

**Б. Б. ОРАЗБАЕВ¹, Ж. Ж. МОЛДАШЕВА^{1*}, Л. Л. ЛА¹, К. Н. ОРАЗБАЕВА²,
Ж. Н. ТУЛЕУОВ³, Б. Е. УТЕНОВА⁴**

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
г.Нур-Султан, Казахстан,

² Казахский университет экономики, финансов и международной торговли,
г.Нур-Султан, Казахстан,

³ Атырауский нефтеперерабатывающий завод,
г.Атырау. Казахстан

⁴ Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева,
г.Атырау. Казахстан

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ СТАНЦИИ ПОДОГРЕВА НЕФТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Исследованы проблемы построения математических моделей технологических объектов на примере трубчатых печей станции подогрева. На основе проведенных исследований транспортировки высоковязких нефтей по трубопроводам описана принципиально-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти. На основе модификации методов структурной и параметрической идентификации предложен алгоритм разработки моделей технологических объектов, характеризуемые нечеткостью выходных параметров. Предлагаемый алгоритм позволяет на основе множества уровня α теорий нечетких множеств адаптировать методов последовательного включения регрессоров и наименьших квадратов для работы в нечеткой среде. С помощью экспериментально-статистических методов и предлагаемого алгоритма разработаны модели трубчатых печей станции подогрева нефти. При этом модели, описывающие значения температуры и давления на выходе объекта, построены в виде регрессионных моделей, а модель оценки производительности построена в виде нечеткой модели. Для идентификации параметров моделей определения температуры и давления станции подогрева нефти использован метод наименьших квадратов, а для идентификации нечетких параметров оценки производительности станции исследуемой станции использован модифицированный метод наименьших квадратов. Новизна предлагаемого подхода к построению эффективных моделей в условиях нечеткости некоторой части исходной информации заключается в использовании математического аппарата теорий нечетких множеств, позволяющего использовать доступную нечеткую информацию в виде знания, опыта и интуиции экспертов. Это в свою очередь позволяет разработать более адекватных моделей в условиях нечеткости исходной информации.

Ключевые слова: математическая модель, станция подогрева нефти, высоковязкая нефть, магистральный нефтепровод, нечеткая информация, нечеткая модель, перекачка нефти.

Введение. Нефти, добываемые в месторождения Узень Мангышлакского полуострова, относятся к высоковязким и парафиносытым нефтям с содержанием парафинов до 6%, содержащие в своих составах много смол и асфальтенов. Запасы высоковязких нефтей полуострова Мангышлак и других регионов рассматриваются в качестве одного из важного составляющего сырьевой базы нефтяных запасов Казахстана [1].

* E-mail корреспондирующего автора: Zhadira1985@mail.ru

Для разработки этих месторождений применяются нетрадиционные методы извлечения нефти из пласта, подготовки и транспортировки по магистральным нефтепроводам до потребителей. Состояние нефтедобычи на месторождениях Узень в настоящее время является стабильным, имеет перспективу дальнейшего роста добычи нефти. Транспортировка высоковязких нефтей месторождения Узень осуществляется магистральным «горячим» нефтепроводом Узень-Актау-Атырау-Самара с протяженностью 1450 км. [2, 3].

Проанализируем основных технологий транспортировки высоковязких нефтей [4 – 7]. Следует отметить, при транспортировке высоковязких нефтей по трубопроводам возникает ряд проблем, связанные со значительными потерями энергии на трение, необходимостью промежуточных подогревов и пуско-остановочных операций из-за реологических свойств высоковязких нефтей и их физико-химического состава, которые зависят от температуры и режима течения. В работах [4, 5] исследованы способы и технологии транспортировки высоковязких нефтей, по трубопроводам, которые основаны на перекачке высоковязких нефтей по низковязкому пристенному слою с использованием методов волновых и тепловых воздействия, а также с использованием маловязких углеводородных разбавителей. А в работах [6, 7] исследованы особенности трубопроводного транспорта высокозастывающих нефтей, связанные их реологическими свойствами и способы регулирования этих свойств на основе комплексных методов воздействия.

На практике известно множество методов перекачки нефтей, в том числе высоковязких нефтей. Так как нефть характеризуется разнообразными свойствами, из-за геокриологических и климатических условий функционирования нефтепроводов, а также производительности и протяженности трубопроводов каждый из методов перекачки нефти имеют свои преимущества и недостатки. Поэтому невозможно выделить одного универсального метода, обеспечивающего эффективную транспортировку любых высоковязких и парафинистых нефтей. В связи с этим в каждом отдельном случае задача выбора эффективного метода, технологии транспортировки высоковязкой нефти по магистральным трубопроводам является непростой проблемой, которая требует технико-экономического обоснования.

