

Использование нечетких чисел в динамических предиктивных моделях для решения задач управления производственными системами

Л. А. Мыльников¹, М. В. Садахматов²

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
leonid.mylnikov@pstu.ru¹, fortis3000@gmail.com²

Аннотация. Ориентация производственных систем на открытый рынок, на котором наиболее перспективными являются рынки инновационной продукции, предъявляет повышенные требования к скорости принятия решений и их качеству в связи с необходимостью учитывать все большее количество факторов и многосвязностью параметров и показателей производственной системы и реализуемых проектов. При этом производственные системы являются системами со сложными взаимосвязями. Внешние факторы оказывают существенное влияние на производственный процесс. Для их учета делаются попытки использовать прогнозы, которые можно получить только с определенной долей достоверности. В статье рассматривается использование значений прогнозов, задаваемых в виде нечетких чисел и функций принадлежности, для поиска решений в задачах планирования и управления с учетом фактора времени. Функция принадлежности данных прогнозирования зависит от достоверности прогноза, а также в случае недостатка данных может определяться на основании экспертных оценок и представляться в виде нечетких чисел. Предлагаемый подход позволяет использовать при решении задач операции, определенные для нечетких чисел, и получать результат, уточняющий диапазоны наиболее вероятных реакций системы при изменении входных данных без проведения дополнительных исследований.

Ключевые слова: поддержка принятия решений; управление; планирование; модель; прогнозирование; производственная система; нечеткие числа

I. ВВЕДЕНИЕ

Использование данных прогнозов в задачах управления позволяет повысить качество управления в системах, обладающих инерционностью за счет того, что управляющее воздействие осуществляется с упреждением. При этом, качество управления зависит от точности используемых прогнозов, а в условиях недостатка данных точности используемых оценок. Для повышения объективности оценок в этом случае следует использовать формализуемые методы. Одним из подходов, позволяющих формализовывать как субъективную составляющую, так и неопределенную природу прогнозов, являются методы,

использующие функции принадлежности для описания вероятностной природы этих данных.

Описание функций принадлежности $\mu(x)$ учитывает степень уверенности экспертов и/или достоверности используемых прогнозов [1]. Применение теории нечетких множеств имеет преимущество, связанное с тем, что для работы с функциями принадлежности определены все элементарные математические операции. Кроме этого, при отсутствии уверенности в суждениях экспертов словесные оценки (например «плохо», «хорошо», «перспективно» и т.п.), представляемые лингвистическими переменными, также описываются функциями принадлежности [2].

Подход сохраняет свою работоспособность при использовании нескольких методов прогнозирования и группы оценок. Для чего объединяются функции принадлежности.

II. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ ЧИСЕЛ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ

Использование данных прогнозирования для решения задач управления на модели можно представить схемой, приведенной на рис. 1. Особенностью динамических предиктивных моделей является возможность учета инертности системы по вектору параметров и факторов, и формирования управляющего воздействия также как вектора как таблично заданных функций (с шагом времени dT) управляющих параметров.

При использовании методов прогнозирования используют ретроспективные данные, представленные, как правило, в виде временных рядов. Для проверки адекватности получаемых прогнозов данные разбивают на две выборки: тренировочную, которая используется для построения модели прогнозирования, и тестовую. Тестовая выборка является последним во времени участком ретроспективных данных и, обычно, не превышает 1/3 имеющихся данных. После проверки модели на тестовой выборке в случае ее адекватности тестовые данные добавляются к обучающей выборке и модель перестраивается [3]. Таким образом, регрессионные модели, выбираемые для прогнозирования значений параметров и факторов, будут адекватны.

