

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.942

doi:10.30987/2658-6436-2022-3-84-93

УПРАВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Азамат Матифулаевич Джамбеков

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

dzhambekovam@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8768-9474>

Аннотация. Целью исследования является научное описание задачи управления непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности. Задачей, решению которой посвящена статья, является разработка подхода к управлению непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности. Методами исследования являются методы теории нечетких множеств, теории автоматического управления, теории принятия решений в нечетких условиях, оптимизации и моделирования. Новизна работы состоит в том, что предложен подход к управлению непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности, который не зависит от природы рассматриваемых непрерывных технологических процессов. Приведена общая постановка задачи управления непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности. В общем виде описан каждый из этапов решения задачи управления непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности. Результатами исследования являются постановка задачи управления непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности, описание схемы решения данной задачи и применение данной схемы для конкретного непрерывного технологического процесса с целью определения оптимальных управлений. Выводы: предложенный подход к управлению непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности может быть использован для различных непрерывных технологических процессов.

Ключевые слова: непрерывный технологический процесс, лицо, принимающее решение, теория нечетких множеств, функция принадлежности, обобщенный критерий оптимальности, математическая модель, лингвистическая переменная, каталитический реформинг

Для цитирования: Джамбеков А.М. Управление непрерывными технологическими процессами в условиях неопределенности // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. №3 (17). С. 84-93. doi: 10.30987/2658-6436-2022-3-84-93.

Original article

Open Access Article

CONTROLLING CONTINUOUS TECHNOLOGICAL PROCESSES UNDER UNCERTAINTY

Azamat Matifulaevich Dzhambekov

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

e-mail: dzhambekovam@yandex.ru

Abstract. The aim of the study is a scientific description of continuous technological process control under uncertainty. The article is devoted to developing an approach to the control of continuous technological processes under uncertainty. Research methods are the methods of fuzzy set theory, automatic control theory, decision theory in fuzzy conditions, optimization and modelling. The novelty of the work lies in the fact that an approach to controlling continuous technological processes under conditions of uncertainty is proposed, which does not depend on the nature of the considered continuous technological processes. The general statement of the problem of controlling continuous technological processes under uncertainty is given. In general, each of the stages of solving the problem of controlling continuous technological processes under uncertainty is described. The study results are formulating the problem of controlling continuous technological processes under uncertainty, describing the scheme for solving this problem and applying this scheme for a specific continuous technological process to determine optimal controls. Findings: the proposed approach to the control of continuous technological processes under uncertainty can be used for various continuous technological processes.

Keywords: continuous technological process; decision maker, theory of fuzzy sets, membership function, generalized optimality criterion, mathematical model, linguistic variable, catalytic reforming

For citation: Dzhambekov A. D. Controlling continuous technological processes under uncertainty. Automation and modeling in design and management, 2022, no. 3 (17). pp. 84-93. doi: 10.30987/2658-6436-2022-3-84-93.

Введение

На сегодняшний день актуально направление, связанное с повышением эффективности технологических процессов разработкой эффективных систем управления [1]. Большой вклад в экономическое развитие России вносят непрерывные технологические процессы (НТП) (химические; нефтяные; газовые; биологические; пищевые и т.д.) [2]. Управление НТП осуществляется в условиях наличия неконтролируемых возмущений (неопределенности) [3]. Проблема управления НТП в условиях неопределенности связана с отсутствием единого подхода, не зависящего от природы НТП [4].

Для компенсации возмущений используется экспертная информация от лица, принимающего решение (ЛПР). Четкая (числовая) экспертная информация, обрабатываемая с использованием традиционных математических методов, используется для определения оптимальных управляющих воздействий без применения методов теории нечетких множеств (ТНМ). Применять данные методы необходимо, когда экспертная информация является нечеткой (нечисловой), выраженной в виде словесных высказываний типа «активность катализатора должна быть выше средней», «состояние печи должно быть лучше среднего» и пр.

В качестве метода ТНМ используется схема Беллмана-Заде, при которой данные высказывания преобразуются в нечеткие цели и ограничения. По данной схеме конфликт между нечеткими целями и ограничениями дает область оптимальных решений нечеткого решения, из которых выбирается такое решение, при котором функция принадлежности (ФП) нечеткого решения достигает максимума. В случае комбинации четкой и нечеткой экспертной информации сначала используется нечеткая информация для словесного описания нечетких целей и ограничений, затем задается четкая экспертная информация в качестве числовых оценок ЛПР по значениям параметров, при которых выполняются данные нечеткие цели и ограничения [5].