Таким образом, технологии транспортировки высоковязких нефтей можно классифицировать в зависимости от изменения реологических характеристики и используемых при изменении реологических свойств методов. В зависимости от изменения реологических характеристик перекачиваемой нефти:

1) Транспортировка без изменения реологических характеристик перекачиваемой нефти, которая в свою очередь классифицируются на подклассы транспортировки: с использованием механических устройств; с уменьшением шероховатости и/или геометрии трубопровода; последовательная перекачка нефтей; транспорт с газом или гидротранспорт.

2) Транспортировка с изменением реологических характеристик перекачиваемой нефти, которая в зависимости используемого метода: изменение реологических характеристик химическим методом (депарафинизация, деасфальтизация или термодеструкция); изменение реологических характеристик физическим методом (термообработка, изотермическое разрушение и повышение температуры перекачиваемой

нефти). Метод изменения реологических характеристик нефти с повышением ее температуры бывает: с помощью печей подогрева станция подогрева нефти (СПН); с помощью трубопроводов-спутников (с соответствующей температурой); за счет электрообогрева. В последнее время предлагаются методы повышения температуры с использованием солнечной энергии [8]. Изменение реологических характеристик физико-химическим методом разделяется на методы с использованием поверхностно-активных присадок и с использованием разбавителей.

Объектом исследования данной работы является СПН пункта Атырау магистрального нефтепровода Узень-Актау-Атырау-Самара, по которому транспортируется высоковязкая нефть Узеньских месторождений. Магистральный нефтепродуктопровод для транспортировки высоковязких нефтей (горячий нефтепровод) является единым производственно-технологическим комплексом, который включает трубопроводов, станции подогрева и перекачки нефти, а также других объектов. Данный комплекс предназначен для обеспечения транспортировки, приема и сдачи нефти от подводящих нефтепроводов с места добычи, до конечных пунктов, т.е. до потребителей [9]. Самым эффективным и экологически безопасным методом транспортировки среди известных методов нефтетранспортировки являются магистральные нефтепроводы [10]. СПН пункта Атырау обеспечивает бесперебойную работу трубчатых печей типа «Г9П02В», предназначенных для подогрева нефти и других сооружений, входящих в ее состав, а также обеспечивает оптимальный режим работы нефтепровода. При этом одна печь за 1 час нагревает 300–600 м³ нефти от температуры 35–40 °С до 70 °С.

Известен ряд работ, например, [11 – 13] и другие, посвященные исследованию вопросов моделирования СПН и оптимизации их режимных параметров. Однако в них в основном исследованы физико-химические основы процесса нагрева сырья, разрабатываются детерминированные, статистические математические модели печей. В проанализированных исследованиях не рассмотрены вопросы моделирования печей СПН при нечеткости некоторой части исходной информации. Так как объект исследования, т.е. СПН пункта Атырау характеризуется нечеткостью некоторой исходной информации, проблемы разработки моделей таких объектов в условиях нечеткости исходной информации является весьма актуальной задачей науки и технологии транспортировки нефти.

В этой связи в качестве цели исследования данной работы сформулирована как: разработка моделей СПН «горячего» нефтепровода с учетом и использованием исходной нечеткой информации.

Для обеспечения достижения сформулированной цели поставлены и решены следующие задачи исследования:

- исследовать и описать принципиально-технологическую схему «горячей перекачки» высоковязкой нефти;
- разработать алгоритм построения моделей в условиях нечеткости выходных параметров объекта;
- разработать модели трубчатых печей СПН в условиях нечеткости некоторой исходной информации.

Методы и материалы исследования. Для сбора и обработки измеряемой статистической информации о технологических параметрах используются методы мате-

матической статистики и теорий вероятностей [14, 15], а для сбора и формализации нечеткой информации о неизмеряемых показателях СПН используются методы экспертных оценок и теорий нечетких множеств [16, 17].

Принцип функционирования СПН основывается на сжигания жидких или газообразных топлив в горелках камеры радиации трубчатых печей. В процессе сжигания пламя, направленная на настильную стену, будет излучать тепло трубам змеевика печи, по которому циркулирует перекачиваемая нефть, т.е. производится передача тепла к нефти методом радиации. А в конвекционной камере печи горячие дымовые газы проходят через змеевики трубчатой печи и отдает тепло на основе метода конвекции.

