

About the authors:

Artemyev Alexey Anatolyevich – Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector of Research and Innovation, Tver State Technical University, Tver. E-mail: aaartemev@rambler.ru

Grozina Anna Vladimirovna – Master's student in «Land Management and Cadastrs», Tver State Technical University, Tver. E-mail: 79201518151@yandex.ru

УДК 004.02:658.5

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ НЕЧЕТКИМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

В.В. Боровик, В.В. Алексеев

© Боровик В.В., Алексеев В.В., 2024

Аннотация. В статье рассмотрены методы оптимизации управления производственными процессами с помощью математических моделей. Проанализированы варианты работы с математическими моделями, а именно с нечеткими динамическими системами, в рамках многостадийных и многошаговых процессов. Предложен алгоритм построения оптимального управления многошаговыми и многостадийными процессами при разработке нечеткой динамической системы.

Ключевые слова: нечеткие динамические системы, производственные процессы, многошаговые процессы, многостадийные процессы.

В современном мире производства и промышленности множество компаний и организаций стремятся к постоянному улучшению своих технологических процессов для повышения эффективности и конкурентоспособности на рынке. Достигнуть данной цели помогает применение математических моделей. Математические модели – это абстрактные представления реальных систем, которые используются для анализа и оптимизации процессов [2]. Они позволяют предсказывать поведение системы в различных условиях, проводить эксперименты с минимальными затратами и определять оптимальные стратегии. Одним из основных преимуществ использования математических моделей при оптимизации производственных процессов является экономия ресурсов. Модели обеспечивают возможность оптимизировать расходы на

материалы, энергию и трудовые ресурсы за счет разработки оптимальных планов производства, расписаний и инвестиционных стратегий. Кроме того, математические модели помогают сократить время на проведение исследований и анализ данных. Автоматизированные модели способны быстро обрабатывать большие объемы информации, выявлять взаимосвязи и оптимальные решения, благодаря чему можно ускорить процесс принятия управленческих решений.

Еще одно важное преимущество использования математических моделей состоит в возможности прогнозирования результатов действий. Модели позволяют проводить сценарный анализ, предсказывать возможные последствия принятых решений и адаптировать стратегии к изменяющимся условиям. Таким образом, применение математических моделей при оптимизации производственных процессов является важным инструментом для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий. Оно позволяет экономить ресурсы и время, повышать качество продукции и улучшать общую производственную эффективность. В современном информационном и технологическом мире использование математических моделей становится необходимым условием успешного развития бизнеса.

Однако с развитием производства и технологических процессов моделируемые процессы становятся все сложнее, а данные, необходимые для точного моделирования, – менее доступными. Поэтому для повышения качества математического моделирования требуется применение нечетких динамических систем [3].

Использование нечетких динамических систем в производстве в условиях неопределенности и изменяющихся внешних факторов положительно влияет на адаптивность, устойчивость и эффективность производственных процессов. Применение таких систем положено в основу современного подхода, который позволяет оптимизировать процессы и улучшить результативность работы предприятия. Нечеткие динамические системы – это математическая модель, способная работать с нечеткими и неопределенными данными, что позволяет учитывать различные факторы, влияющие на производственные процессы [7].

Ключевым преимуществом применения нечетких динамических систем является их способность адаптироваться к изменениям внешней среды, таким как колебания рынка, изменения в требованиях потребителей или технологические инновации. Благодаря этому предприятие может быстро реагировать на новые условия и оптимизировать свою деятельность [4]. Улучшение адаптивности производственных процессов позволяет снизить риски и повысить надежность работы предприятия. Нечеткие динамические системы могут адаптироваться к различным сценариям развития событий, учитывая не только текущие данные, но и

прошлый опыт, а также прогнозируемые данные. Это позволяет сократить временные и финансовые затраты на принятие решений.