Необходим учет всей достоверной четкой и нечеткой информации с целью повышения эффективности управления НТП с достижением минимума целевой функции. В качестве целевой функции может выступать один показатель (себестоимость; прибыль; экологический показатель и пр.) или комбинация показателей, сведенных в единый показатель по определенному математическому правилу (линейная свертка; квадратичная форма; интегральное соотношение и т.д.).

Постановка задачи

Рассмотрим управление НТП с целевой функцией в виде линейной свертки показателей (1).

$$J = k_1 J_1 + k_2 J_2 + \dots + k_n J_n = \sum_{i=1}^n k_i J_i, \quad (1)$$

где J – обобщенный критерий оптимальности (ОКО); J_i – частный критерий; k_i – весовой коэффициент частного критерия J_i ; n – количество критериев; $i = \overline{1, n}$; $\sum_{i=1}^n k_i = 1$; $0 < k_i < 1$.

Сформулируем задачу управления НТП (2): отыскать оптимальные управления, способствующие достижению минимума ОКО, учитывая воздействие возмущений V и заданные ограничения (3).

$$F(W, V, A, U) = \min_U J, \quad (2)$$

$$\underline{W}_h \leq W_h \leq \overline{W}_h, h = \overline{1, c};$$

$$\underline{V}_j \leq V_j \leq \overline{V}_j, j = \overline{1, d};$$

$$\underline{A}_k \leq A_k \leq \overline{A}_k, k = \overline{1, p}; \quad (3)$$

$$\underline{U}_l \leq U_l \leq \overline{U}_l, l = \overline{1, q}.$$

где W – вектор выходов; V – вектор возмущений; A – вектор входов; U – вектор управлений.

Частные критерии в (1) представляют собой нормированные величины выходных переменных по максимальному W_i^{max} (если требуется минимизировать выходную переменную W_i) или минимальному W_i^{min} (если требуется максимизировать выходную переменную W_j) значениям (4).

Решение задачи управления НТП осуществляется с учетом предложенного ОКО (1). Необходимо построение адекватной математической модели (ММ) НТП для установления математической функциональной связи между ОКО и управлениями.

В формальном представлении ММ НТП показана в (5).

$$W = \Psi(V, A, U), \quad (5)$$

где Ψ – образующая ММ НТП система уравнений.

На сегодняшний день распространены методы построения ММ НТП: аналитический, экспериментальный, экспериментально-аналитический. Ввиду того, что большая часть НТП не представляют собой новые объекты для исследования, построение ММ НТП должно осуществляться на основе экспериментально-аналитического метода [6].

Выделим последовательность разработки ММ НТП:

- определение упрощений и допущений;
- разработка диаграммы переменных НТП (при необходимости);
- разработка ММ НТП;
- проверка на адекватность ММ НТП.

Особенность разработки ММ НТП в условиях неопределенности заключается в наличии качественной информации, которая содержится в векторах входов A и возмущений V . В [7] предложен учет данной информации в ММ процесса в качестве лингвистических переменных (ЛП) для использования накопленного опыта операторов и технологов.

Вместо измерения переменных обычными способами они вводятся оператором в виде типовых значений ЛП: низкое N ; ниже среднего ZN ; среднее Z ; выше среднего ZP ; высокое P . На основе ТНМ для каждой ЛП НТП определяются ФП.

Благодаря использованию ЛП становится возможным использование качественной информации, оцениваемой оператором-технологом, вместо использования большого объема трудно измеримой количественной информации. Например, благодаря использованию ЛП «качество сырья» отпадает необходимость в трудно доступном измерении физико-химических параметров сырья: плотности; молярной массы; углеводородного и фракционного состава и пр. [8].

Вектор выходных переменных W включает различные числовые показатели. Для наглядности отображения взаимосвязей возможно построение сетевых диаграмм переменных, характеризующих данные показатели. После разработки данных диаграмм необходима разработка ММ НТП [5].

Математические выражения для определения выходных переменных НТП составляются на основе сетевых диаграмм и анализа зависимостей между переменными, характеризующими выходные переменные [9].