Значения температуры, давления и некоторых других параметров процесса подогрева обычно количественно определяются с помощью различных измерительных средств. При этом имеющие неточности, связанные с воздействиями случайных факторов, разрешаются на основе методов теории вероятности. Но некоторые важные показатели, оценивающие качество работы СПН, например, производительность, экологического состояния производства часто определить одним числом невозможно или очень сложно. Обычно на практике такие показатели оцениваются нечетко на основе опыта, знания и интуиции опытного персонала, человека-оператора, которые долгие годы работают на этом объекте. В процессе наблюдения и управления такими объектами у них в голове формализуется некая модель объекта, по которой они могут на естественном языке, могут нечетко описать работы и оценить неизмеримых показателей производства. Например, качество работы, экологическое состояние производства могут быть описаны человеком-оператором с такими нечеткими ограничениями, как: «не более», «не менее» и т.д. Следовательно, для построения математических моделей, описывающие зависимость нечетких показателей производства от входных, режимных параметров приходится разработать модели с учетом нечеткости некоторых параметров на основе методов экспертной оценки и математического аппарата теорий нечетких множеств.

Результаты и их обсуждение. Приводим результаты исследования в соответствии с поставленными задачами исследования.

Принципиально-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти. Технология «горячей» перекачки предназначена для транспортировки высоковязкой нефти по магистральным нефтепроводам. В данной технологии предусмотрен нагрев перекачиваемой нефти перед закачкой ее в нефтепровод, далее периодический подогрев нефти производится при остывании нефти до заданной температуры в процессе транспортировки. Принципиальную схему «горячей» перекачки можно представить, как на рисунке 1.

Добываемая нефть по нефтепроводу 1 подается в резервуары с подогревательными устройствами 2 ГНТС, поддерживающие температуру, которая позволяет выкачать нефть с помощью подводящего насоса 3. Далее нефть с помощью подпорными насосами перекачивается и подаётся на вход НПС, т.е. магистральных насосов 5. Этими магистральными насосами транспортируемая нефть закачивается в линейную часть магистрального нефтепровода 6. В процессе транспортировки высоковязкой нефти из-за теплообмена с окружающей средой происходит остывания нефти, и чтобы под-

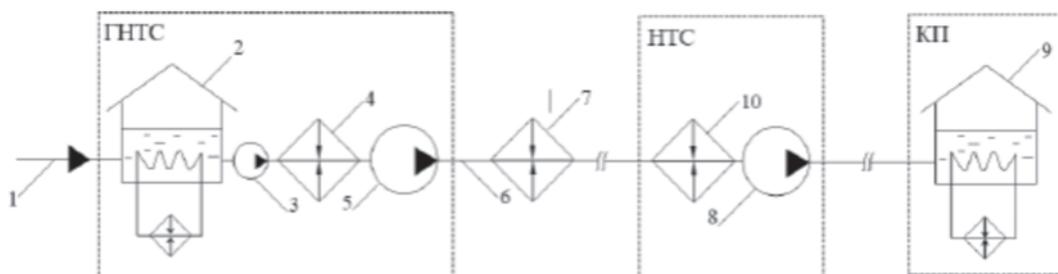


Рисунок 1 – Предложенная принципно-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти

1 – нефтепровод, подводящий нефти из промысла; 2, 9 – резервуары начального и конечного пунктов; 3 – подводящий насос; 4, 7, 10 – СПН с трубчатыми печами; 5, 8 – нефтеперекачивающая станция (НПС - насосы); 6 – магистральный нефтепровод; ГНТС – головная СПН и НПС; НТС – насосно-тепловая станция; КП – конечный пункт

держат необходимую температуру нефти в расстояниях от 25 до 100 км подогреваются на промежуточных СПН. Потом нефть поступает на промежуточную НПС 8. Эти НПС также оборудованы подогревателями нефти и далее все это повторяется до поступления нефти в резервуары 9 КП, которые также оборудованы системой подогрева нефти.

При транспортировке высоковязкой нефти по трубопроводу температура нефти должна быть достаточно высокой, не выше 100 °С, чтобы среда была текучей, что обеспечивает оптимальную перекачку такой нефти.