Работа выполнена при финансовой поддержке правительства Пермского края, проект № С-26/058

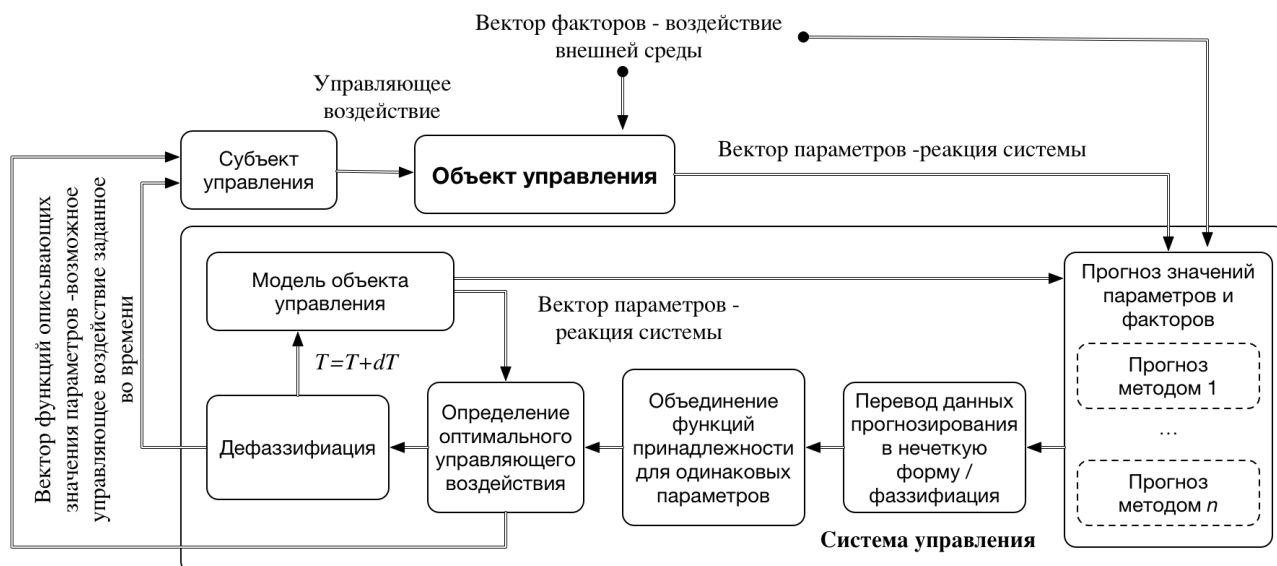


Рис. 1. Структурная схема системы управления производственной системой

Для перевода данных прогнозов в нечеткую форму (фаззификации), в связи с тем, что данные прогнозирования адекватны и подчиняются нормальному закону распределения (функция адекватна при проверке по критерию Пирсона), можно использовать Гауссову функцию:

$$\mu(x) = e^{-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2},$$

где $\mu(x)$ – функция принадлежности, c – значение прогноза, σ – величина доверительного интервала или среднеквадратичное отклонение, определяемая при проверке регрессионной модели на адекватность (см. критерий Пирсона), x – диапазон изменения прогнозируемой величины.

В результате получаем для каждого значения прогноза (рис. 2 и 3) функцию принадлежности (рис. 4).

Для упрощения процесса описания и проведения расчетов с нечеткими числами проведем преобразование функций Гаусса в трапециевидную форму [4] с осью симметрии, соответствующей значению прогноза c , основанием трапеции с отклонением от значения c на $\pm 2\sigma$ и вершиной трапеции с отклонением от значения c на $\pm \sigma$.

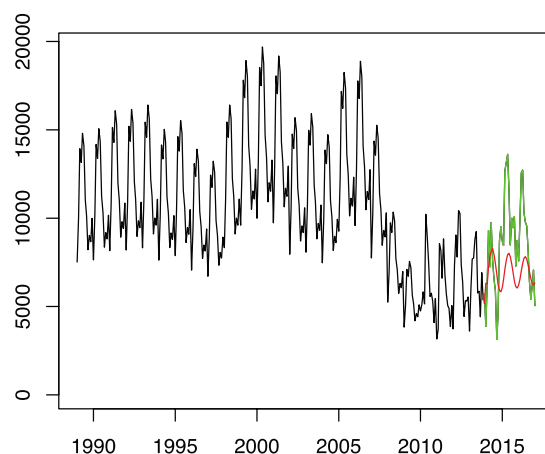


Рис. 2. Значения прогнозов при прогнозировании цены автомобиля Ford Mustang на рынке США методом авторегрессии