Разработанные математические функциональные зависимости, служащие для определения выходных переменных НТП объединяются в ММ НТП, представленную в виде системы уравнений Ψ . Можно выделить основные выражения системы Ψ в виде совокупности $(n + 1)$ уравнений (6).

$$\begin{cases} J = k_1 J_1 + k_2 J_2 + \dots + k_n J_n, \\ J_1 = f_1(W_1) = F_1(V, A, U), \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ J_n = f_n(W_n) = F_n(V, A, U). \end{cases} \quad (6)$$

Для проверки адекватности ММ НТП необходимо проверить адекватность выражений, определяющих частные критерии в (6). В зависимости от типа математических выражений выбираются методы проверки их адекватности. Если выражения являются адекватными, делаем вывод об адекватности ММ НТП, в противном случае – о неадекватности ММ НТП.

После подтверждения адекватности ММ НТП становится возможным определение ОКО в соответствии с (6). Сначала задаются необходимые исходные данные для определения частных критериев; затем определяется значение ОКО как взвешенная сумма частных критериев с заданными ЛПР весовыми коэффициентами.

Учитывая (2), необходимо определить управления, способствующих достижению минимума ОКО.

Для решения задачи управления НТП необходимо решить следующие задачи:

- разработать комбинированную процедуру и осуществить выбор методов для оптимизации НТП при неопределенности;
- выполнить разработку алгоритмов для поиска начальной точки оптимизации и для оптимизации НТП в условиях неопределенности;
- применить алгоритм оптимизации НТП в условиях неопределенности при вычислении оптимальных управлений конкретного НТП.

Разработка комбинированной процедуры и выбор методов оптимизации НТП в условиях неопределенности

При наличии ЛП в векторах входов A и возмущений V необходимо совершенствовать управление НТП путем учета нечетких целей и ограничений при определении оптимальных управлений. Нечетким вариантом цели управления НТП может быть высказывание «ОКО должен стремиться к минимуму». Чем больше экспертной информации о процессе, тем точнее задаются цели и ограничения при управлении НТП. Применение схемы Беллмана-Заде обеспечивает определение управлений в нечетких условиях [10].

Предлагаемое решение основано на компенсации возмущений системой управления на основе учета экспертной информации об объекте и минимизации ОКО.

Предлагается управлять НТП таким образом, при котором оптимизация НТП осуществляется на основе экспертной информации, учитывающей воздействия возмущений, и начальной точкой оптимизации являются оптимальные управления, определенные без учета возмущений.

Выделена комбинированная процедура оптимизации НТП, состоящая из двух этапов:

- 1) отыскание управлений U , способствующих достижению минимума ОКО, не учитывая воздействие возмущений V ;
- 2) отыскание оптимальных управлений U^* , способствующих достижению минимума ОКО, учитывая воздействие возмущений V .

Второй этап использует управления U для задания параметров нечеткой цели управления НТП.

Алгоритмом для поиска начальной точки оптимизации НТП является последовательность поиска управлений U , способствующих достижению минимума ОКО, не учитывая воздействие возмущений V .

Алгоритмом оптимизации НТП при неопределенности является последовательность для поиска оптимальных управлений U^* , способствующих достижению минимума ОКО, учитывая воздействие возмущений V .

Для решения задачи управления (2) необходимо выполнить обзор существующих методов оптимизации с последующим выбором наилучшего из них.

Необходим анализ задачи (2) поиска минимума ОКО при ограничениях (3) и ММ НТП. Для начала важным является рассмотрение особенностей ОКО (1).

Первое уравнение из (6) задает ОКО в виде линейной комбинации частных критериев с соответствующими коэффициентами линейной комбинации (весовыми коэффициентами частных критериев).

В зависимости от свойств частных критериев как математических функций (дифференцируемости; выпуклости; непрерывности и пр.) выбираются подходящие методы оптимизации НТП. Если один или оба частных критерия не обладают выпуклостью, непрерывностью, дифференцируемостью для отыскания минимума ОКО доступны только методы прямого поиска, не связанных с дифференцированием целевой функции. Если все частные критерии обладают выпуклостью, непрерывностью, дифференцируемостью для отыскания минимума ОКО достаточно использовать дифференциальное исчисление функций нескольких переменных [9].