Алгоритм построения моделей в условиях нечеткости выходных параметров объекта. Алгоритм построения нечетких моделей в этих условиях разработан на основе модификации методов последовательного включения регрессоров (для определения структуры модели) и наименьших квадратов (для параметрической идентификации нечетких коэффициентов) с помощью математического аппарата теорий нечетких множеств. Основными шагами алгоритма построения моделей в условиях нечеткости выходных параметров объекта являются:—

Шаг 1. Определение и выбор входных $x_i \in X, i = \overline{1, n}$ и $\tilde{y}_j \in \tilde{B}_j, \tilde{B}_j \in Y, j = \overline{1, m}$ выходных параметров объекта. В этом шаге на основе системного анализа выбираются измеряемые входные, режимные параметры, влияющие на качество работы объекта, оцениваемые выходными нечеткими параметрами.

Шаг 2. Сбор и обработка статистических данных и нечеткую информацию от экспертов. На основе экспертных процедур определить терм-множество, описывающих нечеткие выходные параметры.

Шаг 3. Идентификация структуры нечетких регрессионных моделей, описывающие связь между входными, режимными и выходными параметрами объекта, например, на основе идеи метода последовательного включения регрессоров:

$$\tilde{y}_j = f_j(x_1, \dots, x_n, \tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n), j = \overline{1, m}.$$

Шаг 4. Построение функции принадлежности нечетких параметров. На основе практического опыта при построении этих функций рекомендуется использовать экс-

понижающую зависимость типа гауссова функции с настраиваемыми коэффициентами:

$$\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j) = \exp(Q_{B_j}^p \left| (y_j - y_{md_j})^{N_{B_j}^p} \right|). \quad (1)$$

В данном выражении: $\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j)$ – функция принадлежности нечетких выходных параметров \tilde{y}_j , принадлежащего нечеткому подмножеству \tilde{B}_j ; p – номер термина из терм-множества; $Q_{B_j}^p$ – коэффициент грубой настройки формы функции принадлежности, определяемый при идентификации функции и описываемый уровень нечеткости; $N_{B_j}^p$ – коэффициент тонкой настройки формы функции принадлежности; $y_{md_j}^p$ – нечеткая переменная, наиболее соответствующая заданному терму, которая определяется из условия $\mu_{B_j}^p(y_{mdi}) = \max_j \mu_{B_j}^p(y_j)$. Здесь можно выбрать наиболее соответствующий вид функции принадлежности с помощью приложения Fuzzy Logic Toolbox системы MatLab.

Шаг 5. Определение значения нечетких коэффициентов регрессии модели (1) на основе модифицированного метода параметрической идентификации. Здесь параметрическую идентификацию можно произвести с помощью модифицированного метода наименьших квадратов (МНК) на основе множества уровня α .

Шаг 6. Проверка адекватности модели. В качестве критерия адекватности можно использовать условие: $R = \min \sum_{j=1}^m (y_j^M - y_j^E)^2 \leq R_D$, где y_j^M – расчетные значения выходных параметров, определенные с помощью модели; y_j^E – реальные значения выходных параметров, определенные экспериментальным путем; R_D – величина допустимого отклонения.

Если условие адекватности модели не выполняется, то выясняется причина неадекватности и для устранения этих причин и обеспечения адекватности необходимо вернуть обратно к соответствующему шагу алгоритма. При этом могут быть различные причины неадекватности модели, например, ошибки при идентификации структуры модели, некоторые важные параметры, влияющие на процесс могут быть не включены в структуру, ошибки при идентификации параметров модели и т.д. В условиях достижения адекватности модель рекомендуется для исследования и оптимизации режимов работы объекта.

Модели трубчатых печей СПН в условиях нечеткости некоторой исходной информации. На основе вышепредложенного алгоритма разрабатываем модели печи подогрева СПН в условиях нечеткости некоторой части исходной информации.

Для построения моделей СПН трубчатых использованы статистические данные о входных, режимных параметрах и нечеткая информация, характеризующая производительность объекта, полученная на основе методов экспертной оценки от экспертов в виде их знания, опыта и интуиции.