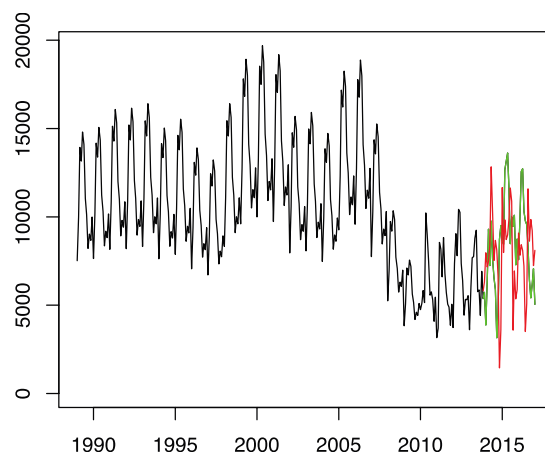


Рис. 3. Значения прогнозов при прогнозировании цены автомобиля Ford Mustang на рынке США фрактальным методом прогнозирования

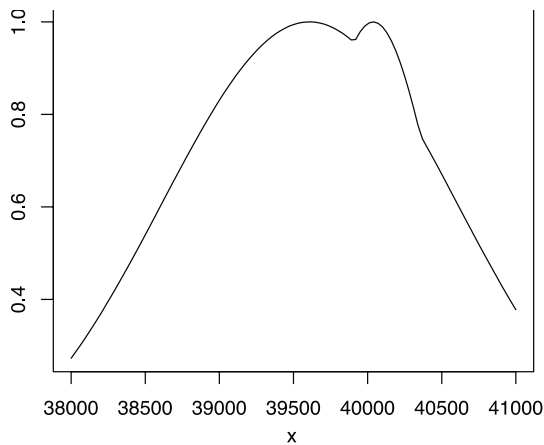


Рис. 4. Пример функции принадлежности $\mu(x)$, получаемой после фаззификации и объединения функций принадлежности

III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ЧИСЕЛ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Рассмотрим использование нечетких значений в задачах управления на примере объемно-календарного планирования с учетом данных об ожидаемом спросе и изменениях цены, получаемых на основе данных прогнозирования.

Такая задача математически в общем виде может быть представлена как приведено в [5]:

$$\begin{aligned} \sum_w C_w(t) \cdot x_w(t) &\rightarrow \max, \\ \sum_z \sum_w R_{zwj} \cdot S_{wk} \cdot x_w(t) &\leq P_j, \forall j, \\ \sum_w S_{wz} \cdot x_w(t) &\leq L_z(t), \forall z, \\ x_w(t) &\leq G_w(t), \forall w \\ x_w(t) &\geq 0, \forall w \end{aligned}$$

где w – индекс изделия; x_w – объем выпуска изделия w ; C_w – чистая прибыль от производства изделия w ; R_{zwj} – потребность в мощностях оборудования для обработки материала/ детали/ компонента z для изделия w на установке j ; P_j – общий ресурс в мощностях для оборудования типа j ; S_{wz} – потребность в материала/ детали/ компонента z на единицу изделия w ; L_z – доступный объем материала/ детали/ компонента z ; z – индекс материала/ детали/ компонента; G_w – ограничение, по доступному объему рынка/ спросу/ объему заказов для изделия w .

Решение будет получено как функция времени, заданная таблично при использовании фиксированного шага времени (принцип Δt (на рис. 1 см. dT)).

Использование многих методов поиска экстремума основано на использовании элементарных математических операций, которые определены и для

нечетко заданных чисел. В связи с этим, решение может быть получено в нечетком виде (например, нечетким методом линейного программирования [6] или нечетким генетическим алгоритмом [7]).