Комбинация методов прямого поиска и штрафных функций позволяет отыскивать решения задачи условной оптимизации (2).

Безусловный поиск минимума ОКО может быть осуществлен с использованием различных методов: Нелдера-Мида, Хука-Дживса, Розенброка, Монте-Карло, поиска по симплексу, сопряженных направлений и т.д. При этом ни один из данных методов не способен так быстро отыскивать экстремум, как с этим справляются градиентные методы.

ФП $\mu_D(u_1, u_2, \dots, u_q)$. Из неё определяются координаты $(u_1^{opt}, u_2^{opt}, \dots, u_q^{opt})$, при которых имеет максимум ФП нечеткого решения (10).

$$\begin{aligned} \mu_D(u_1^{opt}, u_2^{opt}, \dots, u_q^{opt}) &= \max \mu_D(u_1, u_2, \dots, u_q) = \\ &= \max \min \left(\mu_{G1}(u_1, u_2, \dots, u_q), \mu_{G2}(u_1, u_2, \dots, u_q), \dots, \mu_{Ge}(u_1, u_2, \dots, u_q), \right. \\ &\quad \left. \mu_{C1}(u_1, u_2, \dots, u_q), \mu_{C2}(u_1, u_2, \dots, u_q), \dots, \mu_{Ch}(u_1, u_2, \dots, u_q) \right). \end{aligned} \quad (10)$$

При невозможности определения оптимальных управлений, при которых имеет максимум ФП нечеткого решения при заданном универсальном множестве управлений, решением задачи управления НТП является вектор управлений $(u_1^0, u_2^0, \dots, u_q^0)$, полученный на основе алгоритма для поиска начальной точки оптимизации НТП.

Применение алгоритма для оптимизации НТП в условиях неопределенности при вычислении оптимальных управлений конкретного НТП

Рассмотрим пример применения алгоритма для оптимизации НТП при неопределенности с целью определения оптимальных управлений процесса каталитического риформинга (КР) [9].

Из алгоритма для поиска начальной точки для оптимизации НТП для КР найден минимум ОКО $J_0 = 0,970$ и управления: расход сырья $u_1^0 = 160$ м³/ч и расход топливного газа $u_2^0 = 950$ м³/ч. Из регламента КР заданы диапазоны изменения управлений: для расхода сырья $u_1 \in [130; 190]$ м³/ч и для расхода топливного газа $u_2 \in [750; 1150]$ м³/ч.

Нечеткая цель \tilde{G} рассмотрена нечетким множеством путем задания гауссовой ФП (11), показанной на рис. 1.

$$\mu_G(u_1, u_2) = \exp\left(-0,01 \cdot \left((u_1 - 160)^2 + 0,1 \cdot (u_2 - 950)^2\right)\right), \{u_1, u_2\} \in Z_U. \quad (11)$$

Точка (160;950) связана с минимумом ОКО.