Нечеткая модель, оценивающая производительность СПН, которая построена на основе предложенного алгоритма имеет структуру нечеткого уравнения регрессии

(2), а модели, описывающие температуру и давления на выходе СПН, идентифицированы в виде уравнения множественной регрессии (3):

$$\tilde{y}_1 = \tilde{a}_{01} + \tilde{a}_{11}x_{11} + \tilde{a}_{21}x_{21} - \tilde{a}_{31}x_{31} + \tilde{a}_{41}x_{41} + \tilde{a}_{51}x_{11}^2 + \tilde{a}_{61}x_{21}^2 - \tilde{a}_{71}x_{31}^2 + \tilde{a}_{81}x_{41}^2 + \tilde{a}_{91}x_{31}x_{41}, \quad (2)$$

$$C_j = 0_{0j} + 0_{1j}x_{1j} + 0_{2j}x_{2j} + 0_{3j}x_{3j} + 0_{4j}x_{4j} + 0_{5j}x_{1j}^2 + 0_{6j}x_{2j}^2 + 0_{7j}x_{1j}x_{2j}, j = 2, 3. \quad (3)$$

В этих моделях: \tilde{y}_1 – нечеткая оценка производительности СПН; $y_j, j = 2, 3$ – значения температуры и давления на выходе СПН; $\tilde{a}_{01}, \tilde{a}_{11}, \dots, \tilde{a}_{91}, a_{1j}, a_{1j}, \dots, a_{6j}$ – идентифицируемые коэффициенты моделей (2) и (3); $x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, x_{4j}$ – соответственно температура, давление, объем топлива и нефти на входе СПН.

Для идентификации нечетких коэффициентов регрессии $\tilde{a}_{01}, \tilde{a}_{11}, \dots, \tilde{a}_{91}$ использованы модифицированный для нечеткости на основе множества уровня α МНК. В этом методе в качестве критерия адекватности используется условие: $\tilde{R}_j = \min \sum_{l=1}^k (\tilde{y}_{jl}^E - \tilde{y}_{jl}^M)^2$, где \tilde{R}_j – нечеткая функция, минимизирующая разницу между \tilde{y}_{jl}^E – нечетким значением данного выходного параметра и \tilde{y}_{jl}^M – нечетким выходным параметром, оцененного с помощью нечеткой модели (2).

На основе модифицированного МНК для нечеткой среды произведены идентификация нечетких коэффициентов регрессии $\tilde{a}_{01}, \tilde{a}_{11}, \tilde{a}_{21}, \dots, \tilde{a}_{91}$ – нечеткой модели оценки производительности СПН (2). Для этого нечеткие параметры \tilde{a}_{ij} проведены α срезы функции принадлежности параметров на уровнях $\alpha = 0,5; 0,85; 1$ и на этих уровнях определены значения производительности. В этом случае на указанных α уровнях представляются числовыми значениями. Нечеткую модель оценки производительности СПН для каждого $\alpha_q, q = \overline{1,3}$ перепишем как набор четких моделей на α уровнях:

$$y_{1SPN}^{\alpha_q} = a_{01}^{\alpha_q} + a_{11}^{\alpha_q}x_{11} + a_{21}^{\alpha_q}x_{21} - a_{31}^{\alpha_q}x_{31} + a_{41}^{\alpha_q}x_{41} + a_{51}^{\alpha_q}x_{11}^2 + a_{61}^{\alpha_q}x_{21}^2 - a_{71}^{\alpha_q}x_{31}^2 + a_{81}^{\alpha_q}x_{41}^2 + a_{91}^{\alpha_q}x_{31}x_{41}, q = \overline{1,3}; \quad (4)$$

Так как полученные уравнения представляют собой обычные уравнения множественной регрессии для идентификации их параметров, можно использовать известные методы параметрической идентификации, например, МНК. В данной работе для идентификации коэффициентов регрессии для каждого α уровня использован пакет программ REGRESS, в котором реализован МНК для произвольного количества параметров.

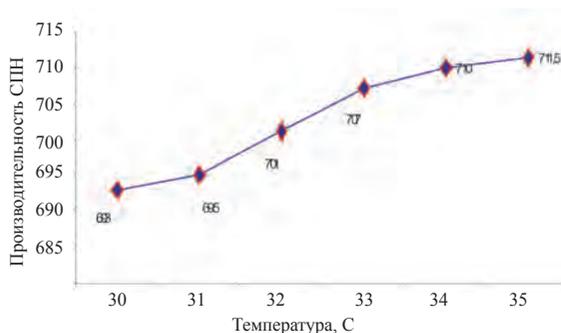
В результате влияния входных параметров $x_i, i = \overline{1,4}$ на производительности СПН \tilde{y}_{1SPN} для каждого α уровня описываются следующим образом:

$$\tilde{y}_{1SPN} = \left(\frac{0.5}{2.000254727} + \frac{0.85}{2.007525117} + \frac{1}{2.088235294} + \frac{0.85}{2.175725157} + \frac{0.5}{2.787515357} \right) x_{11} +$$