Устойчивость производственных процессов также повышается благодаря применению нечетких динамических систем. Возможность работы с различными источниками информации, учет неопределенности данных и способность адаптироваться к изменениям делают систему более устойчивой к негативным воздействиям внешней среды. Это способствует снижению рисков простоев, дефектов и других проблем в производстве. Использование нечетких динамических систем оказывает положительное влияние и на результативность производственных процессов. Отмечается оптимизация работы оборудования, более точными и эффективными становятся планирование производства, контроль качества продукции и управление ресурсами. Это обеспечивает повышение производительности и конкурентоспособности предприятия на рынке.

В целом применение нечетких динамических систем в производстве является перспективным направлением развития, которое позволяет сделать предприятие более адаптивным, устойчивым и эффективным. Это особенно важно в условиях современной динамичной бизнес-среды, когда важно оперативно принимать решения и эффективно управлять процессами. Нечеткие динамические системы открывают новые возможности для развития предприятий и повышения их конкурентоспособности.

Таким образом, применение нечетких динамических систем и их совершенствование, оптимальный выбор методик управления данными системами, способствуют ускоренному развитию производства и повышению его прибыльности.

Существует множество работ, описывающих использование схожих методик на практике, в том числе прямое их применение для организации производственных процессов. Так, одним из важнейших аспектов производственного процесса является загрузка оборудования. Нечеткие динамические системы помогают оптимизировать этот процесс с учетом как текущей загрузки, так и прогнозируемых изменений. Это обеспечивает более эффективное использование ресурсов и сокращает время простоя оборудования. Производственные задержки – неизбежное явление, которое может существенно сказаться на общей продуктивности предприятия. Анализируя данные о причинах задержек с помощью нечетких динамических систем, можно выявить основные проблемные моменты и определить оптимальные стратегии для снижения вероятности их возникновения. Качество продукции – ключевой показатель успешности производства. Применение нечетких динамических систем позволяет контролировать этот параметр, учитывая не только численные характеристики, но и различные факторы, влияющие на качество изделий, что способствует повышению уровня производственной деятельности и

удовлетворенности заказчиков. Например, в работе [1] показано, что применение нечетких динамических моделей в процессе управления манипуляторами позволяет ускорить работу и повысить ее качество.

Еще одним примером применения нечетких динамических систем в оптимизации производства может быть управление инвентаризацией сырья и материалов. С помощью нечетких моделей можно предсказать потребности предприятия в сырье и материалах, оптимизировать их закупки и хранение, а также синхронизировать производственные процессы для повышения эффективности и снижения издержек. В работе [5] описано применение нечетких динамических моделей для построения алгоритма обучения искусственного интеллекта в целях развития автономного управления и планирования ресурсной базы производства.

Рассматриваемый метод можно применять не только для отлаживания конкретных процессов или оптимизации работы с ресурсами, но и для развития информационных интеллектуальных систем, задачей которых будет автоматизированное нахождение узких мест в производственном цикле и поиск наиболее современных и инновационных решений для конкретного процесса или производства. Авторами [4] представлено создание интеллектуальной информационной системы, позволяющей находить и подбирать инновационные решения для решения производственных задач.

Большая часть работ в этом направлении сводится к оптимизации многостадийных и многошаговых процессов в нечетких динамических системах. В связи с этим рассмотрим многошаговые и многостадийные процессы и управление ими в рамках нечетких динамических систем и сложности, возникающие при работе с ними. Многошаговые и многостадийные процессы в нечетких динамических системах представляют собой сложные системы, которые включают в себя последовательность шагов, или этапов, каждый из которых содержит ряд действий или операций. Эти процессы могут быть использованы для моделирования различных видов динамических систем, таких как управление, прогнозирование, принятие решений, оптимизация и др.

В многошаговых процессах в нечетких динамических системах каждый шаг может содержать нечеткие правила, которые определяют, как система должна реагировать на конкретные входные данные или условия. Нечеткие правила могут быть сформулированы с использованием лингвистических переменных и терминов, что позволяет учитывать неопределенность и размытость данных. Такие процессы могут быть эффективными для моделирования и управления сложными системами, где не всегда применимы точные математические модели.