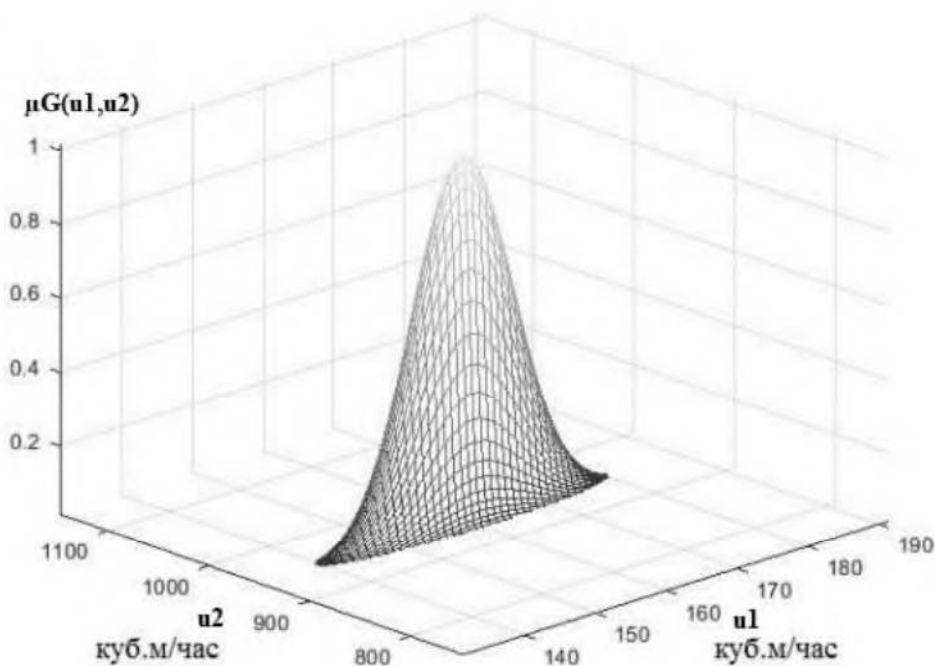


Рис. 1. Функция принадлежности нечеткой цели
Fig. 1. Fuzzy goal membership function

Нечеткое ограничение \tilde{C}_1 рассмотрено нечетким множеством путем задания сигмоидальной ФП (12), показанной на рис. 2.

$$\mu_{\tilde{C}_1}(u_1, u_2) = [1 + \exp(-0,05 \cdot (u_1 - 150 + 0,1 \cdot (u_2 - 850)))]^{-1}, \{u_1, u_2\} \in Z_U. \quad (12)$$

Точка (150;850) связана с управлениями, рекомендованными ЛПР с целью компенсации возмущения – качества сырья QR .

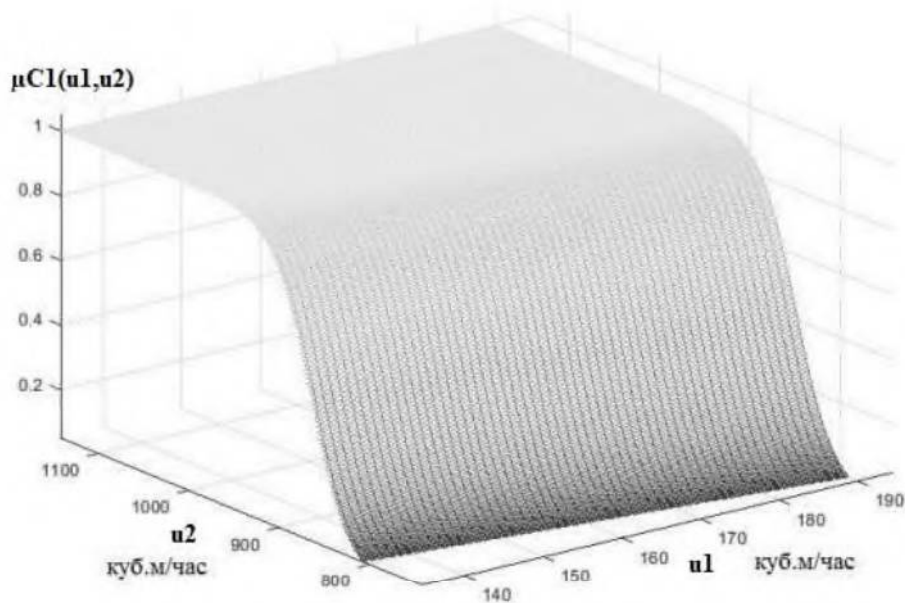


Рис. 2. Функция принадлежности нечеткого ограничения 1
 Fig. 2. Membership function of fuzzy constraint 1

Нечеткое ограничение \tilde{C}_2 рассмотрено нечетким множеством путем задания сигмоидальной ФП (13), показанной на рис. 3.

$$\mu_{\tilde{C}_2}(u_1, u_2) = [1 + \exp(-0,08 \cdot (170 - u_1 + 0,1 \cdot (1050 - u_2)))]^{-1}, \{u_1, u_2\} \in Z_U. \quad (13)$$

Точка (170;1050) связана с управлениями, рекомендованными ЛПР с целью компенсации возмущения – качества топливного газа QFG .