$$\begin{aligned}
& + \left(\frac{0.5}{7.0010} + \frac{0.85}{7.01000} + \frac{1}{7.10000} + \frac{0.85}{7.101523567} + \frac{0.5}{7.156572378} \right) x_{21} - \\
& + \left(\frac{0.5}{5.005700} + \frac{0.85}{5.025000} + \frac{1}{5.680000} + \frac{0.85}{5.750000} + \frac{0.5}{5.950000} \right) x_{31} + \\
& + \left(\frac{0.5}{0.003700} + \frac{0.85}{0.055000} + \frac{1}{0.400000} + \frac{0.85}{0.450000} + \frac{0.5}{0.500000} \right) x_{41} + \\
& + \left(\frac{0.5}{0.0003787} + \frac{0.85}{0.0077253} + \frac{1}{0.0614187} + \frac{0.85}{0.0997334} + \frac{0.5}{0.1344578} \right) x_{11}^2 + \\
& + \left(\frac{0.5}{0.600000} + \frac{0.85}{0.650000} + \frac{1}{0.710000} + \frac{0.85}{0.760000} + \frac{0.5}{0.820000} \right) x_{21}^2 - \\
& - \left(\frac{0.5}{0.180300} + \frac{0.85}{0.2001000} + \frac{1}{0.227200} + \frac{0.85}{0.247200} + \frac{0.5}{0.267200} \right) x_{31}^2 + \\
& + \left(\frac{0.5}{0.0000037} + \frac{0.85}{0.0000775} + \frac{1}{0.0005634} + \frac{0.85}{0.0037355} + \frac{0.5}{0.0125574} \right) x_{41}^2 + \\
& + \left(\frac{0.5}{0.006000} + \frac{0.85}{0.007000} + \frac{1}{0.008000} + \frac{0.85}{0.009000} + \frac{0.5}{0.010000} \right) x_{31}x_{41}
\end{aligned}$$

В приведенной после параметрической идентификации модели регрессоры, которые очень слабо влияют или не влияют на производительность СПН, т.е. у которых коэффициенты 0 или около 0 с целью упрощения модели удалены.

В нижеприведенном рисунке 2 приведен график зависимости производительности СПН от температуры при постоянных значениях остальных входных параметров, полученный с помощью модели.



x_2 – давление на входе СПН – 10 кгс/см²;
 x_3 – расход топлива в СПН – 25 кг/час;
 x_4 – объем нефти на входе СПН – 710 т/час.

Рисунок 2 – Зависимость производительности СПН от температуры $\tilde{y}_{1SPN} = f_1(x_1)$ при постоянных значениях x_2, x_3, x_4

Обсуждение результатов. Предложенный алгоритм позволяет разработать модели технологических объектов в условиях их четких входных и нечетких выходных параметрах. Алгоритм основан на модификации, т.е. адаптации методов структурной (последовательного включения регрессоров) и параметрической (наименьших квадратов) идентификации с помощью множества теорий нечетких множеств.

Полученные коэффициенты на α уровнях разработанной модели для программной реализации объединяются в одно значение с помощью соответствующей формулы теорий нечетких множеств [18]. Таким образом, предложенный подход позволяет построить модели технологических объектов при нечеткости выходных параметров. Как показывают результаты моделирования, приведенные на рисунке 2 зависимость производительности от температуры нелинейная и позволяет определить наиболее оптимальное значение температуры в условиях ограничения на расходы сжигаемых топлив.

Заключение. В работе исследованы проблемы обеспечения эффективных режимов работы СПН при транспортировке высоковязкой нефти на основе метода математического моделирования. Предложен подход к разработке моделей СПН магистральных нефтепроводов в условиях нечеткости некоторой части исходной информации.

В соответствии с поставленными задачами исследования получены следующие основные результаты:

- 1) Исследованы и описана созданная принципиально-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти по магистральным нефтепроводам;
- 2) Разработан алгоритм построения моделей технологических объектов в условиях нечеткости выходных параметров исследуемого объекта;
- 3) Построены модели трубчатых печей СПН в условиях нечеткости выходного параметра, оценивающего производительность производства.

Новизна предлагаемого подхода к разработке моделей в условиях частичной нечеткости исходной информации заключается в модификации методов структурной и параметрической идентификации на основе математического аппарата теорий нечетких множеств. Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности построения более эффективных моделей в условиях нечеткости выходных параметров реальных технологических объектов.

Благодарности. Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855680 - Интеллектуализированная система поддержки принятия решений для управления режимами работы установки каталитического риформинга).

