеводова Л.А. Расчет траекторий движения капли воды с учетом фазовых переходов в системе газоочистки кислородного конвертера // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. 2007. Т. 3, № 6. С. 160–164.
3. Пажо Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. М.: Химия, 1984. 254 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.

УДК 338.27

Многоподходное имитационное моделирование как средство анализа и прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли

Успех коммерческого предприятия в условиях современного рынка зависит от подробного 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. Металлургия входит в состав комплекса конструктивных материалов по назначению и характеру применения произ-

водимой продукции, а также относится к группе отраслей по производству продукции промежуточного назначения. Необходимость в прогнозировании спроса металлургической отрасли напрямую связана с объемом продаж. Предприятие должно проводить анализ производственных возможностей с целью выявления необходимого объема производства, сравнивая их с показателями спроса потенциальных

покупателей (для этого производится прогнозирование спроса на продукцию на будущие периоды).

Особое значение в металлургической отрасли имеет долгосрочное прогнозирование спроса. Наличие долгосрочного плана спроса в черной металлургии базируется на понимании тенденций рынка.

Цель данной работы состоит в рассмотрении методики многоподходного имитационного моделирования как средства прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли. Данная методика содержит согласованные тенденции поведения рынка, предпочтений покупателя и производственного процесса.

В настоящее время при прогнозировании цен в металлургии применяются методы математического моделирования, такие как:

- декомпозиция временного ряда спроса: выделение трендовой, сезонной, автокорреляционной и случайной составляющих;

- факторный подход, основанный на регрессионной модели: выделение существенных факторов спроса, количественная оценка их влияния на основе регрессии, построение прогноза экзогенных факторов и спроса.

В металлургической отрасли наблюдается дефицит исследований в области применения аппаратов прогнозирования спроса. Отчасти это обусловлено высокой монополизацией рынка. Действующие социально-экономические системы изменяют процесс информатизации и глобализации общества. Как следствие, металлургические предприятия вынуждены начать поиск оптимальных путей внедрения процесса планирования в свою деятельность.

В основе факторного анализа лежит выделение существенных факторов, воздействующих на спрос, и количественная оценка их влияния. Прогноз строится путем задания наиболее вероятной динамики факторов изменения спроса и расчета прогнозного спроса на основе уравнения регрессии. В предыдущем исследовании авторов [1] рассматривается процесс разработки регрессионной модели прогнозирования спроса на стальной прокат. В качестве факторов спроса рассматриваются: темпы инфляции; курс доллара; индекс промышленного производства; средние цены на металл (цены на горячекатаный прокат, так как это базовый тренд на рынке, а остальные продукты повторяют тренд данного продукта с определенным спредом); индекс предпринимательской уверенности организаций по добыче полезных ископаемых; средние цены на железную руду; средние цены на коксующийся уголь.

В работе [4] также проведено исследование прогнозирования спроса в черной металлургии с помощью факторного анализа, рассмотрены анализ спроса на отраслевом рынке, процесс прогнозирования, оценка емкости рынка ПАО «Северсталь», ОАО НЛМК и ОАО ММК.

Примером комплексного применения анализа временных рядов и факторного анализа служит исследование О.Н. Кононовой [3]. В работе [3] 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.

Математические методы позволяют выявить зависимости объекта прогнозирования (плана спроса) от факторных переменных. Ключевым моментом является то, что данные параметры должны быть выражены в виде числовых либо качественных переменных (которые должны быть преобразованы в числовые): курс доллара, цены на сырье, значение НДС, цена и т.д.

Недостаток применения традиционных в среде практиков металлургической отрасли методов математического прогнозирования состоит в том, что данные модели не учитывают портрет и поведение потребителя, производственные возможности предприятия и др.

При экономическом анализе с применением математических моделей фактор неопределенности часто игнорируется, и решение принимается на основании анализа детерминированных моделей в предположении, что все факторы, влияющие на экономическую ситуацию, известны точно. В результате решения, принятые на основании таких моделей, приводят к значительным экономическим потерям. При проведении исследований, цель которых заключается в экономическом прогнозе на несколько лет, необходимо учитывать фактор неопределенности, который неизбежно сопутствует такого рода прогнозам и усложняет анализ.

