

A. K. МУХАНБЕТКАЛИЕВА, Б. Б. ОРАЗБАЕВ

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОСТАНОВОК ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА РЕЖИМОВ РАБОТЫ НЕФТЕПРОВОДА И РАЗРАБОТКА ДИАЛОГОВЫХ АЛГОРИТМОВ ИХ РЕШЕНИЯ В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ

I. Введение. При проектировании и управлении технологическими объектами возникают задачи выбора оптимальных параметров проектируемого объекта или оптимальных режимов работы функционирующей производственной системы. Формализация и математическая постановка таких задач осложнена тем, что проектируемые или управляемые производственные объекты, как правило, относятся к сложным системам, характеризуются многокритериальностью и недостаточностью, а также нечеткостью исходной информации, необходимой для математического описания.

В последние времена в исследованиях и публикациях активно обсуждаются эти проблемы и подходы к их решению. В исследованиях [1] обсуждены проблемы выбора оптимальной трассы магистральных нефтепроводов, проблемы постановки и решения многокритериальных задач выбора оптимальных параметров и режимов работы технологических агрегатов рассмотрены в работах [2, 3]. Исследуемые и решаемые в данной работе задачи выбора оптимальных режимов работы технологических агрегатов магистральных нефтепроводов связаны с важными научными и практическими заданиями теории выбора и принятия решений, теории нечетких множеств и возможностей, а также методами математического моделирования и многокритериальной оптимизации.

Из перечисленных выше проблем, в данной научной статье исследуются вопросы формализации и постановки задач многокритериального выбора оптимальных режимов работы технологических агрегатов нефтепровода в нечеткой среде, а также разработки алгоритмов их решения. При постановке и решении проблемы используются идеи компромиссных схем принятия решений, модифицированные и адаптированные к условиям нечеткости исходной информации [4]. Так как, многие технологические объекты в производственных условиях характеризуются

многокритериальностью и нечеткостью некоторой части исходной информации и критериями описания, исследуемые и решаемые задачи являются весьма актуальными.

II. Постановка задачи. Целью данной работы является формализация и постановка новых задач многокритериального выбора и принятия оптимального решения, а также разработка эффективных алгоритмов их решения, работающих в диалоговом режиме. Для достижения поставленной цели и решения проблем разработанных алгоритмов используются идеи детерминированных принципов оптимальности и компромиссных схем принятия решений, модифицированные и адаптированные к условиям нечеткости исходной информации на основе методов теории нечетких множеств и возможностей.

III. Результаты. На практике часто задача выбора параметров производственного объекта характеризуется многокритериальностью и нечеткостью исходной информации, которые усложняют процедуру постановки и решения задачи выбора оптимальных режимов работы технологических агрегатов магистральных нефтепроводов. При многокритериальности и нечеткости части доступной информации исходную задачу оптимизации формализуем в виде многокритериальной задачи нечеткой оптимизации. Оптимизация заключается в оценке возможных вариантов решений, что позволяет выбрать наилучшего из них по заданным экономико-экологическим критериям [4].

Пусть $f(x) = f_1(x), \dots, f_m(x)$ вектор критериев, оценивающий качество работы технологического комплекса нефтепровода. Например, $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$ – соответственно, объем перекачки, прибыль и т.д.; $f_{k+1}(x), f_{k+2}(x), \dots, f_m(x)$ – локальные критерии оценок экологической безопасности, например, затраты на природоохранные мероприятия, ущерб от загрязнения окружающей среды нефтью, нефтепродуктами и отходами транспортировки и т.д. Каждый из m критериев

зависит от вектора п параметров (управляющих воздействий, режимных параметров) $x = (x_1, \dots, x_n)$, например: температуры и давления; реологические свойства сырья, расхода реагентов, и т.д. На практике всегда имеются различные ограничения (экономические, технологические, финансовые, экологические), которые можно описать некоторыми функциями – ограничениями $\varphi_q \geq b_q$, $q=1, L$. Режимные, управляющие параметры также имеют свои интервалы изменения, задаваемые технологическим регламентом установки, требованиями природоохранных мероприятий: $x_j \in \Omega = [x_j^{\min}, x_j^{\max}]$ – нижний и верхний пределы изменения параметра x_j . Эти ограничения могут быть нечеткими ($\lesssim, \gtrsim, \equiv$).