ЛИТЕРАТУРА

1 Агалаков Л.Н. Транспортировка высоковязких нефтей. – Международный научный форум: Технические и математические науки. – М.: Изд. «МЦНО». 2016. – № 6 (35) [электронный ресурс]. – режим доступа. - URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6\(35\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6(35).pdf) (дата обращения: 28.08.2021).

2 Алдияров Р.Т. Разработка технологий теплового воздействия на пласты высоковязких нефтей месторождений Узень. – Алматы: 2015. – 175 с. <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=796925>

- 3 Муллаев Б.Т., Абитова А.Ж., Саенко О.Б., Туркпенбаева Б.Ж. «Месторождение Узень. Проблемы и решения». – Алматы: Нур-Принт, 2016. I том - 424 с.
- 4 Башкирцева Н.Ю., Сладовская О.Ю. Особенности транспортировки высоковязких нефтей. – Вестник Казанского технол. университета. 2017. №3, – С. 457-459.
- 5 Родин А.А. Оптимизация транспорта высоковязких нефтей с подогревом и с применением углеводородных разбавителей. – М.: 2017. – 137 с.
- 6 Алиев Р.А. Особенности трубопроводного транспорта высокозастывающих нефтей. – М.: ВНИИОЭНГ, 2018. – 128 с.
- 7 Банатов В.В. Реологические свойства вязких нефтей и нефтепродуктов и их регулирование комплексными методами воздействия. – Тюмень, 2003. – 164 с.
- 8 Куанышев Б.И. Влияние солнечной энергии на превращения углеводородов нефти. Автореферат дисс. на соискание ученой степени кандидата наук. – Атырау: – 2007. – 26 с.
- 9 Родин А.А. Оптимизация транспорта высоковязких нефтей с подогревом и применением углеводородных разбавителей. Автореферат дисс. на соискание ученой степени кандидата наук. – М.: 2017.– 28 с.
- 10 Вайншток С.М. Трубопроводный транспорт нефти. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». 2002. – 407 с.
- 11 Арсланов А.А. Математические модели трубчатых печей. – М.: 2017. – 147 с.
- 12 Бровкин Л.А., Коротин А.Н., Крылов Л.В. и др. Математическое моделирование и проектирование промышленных печей. – Иванова: ИГУ, 1999.– 358 с.
- 13 Арутянов В.А., Бухмиров В.В., Крупеников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. – Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 2012. – 245 с.
- 14 Карманов Ф.И., Острейковский В.А. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad. – М.: Инфра-М, 2017. – 287 с.
- 15 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2016. – 479 с.
- 16 Гуцыкова С. Метод экспертных оценок. Теория и практика. – М.: Когито-Центр. 2017. – 509 с.
- 17 Ryzhov A.P. The theory of fuzzy sets and its applications. – М: MSU. 2017. – 115 p.
- 18 B.B. Orazbayev, T.S. Kenzhebayeva and K.N. Orazbayeva Development of Mathematical Models and Modelling of Chemical Technological Systems using Fuzzy-Output Systems // Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal, 2019. V, 13, No. 4, - P. 653-664.

REFERENCES

- 1 Agalakov L.N. Transportation of high-viscosity oils // International Scientific Forum: Technical and Mathematical Sciences. –М.: Ed. "MCNO". 2016. – No 6 (35) / [electronic resource]. – access mode. – URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6\(35\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6(35).pdf) (date accessed: 28.08.2021). [in Russian]
- 2 Aldiyarov R.T. Development of technologies for thermal impact on the formations of high-viscosity oils of the Uzen fields // -Almaty: 2015. -175 p. <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=796925> [in Russian]
- 3 Mullaev B.T., Abitova A.Zh., Saenko O.B., Turkpenbaeva B.Zh. "Uzen deposit. Problems and Solutions ". –Almaty: Nur-Print, 2016. I volume – 424 p. [in Russian]
- 4 Bashkirtseva N.Yu., Sladovskaya O.Yu. Features of transportation of high-viscosity oils // Bulletin of Kazan tekhno. university. 2017. No. 3, – P. 457- 459. [in Russian]
- 5 Rodin A.A. Optimization of transportation of high-viscosity oils with heating and using hydrocarbon diluents. –М.: 2017. – 137 p. [in Russian]