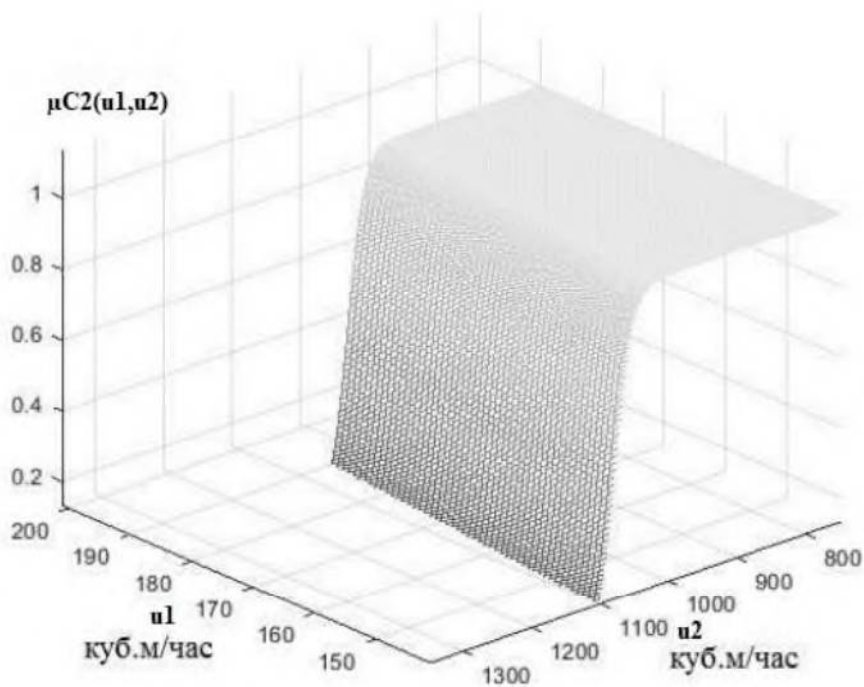


Рис. 3. Функция принадлежности нечеткого ограничения 2
 Fig. 3. Membership function of fuzzy constraint 2

Найдем ФП нечеткого решения \tilde{D} в виде минимума над ФП нечеткой цели \tilde{G} и нечетких ограничений \tilde{C}_1, \tilde{C}_2 (14).

$$\begin{aligned} \mu_D(u_1, u_2) &= \min(\mu_G(u_1, u_2), \mu_{C1}(u_1, u_2), \mu_{C2}(u_1, u_2)) = \\ &= \min \left[\begin{array}{l} \exp(-0,01 \cdot ((u_1 - 160)^2 + 0,1 \cdot (u_2 - 950)^2)), \\ [1 + \exp(-0,05 \cdot (u_1 - 150 + 0,1 \cdot (u_2 - 850)))]^{-1}, \\ [1 + \exp(-0,08 \cdot (170 - u_1 + 0,1 \cdot (1050 - u_2)))]^{-1} \end{array} \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Иллюстрация выбора оптимального расхода сырья показана на рис. 4, выбора оптимального расхода топливного газа – на рис. 5.

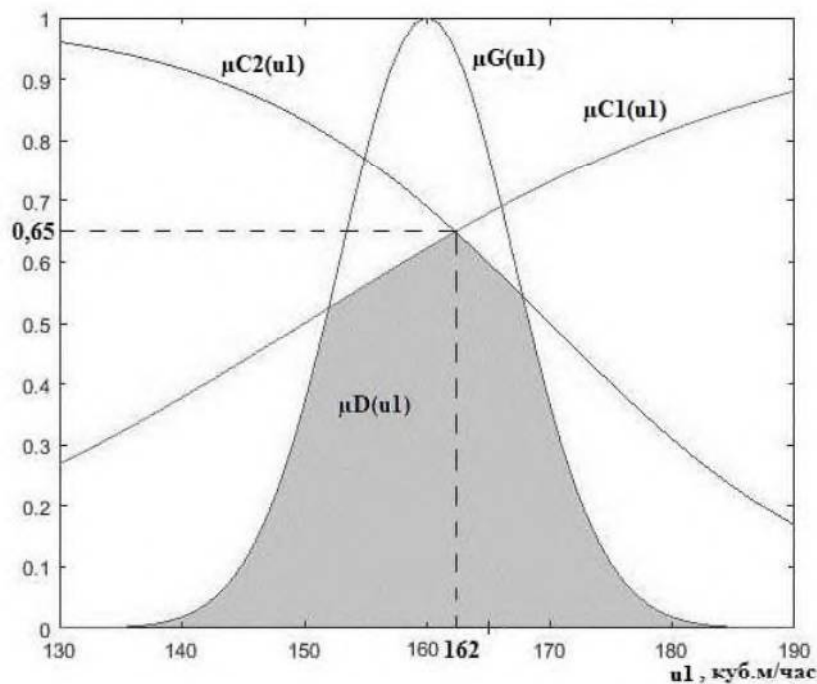


Рис. 4. Поиск оптимального расхода сырья по схеме Беллмана-Заде
 Fig. 4. Search for the optimal consumption of raw materials according to the Bellman-Zadeh scheme