Многостадийные процессы в нечетких динамических системах предполагают последовательное выполнение серии этапов с возможными обратными связями и перекрестными связями между ними. Каждый этап

может обрабатывать различные типы данных и принимать решения на основе нечетких правил или алгоритмов. Этот подход позволяет учитывать сложные взаимосвязи между различными аспектами системы и улучшать качество принимаемых решений.

Теперь рассмотрим алгоритм построения управления многостадийными и многошаговыми процессами. С помощью композиции нечетких отношений можно составить функциональное уравнение, позволяющее оценить эволюцию системы за один шаг [6]:

$$\mu_{S \circ G}(x_i) = \sup_{x_2 \in X} \min[\mu_S(x_i, x_{i+1}), \mu_G(x_{i+1})],$$

где S – нечеткое множество, представленное в пространстве значений состояний системы X , с функцией принадлежности μ_S ;

G – нечеткое множество целей, представленное в том же пространстве значений X , с соответствующей ему функцией принадлежности μ_G ;

x_i и x_{i+1} – параметры системы на соответствующем шаге или стадии.

Данное уравнение позволяет определить степень принадлежности элемента из пространства X к нечеткому множеству целей G , т. е. оценить соответствие полученного состояния системы желаемому. Известно также, что степень принадлежности μ_S определяется следующим образом: $\mu_S(x_i, u_i, x_{i+1})$, т. е. система на шаге i под воздействием соответствующего управления u_i переходит в следующее состояние x_{i+1} .

Как можно заметить из связи этих уравнений, решением, т. е. нахождением оптимальной последовательности управлений, будет уравнение

$$\mu_{N+1}(x) = \max_x \max_u \min\{\mu_S(x_i, u, x_{i+1}), \mu_N(x_i)\}.$$

Точное решение данного уравнения для каждого шага или стадии позволит нам найти оптимальное управление многостадийным или многошаговым производственным процессом.

Библиографический список

1. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления. М.: Наука, 1969. 118 с.
2. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов: учебное пособие. СПб: Лань, 2016. 192 с.
3. Голубева А.А., Гриценко Ю.Б. Гибридные алгоритмы параметрической идентификации нечетких систем // Перспективы развития информационных технологий. 2013. № 11. С. 18–21.

4. Палюх Б.В., Ветров А.Н., Егерова И.А. Архитектура интеллектуальной системы оптимального управления эволюцией многостадийных процессов в нечеткой динамической среде // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30. № 4. С. 619–624.

5. Ding J. et al. A survey of ai-enabled dynamic manufacturing scheduling: From directed heuristics to autonomous learning // ACM Computing Surveys. 2023. Т. 55. № 14s. С. 1–36.

6. Dzyuba S.M., Paluch B.V., Egereva I.A. On the optimal control of fuzzy multistage processes // Proceedings of the 12th All-Russian Conference on Control Problems. Moscow: ICS RAS, 2014. P. 3968–3972.

7. Pedro J.O., Hynek J.P. Real-Time Fuzzy Logic Control of Two-Link Flexible Manipulators // Journal of Mechatronics and Robotics. 2023. № 1. С. 48-62

OPTIMIZATION OF CONTROL OF FUZZY DYNAMIC SYSTEMS IN PRODUCTION

V.V. Borovik, V.V. Alekseev

Abstract. The article discusses methods for optimizing the management of production processes using mathematical models. The variants of working with mathematical models, namely with fuzzy dynamical systems in the framework of multistage and multistep processes, are analyzed. An algorithm for constructing optimal control of multistep and multistage processes within the framework of constructing a fuzzy dynamic system is proposed.

Keywords: fuzzy dynamic systems, production processes, multistep processes, multistage processes.

Об авторах:

Боровик Владимир Владимирович – студент магистратуры по направлению «Информационные системы», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: refhesx@mail.ru

Алексеев Владимир Владимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных систем ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: alv1974@mail.ru

About the authors:

Borovik Vladimir Vladimirovich – Master's student in Information Systems, Tver State Technical University, Tver. E-mail: refhesx@mail.ru

Alekseev Vladimir Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems, Tver State Technical University, Tver. E-mail: alv1974@mail.ru