Модель многоподходного имитационного моделирования. Процесс прогнозирования спроса следует разбивать на составные части и описывать, применяя разные методы. Невозможно достоверно передать сложный процесс и его внутренние и внешние связи, используя один подход – некоторые элементы приходится исключать или искать обходные пути при моделировании. Оптимальным является использование многоподходного процесса прогнозирования с применением следующих методов (рис. 1):

1. Агентное моделирование – применяется для визуализации множества индивидуальных объектов (покупателей) и присвоения им характеристик. В работе [2] рассмотрена концепция агентной модели поведения потребителя металлургической продукции;

2. Системная динамика – может применяться для описания и исследования динамики процессов взаимодействия поставщика и потребителя на системном уровне;

3. Дискретно-событийное моделирование – применяется для исследования производства заказов клиента, производственного процесса в условиях ограничений производственных возможностей предприятия.

Многоподходное прогнозирование может быть реализовано на основе инструментов системы AnyLogic [4].

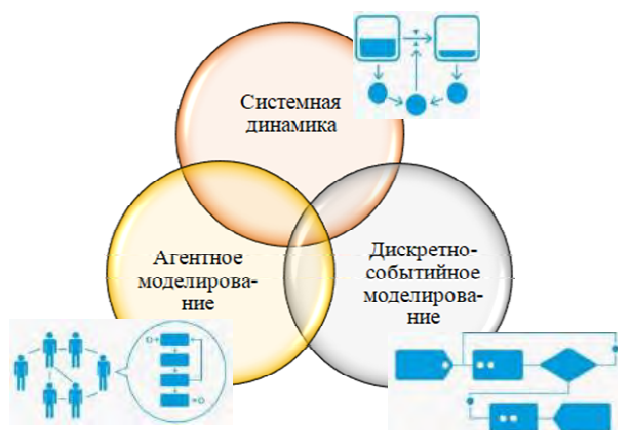


Рис. 1. Модель многоподходного имитационного моделирования

Поведение и портрет потребителя. В ходе построения агентной модели поведения потребителя были использованы следующие параметры, накладывающие ограничения на спрос потребителей:

– *эффект рекомендаций клиентов* – эффект, который оказывают на потенциальных потребителей положительные отзывы о продукте его владельцев;

– *эффект повторных продаж продукта* – процесс, при котором потребитель больше не может пользоваться продуктом (продукт закончился), поэтому возникает необходимость моделирования повторных покупок;

– *переход клиента от конкурента*. Базовая формула покупки товара потребителем (при переходе от конкурента) может быть представлена в следующем виде:

$$P_i \cdot n_j + S_i \cdot m_j > (P_{i+1} \cdot n_j + S_{i+1} \cdot m_j) \cdot (1 + k_j),$$

где P – привлекательность цены; n – вес параметра «цена»; S – качество продукции; m – вес параметра

«качество»; k – коэффициент консерватизма; i – текущая компания, у которой производится покупка материалов; $i + 1$ – предлагаемая компания; j – категория покупателя (A, B, C).

Учет времени доставки и ожидания продукта.

Если время доставки превышает предельно допустимое время ожидания, то потребитель откажется от покупки.

Одним из способов создания интерактивной модели является добавление элементов управления и связывание их с варьируемыми параметрами. Пример агентной модели поведения потребителя представлен на рис. 2.

Наличие модели позволяет компании протестировать значения числа покупателей при сложном поведении рынка и учесть сценарий конкурентной борьбы. Наличие подобных моделей позволяет менеджменту компании подобрать оптимальную стратегию конкуренции и, внимательно отслеживая действия других игроков рынка, корректировать свою стратегию соответствующим образом.

Данная модель является инструментом, который управляется, исходя из экспертного мнения пользователя, что позволяет учитывать разносторонние пути решения поставленной проблемы.

Процесс исполнения заказов потребителя.

Дискретно-событийное моделирование описывает функционирование системы как хронологическую последовательность событий. Событие происходит в определенный момент времени и знаменует собой изменение состояния системы.

Совместное использование дискретно-событийной модели и оптимизационной задачи выполнения потребительских заказов и реализации продукции позволяет обосновать оптимальные значения параметров регулирования производственно-сбытовой деятельности при выбранной совокупности ситуационных сценариев.