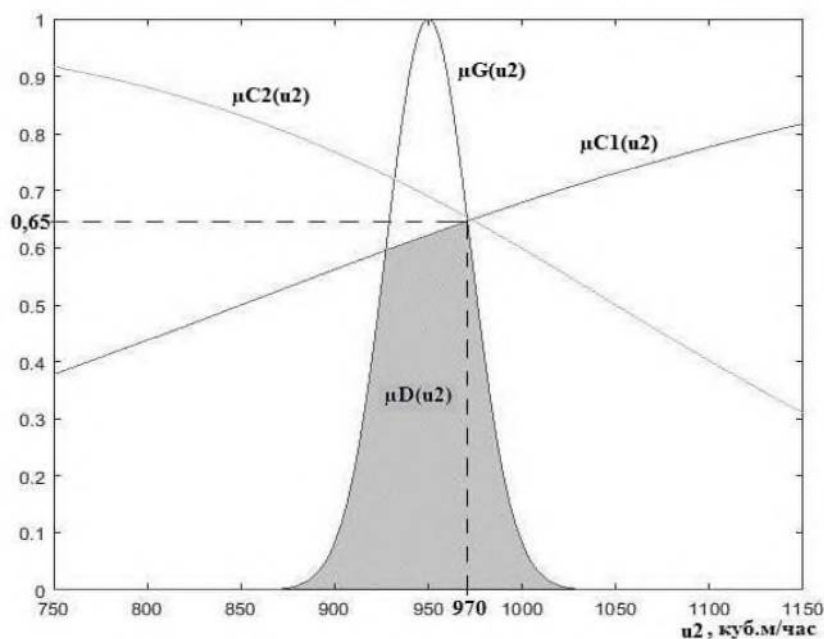


Рис. 5. Поиск оптимального расхода топливного газа по схеме Беллмана-Заде
 Fig. 5. Search for optimal fuel gas consumption according to the Bellman-Zadeh scheme

Посредством алгоритма для оптимизации НТП при неопределенности для КР вычислен вектор оптимальных управлений (табл. 1).

Таблица 1

Результат оптимизации НТП в условиях неопределенности

Table 1

Result of optimization of continuous technological process in the undetermined conditions

Вектор оптимальных управлений КР	
Оптимальный расход сырья u_1^{opt} , м ³ /ч	162
Оптимальный расход топливного газа u_2^{opt} , м ³ /ч	970
Значение максимума ФП нечеткого решения μ_{max}	0,65

Значит, расход сырья 162 м³/ч и расход топливного газа 970 м³/ч способствуют достижению нечеткой цели \tilde{G} при заданных нечетких ограничениях \tilde{C}_1, \tilde{C}_2 .

Отметим преимущество для использования схемы Беллмана-Заде – это условность разделения на цели и ограничения. Это связано с тем, что если в (8) поменять местами цель и ограничения, то от этого не изменится нечеткое решение.

Заключение

Таким образом, сформулирована задача управления НТП в условиях неопределенности. Описаны этапы решения задачи независимо от природы НТП. На примере КР вычислены оптимальные управления с использованием алгоритма оптимизации НТП в условиях неопределенности. В результате учета четкой и нечеткой экспертной информации становится возможным повышение эффективности управления НТП в условиях воздействия неконтролируемых возмущений (неопределенности). Результаты работы могут быть применены для решения задач по управлению НТП различной природы при неопределенности.