Для наглядной демонстрации разницы в получаемых решениях рассмотрим задачу в упрощенном виде, для двух товаров и ограничению по потребности рынка:

$$\begin{aligned} C_1(t) \cdot x_1 + C_2(t) \cdot x_2 &\rightarrow \max, \\ x_1(t) &\leq G_1(t), \\ x_2(t) &\leq G_2(t), \\ x_1(t) &\geq 0, \\ x_2(t) &\geq 0. \end{aligned}$$

IV. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Появление большого числа параметров, заданных временными рядами, и использование для их описания прогнозов повышает зависимость получаемых решений от точности прогнозов. В этом случае, актуальным становится моделирование отклонений прогнозируемых величин и исследование поведения системы с учетом этого. Результатом такого статистического исследования станет диапазон возможных отклонений целевой функции рис. 5.

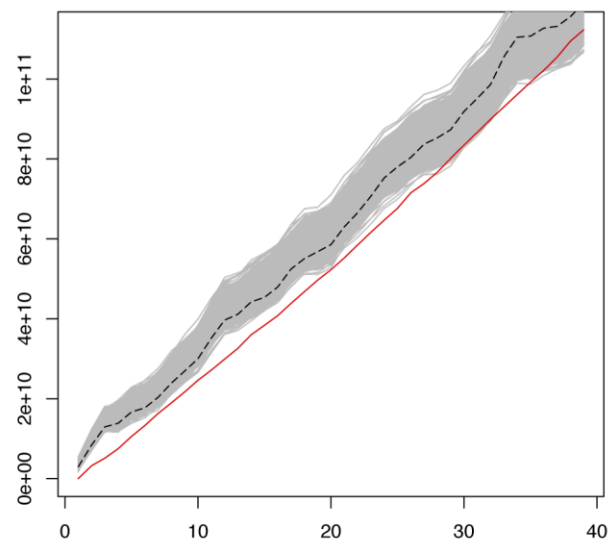


Рис. 5. Значения критериальной функции, полученной с использованием прогнозов – черная пунктирная линия, возможная область отклонения значений критериальной функции – серая область, реальные ретроспективные значения – красная сплошная линия

Использование нечетких чисел приводит, с одной стороны, к тому, что ограничения также приобретают нечеткую форму и могут в некоторых случаях нарушаться. С другой стороны, коридор возможных отклонений и вероятность попадания в определенные интервалы значений учитывается в самой форме задания и методе решения, что приводит к его уточнению и исключает необходимость проведения дополнительных исследований (рис. 6).

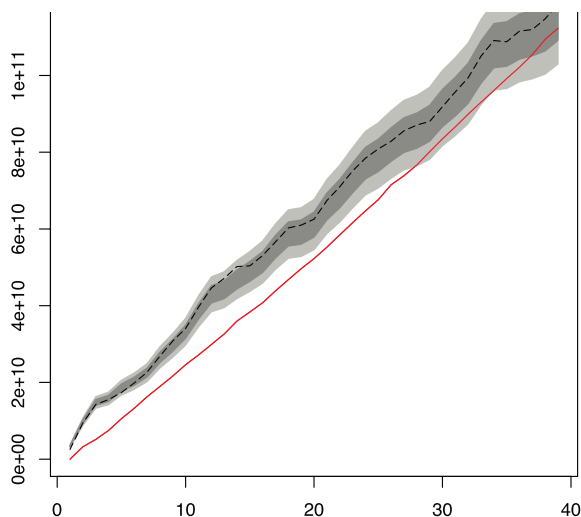


Рис. 6. Значения критериальной функции, полученной с использованием прогнозов - черная пунктирная линия, значения критериальной функции, полученные при использовании нечетких чисел - серая область (темно серая область - наиболее вероятная область значений), реальные ретроспективные значения - красная сплошная линия