Требуется выбрать наиболее эффективное (оптимальное) решение – режим работы технологического комплекса магистрального нефтепровода, обеспечивающее экстремальное значение вектора критерииев при выполнении заданных ограничений и учитывающее предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР) – руководителя, производственного персонала.

Сформулируем математическую постановку описанной задачи выбора оптимального решения по управлению нефтепроводом в условиях многокритериальности и нечеткости исходной информации.

Пусть имеется нормализованный вектор критерииев вида - $\mu_0(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^m(x))$ и L ограничений вида с нечеткими инструкциями $-f_q(x) \lesssim b_q$, $q=1, L$. Предположим, что функции принадлежности выполнения ограничений $\mu_q(x)$, $q=1, L$ для каждого ограничения построены в результате диалога с ЛПР, специалистами-экспертами. Пусть известны, весовой вектор, отражающий взаимную важность критерииев ($\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$) и ограничений ($\beta = (\beta_1, \dots, \beta_L)$) на момент постановки задачи [5].

Тогда задачу выбора оптимальной трассы и режимов работы магистральных нефтепроводов по экономико-экологическим критериям можно записать в виде следующей задачи принятия решений в нечеткой среде:

$$\max_{x \in X} \mu_0^i(x), i = 1, m,$$

$$X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \mu_q(x), q = 1, L \right\}$$

на основе идеи метода главного критерия и принципа Парето оптимальности приведенную общую задачу оптимизации с несколькими критериями и ограничениями можно записать в следующей постановке:

$$\max_{x \in X} \mu_0^1(x), \quad (1)$$

$$X = \left\{ x : x \in \Omega \wedge \arg(\mu_0^i(x) \geq \mu_r^i) \wedge \arg \max_{x \in \Omega} \sum_{q=1}^L \beta_q \mu_q(x) \wedge \sum_{q=1}^L \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, \right. \\ \left. i = 2, m, q = 1, L \right\}, \quad (2)$$

где \wedge – логический знак «и», требующий, чтобы все связываемые им утверждения были истинны, μ_r^i – граничные значения для локальных критерииев $\mu_r^i(x)$, $i = 2, m$, задаваемые ЛПР.

Меняя μ_r^i и вектор важности ограничений $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_L)$, можно получить семейство решений задачи (1)-(2) - $x^*(\mu_r, \beta)$. Выбор наилучшего решения осуществляется на основе диалога с ЛПР. Для решения задачи многокритериального выбора режимов работы магистрального нефтепровода в постановке (1)-(2) в данной работе предлагается следующий диалоговый алгоритм.

Алгоритм ГК-ПО:

1. Задается p_q , $q=1, L$ – число шагов по каждой q -ой координате и ряд приоритета для локальных критерииев $I_k = \{1, \dots, m\}$ (главный критерий должен иметь приоритет 1) и вводится значение весового вектора ограничений $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_L)$, учитывающее важность локальных ограничений.

2. ЛПР назначаются граничные значения (ограничения) локальных критерииев μ_r^i , $i = 2, m$.

3. Определяются $h_q = 1/p_q$, $q=1, L$ – величины шагов для изменения координат весового вектора β .

4. Построение набора весовых векторов $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N, N = (p_1+1)(p_2+1)\dots(p_L+1)$, варьированием координат на отрезках $[0, 1]$ с шагом h_q .

5. Определяется терм-множество $T(X, Y)$ и строятся функции принадлежности выполнения ограничений $\mu_q(x)$, $q = 1, L$.