Список источников:

References:

1. Щагин А.В. Проектирование распределенных систем управления технологическими процессами непрерывных технологий // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2005. № 4-5. С. 161-167.
2. Агеев Н.Б., Гусейнов Т.А. Задача оперативного управления процессом регулирования неравномерности газопотребления в системе «газодобыча - трубопроводный транспорт – распределение» // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2010. № 3. С. 67-70.
3. Пешехонов А.А., Зайцев Р.В. Импульсное автоматическое управление с регулируемой подачей сыпучих материалов в непрерывных технологических процессах // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2011. № 12 (38). С. 75-79.
4. Яковис Л.М. Альтернативные подходы к управлению непрерывными технологическими процессами // Автоматизация в промышленности. 2019. № 6. С. 41-46.
5. Аникин М.С., Шайкин А.Н., Савицкая Т.В. Разработка алгоритма многошагового принятия решений на основе нечетких сетей Петри для управления безопасностью непрерывных технологических процессов // Успехи в химии и химической технологии. 2006. Т. 20. № 1 (59). С. 47-52.
6. Математическое моделирование каталитических процессов переработки углеводородного сырья / А.В. Кравцов, Э.Д. Иванчина, Е.Н. Ивашкина и др. // Катализ в промышленности. 2008. № 6. С. 41-46.
7. Проталинский О.М. Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов: монография. – Астрахань: Изд-во Астрах. гос. техн. ун-та, 2004. 183 с.
1. Shchagin A.V. Design of Distributed Control Systems for Continuous Technology Technological Processes. Proceedings of Universities. Electronics. 2005; 4-5: 161-167.
2. Ageev N.B., Huseynov T.A. The Task of Operational Management of the Process of Regulating the Gas Consumption Unevenness in the System «Gas Production – Pipeline Transport – Distribution». Equipment and Technologies for the Oil and Gas Complex. 2010;3:67-70.
3. Peshekhonov A.A., Zaitsev R.V. Impulse Automatic Control with an Adjustable Supply of Bulk Materials in Continuous Technological Processes. Bulletin of St PbSIT(TU). 2011;12 (38):75-79.
4. Yakovis L.M. Alternative Approaches to the Controlling Continuous Technological Processes. Automation in Industry. 2019.6:41-46.
5. Anikin M.S, Shaikin A.N., Savitskaya T.V. Developing an Algorithm for Multi-Step Decision Making Based on Fuzzy Petri Nets for Safety Control of Continuous Technological Processes. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2006;20;1(59):47-52.
6. Kravtsov A.V., Ivanchina E.D., Ivashkina E.N., Kostenko A.V., Yuriev E.M., Beskov V.S. Mathematical Modelling of Catalytic Processes of Raw Hydrocarbon Processing. Catalysis in Industry. 2008;6:41-46.
7. Protalinsky O.M. The Use of Artificial Intelligence Methods in the Automation of Technological Processes. Astrakhan: Astrakhan State University Publishing House; 2004.

8. Плехов В.Г., Кондрашов С.Н., Шумихин А.Г. Применение многоуровневой математической модели процесса каталитического риформинга бензиновых фракций в системе управления промышленными установками // Автоматизация в промышленности. 2009. № 7. С. 37-42.

9. Матвейкин В.Г., Дмитриевский Б.С., Кокуев А.Г., Джамбеков А.М. Задача управления процессом каталитического риформинга и метод ее решения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 59-67.

10. Dzhambekov A.M., Fyodorova O.V. Optimal control of the process of catalytic reforming of petrol fractions // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2018. № 2. С. 34-42.

8. Plekhov V.G., Kondrashov S.N., Shumikhin A.G. Application of a Multi-Level Mathematical Model of Catalytic Reforming Process of Gasoline Fractions in the Control System of Industrial Installations. Automation in Industry. 2009;7:37-42.

9. Matveikin V.G., Dmitrievsky B.S., Kokuev A.G., Dzhambekov A.M. The Task of Controlling the Process of Catalytic Reforming and the Method of Its Solution. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2019;330 (6):59-67.

10. Dzhambekov A.M., Fyodorova O.V. Optimal Control of the Process of Catalytic Reforming of Petrol Fractions. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Ser. Management, Computer Science and Informatics. 2018;2:34-42.

Информация об авторах

Азамат Матифулаевич Джамбеков

кандидат технических наук, преподаватель отделения «Связь и телекоммуникации» факультета среднего профессионального образования

Information about authors:

Azamat Matifulaevich Dzhambekov

Candidate of Technical Sciences, Lecturer in the Department «Communications and Telecommunications» of the Faculty of Secondary Vocational Education

Статья поступила в редакцию 05.05.2022; одобрена после рецензирования 19.05.2022; принята к публикации 26.05.2022.

The article was submitted 05.05.2022; approved after reviewing 19.05.2022; accepted for publication 26.05.2022.

Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, профессор, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Bryansk State Technical University.