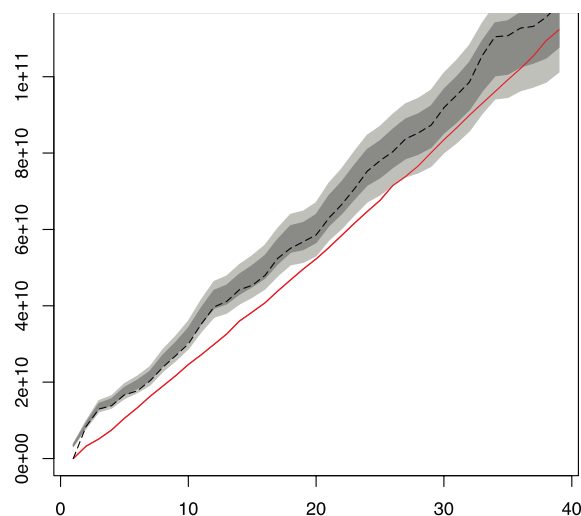


Рис. 7. Значения критериальной функции, полученной с использованием прогнозов - черная пунктирная линия (тот же метод что и на рис. 6 и 5), значения критериальной функции, полученные при использовании нечетких чисел при использовании двух прогнозов - серая область (темно серая область - наиболее вероятная область значений), реальные ретроспективные значения - красная сплошная линия

Из полученных результатов (рис. 5 и 6) видно, что область наиболее вероятных значений критерия не является равномерно распределенной вокруг значения полученного в обычных числах. Более того получаемый коридор в целом уже чем коридор, получаемый при моделировании отклонений значений прогнозов. Такая информация дополняет и уточняет данные полученные методами статистического исследования.

На практике возникает задача выбора метода прогнозирования для использования его в задачах

управления. При переходе в нечеткое представление от решения этой задачи можно отказаться путем объединения данных прогнозирования прошедших проверку на адекватность и представление их общей функцией принадлежности. Значения таких прогнозов могут существенно отличаться (рис. 2 и 3). Тогда, полученные значения будут более расплывчатыми. Однако, мы наблюдаем, что область возможных и наиболее вероятных значений не только расширяется, но и на определенных шагах расчета смещается (рис. 7). Такое поведение может говорить о том, что в рассматриваемые моменты времени присутствуют факторы, которые мы не учитываем, но которые оказывают влияние на систему. Данное предположение согласуется с результатами оценки величины рисков значение которой в такие моменты начинает резко расти [8] и поведение которой используется для определения горизонта планирования.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании приведенных рассуждений можно сделать вывод о том, что перевод в нечеткую форму данных прогнозирования позволяет учитывать неопределенности, связанные с прогнозированием значений и исключить необходимость исследования модели управления на ее зависимость от ошибок прогнозирования. Отсутствие допущений и упрощений в ходе решения позволяет определить каждое значение как функцию принадлежности и, тем самым, определять отдельные значения и диапазоны значений, появление которых наиболее вероятно исходя из точности прогнозирования. Получение результатов подобным образом наиболее ценно в производственных и производственно-экономических системах, в которых управляющее воздействие формируется человеком на основании данных анализа возникающей ситуации и ее динамики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Mylnikov L. Application of Fuzzy Variables for Systems of Management Decision Support // Proceedings of International Conference Applied Innovation in IT. Vol. 1, No. 2, 2014, pp. 73–77.
- [2] Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. СПб: Питер, 2009.
- [3] Мыльников Л.А., Краузе Б., Кютц М., Баде К., Шмидт И.А. Интеллектуальный анализ данных в управлении производственными системами (подходы и методы). М.: БИБЛИО-ГЛОБУС, 2017.
- [4] Kaufmann A., Gupta M. M. Introduction to fuzzy arithmetic: Theory and applications. NY: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [5] Sadiakhmatov M., Mylnikov L. Prediction-based Planning in Production System Management through Subsystem Interaction // Proceedings of International Conference Applied Innovation in IT. Vol. 1, No. 6, 2018. pp. 51–58.
- [6] Cadenas J.M., Verdegay J.L. Using fuzzy numbers in linear programming// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics). Vol. 27, No. 6, 1997. pp. 1016–1022.
- [7] Buckley J.J., Hayashi Y. Fuzzy genetic algorithm and applications // Fuzzy Sets and Systems. Vol. 61, No. 2, 1994. pp. 129–136
- [8] Mylnikov L., Kuetz M. The risk assessment method in prognostic models of production systems management with account of the time factor // European Research Studies Journal. Vol. 20, No. 3, 2017. pp. 291–310.