6. Максимизируется главный критерий (1) на множестве X , определяемом по (2), находятся

решения: $x^*(\mu_r^i, \beta)$, $\mu_0^1(x^*(\mu_r^i, \beta)), \dots, \mu_0^m(x^*(\mu_r^i, \beta))$; $\mu_1(x^*(\mu_r^i, \beta)), \dots, \mu_L(x^*(\mu_r^i, \beta))$, $i = \overline{2, m}$.

7. Решение предъявляется ЛПР. Если текущие результаты не удовлетворяют ЛПР, то им назначаются новые значения μ_r^i , $i = \overline{2, m}$ и (или) корректируются значения β , осуществляется возврат к пункту 3. Иначе, перейти к пункту 8.

8. Поиск решения прекращается, выводятся результаты окончательного выбора ЛПР: значения вектора управления $x^*(\mu_r^i, \beta)$; значения локальных критериев $\mu_0^1(x^*(\mu_r^i, \beta)), \dots, \mu_0^m(x^*(\mu_r^i, \beta))$ и степень выполнения ограничений $\mu_1(x^*(\mu_r^i, \beta)), \dots, \mu_L(x^*(\mu_r^i, \beta))$.

Рассмотрим производственную ситуацию, когда приходится ставить задачу нечеткого выбора оптимального решения при наличии нескольких целевых функций (критериев) и ограничений. $\mu(x) = (\mu_0^1(x), \dots, \mu_0^m(x))$, известном ряде приоритета $I = \{1, \dots, m\}$ или известном весовом векторе взаимной важности целевых функций (локальных критериев) $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$, $\gamma_i \geq 0$, $i = \overline{1, m}$, $\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_m = 1$.

Тогда можно привести следующую постановку многокритериальной задачи выбора и принятия решений:

$$\max_{x \in X} \mu_0^i(x), \quad i = \overline{1, m},$$

$$X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \sum_{q=1}^L \beta_q \mu_q(x) \Lambda \sum_{q=1}^L \beta_q = 1 \Lambda \beta_q \geq 0, q = \overline{1, L} \right\}.$$

Задача в такой постановке редко имеет решение, так как требует, чтобы m целевых функций достигали максимума в одной точке.

Универсальным выходом в этом случае является построение паретовского множества и выбор ЛПР из этого множества наилучшего решения:

$$\max_{x \in X} \mu_0(x), \quad \mu_0(x) = \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_0^i(x), \quad (3)$$

$$X = \left\{ x : \arg \max_{x \in \Omega} \sum_{q=1}^L \beta_q \mu_q(x) \Lambda \sum_{q=1}^L \beta_q = 1 \Lambda \beta_q \geq 0, q = \overline{1, L} \right\}. \quad (4)$$

Для решения задачи выбора (3)-(4) нами на основе идеи метода Парето оптимальности и теории возможностей получен новый алгоритм, работоспособный в нечеткой среде, который состоит из следующих пунктов:

Алгоритм ПО-ПО.

1. На основе экспертной оценки определить значений весового вектора, оценивающие взаимную важность локальных критериев (целевых функций) $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m)$, $\gamma_i \geq 0$, $i = \overline{1, m}$, $\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_m = 1$.

2. Задать p_q , $q = \overline{1, L}$ - число шагов по каждой q -ой координате.

3. Определить $h_q = 1/p_q$, $q = \overline{1, L}$ – величины шагов для изменения координат весового вектора β .

4. Построить набор весовых векторов $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N$, $N = (p_1 + 1)(p_2 + 1) \dots (p_L + 1)$, варьированием координат на отрезках $[0, 1]$ с шагом h_q .

5. Если $\mu_0^i(x)$, $i = \overline{1, L}$ и/или γ – определено нечетко, то для них построить терм-множество и функции принадлежности, для каждого ограничения построить функций принадлежности выполнения ограничений $\mu_q(x)$, $q = \overline{1, L}$.