Рис. 2. Агентная модель поведения спроса при различных входных параметрах

Системная динамика позволяет моделировать сложные системы на высоком уровне абстракции, не принимая в расчет мелкие детали: индивидуальные свойства отдельных продуктов, событий или людей. Такие модели позволяют получить общее представление о системе и хорошо подходят для стратегического планирования. При разработке стратегии компании необходимо смоделировать ее и проанализировать эффективность новых способов коммуникации с клиентами, не моделируя поведение каждого клиента в отдельности.

В предлагаемой многоподходной имитационной модели прогнозирования спроса предлагается комплексное использование агентного, дискретно-событийного моделирования и системной динамики. Предложенный метод прогнозирования позволит комплексно учесть факторы и события, влияющие на поведение спроса в металлургии. Простота использования модели прогнозирования позволит быстро произвести настройку входных параметров, расчет экономических предпосылок и стратегического пла-

на производства крупной металлургической компании.

Литература

1. Горчакова Д.А., Шабалов В.А. Регрессионная модель прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли // *Научная мысль*. 2017. № 1 (23). С. 73–82.
2. Горчакова Д.А., Шабалов В.А. О применении имитационного моделирования для прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли // *Экономика и управление в XXI веке: наука и практика* (26–27 мая 2017 г.): Материалы V Междунар. науч.-практ. очно-заочной конф. Череповец, 2017. С. 108–116.
3. Кононова О.Н. Долгосрочное прогнозирование в металлургии. Десятилетний прогноз на горячекатаный прокат // *Национальная металлургия*. 2007. № 5. С. 44.
4. Магзупова З.М. Анализ и прогнозирование конъюнктуры рынка металлопродукции. Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2008. 110 с.
5. AnyLogic: Сайт системы многоподходного моделирования. URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 16.10.2017).

УДК 316.65.0

Ю.В. Грибкова¹, О.А. Кашинцева¹, И.А. Сарычева^{1,2}

¹Череповецкий государственный университет

²Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники

Проведение математических олимпиад для студентов направления подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование» (профили «Математика» и «Информатика»)

Одной из приоритетных задач современного образования России является обеспечение качества образовательных услуг. Решение этой задачи тесно связано с уровнем подготовки будущих учителей, с их способностью осуществлять профессиональную деятельность в условиях модернизации образования, применять свои знания для решения реальных научных проблем.

В последнее время появилась устойчивая тенденция понижения уровня математической подготовки студентов – будущих учителей математики. Организация модернизированного учебного процесса требует умелого сочетания традиционных и инновационных методов обучения. Необходимо сменить ориентацию только на «среднего студента» и проявлять особую заинтересованность к одаренным молодым людям. В связи с этим одним из способов решения проблемы низкого уровня подготовки студентов, а также повышения мотивации обучения является проведение математических олимпиад в процессе непрерывного математического образования.

Кафедра математики и информатики Череповецкого государственного университета (далее – ЧГУ) ежегодно организует олимпиады по математике для студентов нематематических специальностей. Математические олимпиады проводятся с целью формирования позитивного отношения студентов к изучаемому предмету и активизации теоретических знаний студентов.

Многолетний опыт преподавания математических дисциплин студентам первых курсов ЧГУ показывает, что потоки первокурсников сформированы из студентов, имеющих различную степень математической подготовленности. В связи с этим возникает необходимость дифференцированно подходить к выбору методики обучения различных групп учащихся. Одним из методов работы с одаренными студентами является их обучение решению задач олимпиадного типа и проведение математических олимпиад.

С 2017/2018 учебного года кафедра математики и информатики осуществляет подготовку учителей математики и информатики. От уровня знаний будущих учителей, их способности осуществлять профессиональную деятельность в условиях модернизации образования, применять свои знания для решения реальных научных проблем зависит обеспечение качества образовательных услуг. Проведение математических олимпиад в данном случае нацелено на совершенствование качества подготовки специалистов в области математики.

В течение учебного года по окончании изучения модуля дисциплины студентам, успешно освоившим теоретический материал и алгоритмы решения типовых задач, предлагаются задачи олимпиадного типа. Содержанием обучения в данном случае являются новые методы решения задач, которыми студенты