6. Решить задачу (3)-(4): $\max_{x \in X} \mu_0(x) =$

$= \max_{x \in X} \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_0^i(x)$. на множестве X , определяемое по (4) и для различных значений весового вектора определить набор решения: значения вектора управления $-x^*(\gamma, \beta)$; значения локальных критериев $-\mu_0^1(x^*(\gamma, \beta)), \dots, \mu_0^m(x^*(\gamma, \beta))$ и степень выполнения ограничений $-\mu_1(x^*(\gamma, \beta)), \dots, \mu_L(x^*(\gamma, \beta))$.

7. Полученный набор решения предъявить ЛПР для анализа и выбора лучших.

Приведенные постановки новых задач многокритериального выбора и разработанные алгоритмы их решения основаны на модификации детерминированных методов многокритериальной оптимизации, компромиссных схем принятия решений и оптимизации. Полученные результаты являются обобщением развитием этих методов на случай нечеткости части исходной информации.

IV. Выводы. Таким образом, в научной статье получены новые постановки задач многокритериального выбора и оптимизации производственных объектов на примере технологических агрегатов магистрального нефтепровода, разработаны диалоговые алгоритмы решения поставленных задач. Разработанные алгоритмы основаны на идеях различных компромиссных схем (методы главного критерия, принципы Парето оптимальности) принятия решений, модифицированных для работы в нечеткой среде. Научная новизна результатов заключается в том, что задачи ставятся и решаются в нечеткой среде без предварительного преобразования к детерминированным задачам. Это обеспечивает использования собранной нечеткой информации полностью и получения более адекватного решения сложной производственной задачи при нечеткости исходной информации. Теоретическое значение работы заключается в развитии теории выбора и принятия решения, в обобщение этих теорий и методов оптимизации на более общий случай. Практическое значение работы определяется эффективным решением сложных производственных задач в условиях многокритериальности и нечеткости, которые не решаются или трудно решаются традиционными математическими методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакаев А.А., Олерящ Г.Б., Иванина Д.С. и др. Математическое моделирование при проектировании трубопроводов. Киев: Наукова думка, 1990.

2. Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Задачи и методы принятия решений. Многокритериальный нечеткий выбор. М.: МИСиС, 1995. 124 с.

3. Сериков Т.П., Оразбаева К.Н. Интенсификация технологических объектов нефтепереработки на основе математических методов. Монография. Алматы: Эверо, 2006. 150 с.

4. Тазабеков М.Н., Оразбаев Б.Б., Мухамбеткалиев К.И. Моделирование, оптимальное планирование и управление магистральными нефтепроводами. Алматы: Эверо, 2002. 118 с.

5. Rykov A.S., Orazbaev B.B., Kuznesov A.C. A Fuzzy Model of the Column in the Decision Making System for the control of Rectification Process // Magazine of the Romanian Society for Fuzzy Systems. 1991. V. 2, N 1. P. 5.

Резюме

Магистралды мұнай құбырлары мысалында технологиялық нысандарды басқару үшін шешім тандау және қабылдау есептері зерттелген. Зерттеу нысандары көпкритерийлікпен және анық еместікпен сипатталатындықтан, мәселелер айқын емес ортада көпкритерийлі есептер түрінде қойылған. Онтайлы принциптері мен шешім қабылдау компромисті схемаларын модификациялау арқылы мәселені шешу үшін есептердің жаңа математикалық қойылымдары алынып, оларды шешудің диалогты алгоритмдері құрылған.

Summary

In scientific article tasks of selection and making decision while managing of technological facilities on example of units of oil-trunk pipelines are researched. As object under research are characterized by multicriteriorability and very often are operating under uncertainty circumstances, initial tasks were formalized in a form of multicriterion tasks in fuzzy circumference. By way of modification of principles of optimality and compromised schemes of decision making, new mathematic sets of tasks were obtained and transaction oriented algorithms of their solution were developed.

Атырауский институт
нефти и газа

Поступила 10.06.08г.