- 6 Aliev R.A. Features of pipeline transportation of highly solidifying oils. –M .: VNIIOENG, 2018. – 128 p. [in Russian]
- 7 Banatov V.V. Rheological properties of viscous oils, petroleum products, and their regulation by complex methods of exposure. – Tyumen, 2003. – 164 p. [in Russian]
- 8 Kuanyshev B.I. Influence of solar energy on the conversion of hydrocarbons to petroleum. // Abstract dissertation. for the degree of candidate of sciences. –Atyrau: – 2007. – 26 p. [in Russian]
- 9 Rodin A.A. Optimization of the transport of high-viscosity oils with heating and the use of hydrocarbon diluents. Abstract of thesis. diss. for the degree of candidate of sciences. –M: 2017. –28 p. [in Russian] [in Russian]
- 10 Vainshtok S.M. Pipeline transportation of oil. –M .: LLC "Nedra-Business Center". 2002. – 407 p. [in Russian]
- 11 Arslanov. A.A. Mathematical models of tube furnaces. -M .: 2017.-147 p. [in Russian]
- 12 Brovkin L.A., Korotin A.N., Krylov L.V. and other Mathematical modeling and design of industrial furnaces. - Ivanova: ISU, 1999. - 358 p. [in Russian]
- 13 Arutyanyan V.A., Bukhmirov V.V., Krupenikov S.A. Mathematical modeling of the thermal performance of industrial furnaces. - Ed. 2nd. –M .: Metallurgy, 2012.– 245 p. [in Russian]
- 14 Karmanov F.I., Ostreykovsky V.A. Statistical methods for processing experimental data using the MathCad package. - M .: Infra-M, 2017. –287 p. [in Russian]
- 15 Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics: 12th ed., Rev. – M .: Higher education, 2016 .-- 479 p. [in Russian]
- 16 Gutsykova S. Method of expert assessments. Theory and practice. –M .: Kogito-Center. 2017. – 509 p. [in Russian]
- 17 Ryzhov A.P. The theory of fuzzy sets and its applications. – M: MSU. 2017. – 115 p.
- 18 B.B. Orazbayev, T.S. Kenzhebayeva and K.N. Orazbayeva Development of Mathematical Models and Modelling of Chemical Technological Systems using Fuzzy-Output Systems // Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal, 2019. V, 13, No. 4, – P. 653-664.

**Б. Б. ОРАЗБАЕВ¹, Ж. Ж. МОЛДАШЕВА¹, Л. Л. ЛА¹, К. Н. ОРАЗБАЕВА²,
Ж. Н. ТУЛЕУОВ³, Б. Е. УТЕНОВА⁴**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Нур-Сұлтан қ., Қазақстан,

²Қазақ экономика және халықаралық сауды университеті,
Нур-Сұлтан қ., Қазақстан,

³Атырау мұнай өңдеу зауыты, Атырау қ., Қазақстан,

⁴С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау қ. Қазақстан

КАТАЛИТИКАЛЫҚ РИФОРМИНГ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ГИДРОТАЗАЛАУ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ БОЙЫНША АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ЕСЕБІ ЖӘНЕ ОНЫ ШЕШУ ТӘСІЛІН ЖАСАҚТАУ

Айқын емес ортада гидротазалау процесін басқару бойынша шешім қабылдау есептерін тұжырымдау және шешу проблемалары зерттеліп, мамандарды қатысуымен, олардың тәжірибесін, білімі мен интуициясын қолдана отырып, осындай есептерді шешудің тиімді тәсілі ұсынылған. Гидротазалау реакторында болатын және алғашқы ақпараттың айқынсыздығымен сипатталатын гидротазалау процесін басқару есебігің математикалық қойылымы гидротазалау

лау реакторының оптималды жұмыс режимін таңдау бойынша шешім қабылдау есебі түрінде алынған. Басқару критерийлері ретінде өндірілетін өнім, яғни гидрогенизат көлемін максимизациялау және оның сапалық сипаттамаларын жақсарту минимизациялау алынған. Айқын емес ортада гидротазалау процесін басқару үшін шешім қабылдау есебінің математикалық қойылымында және оларды шешу тәсілін құруда бас критерий мен максимум принциптерінің идеялары оларды айқынсыздықта жұмыс жасауға бейімдеу арқылы қолданылды. Айқын емес ортада гидротазалау процесін басқару бойынша шешім қабылдау есебін шешу үшін эвристикалық әдіс жасақталды. Айқын емес ортада басқару есебін қою мен оны шешу үшін ұсынылған тәсілдеменің жаңалығы айқын емес ақпаратты максималды қолданылуы арқылы айқынсыздықта қабылданған шешімнің адекваттығының артуында.

Түйін сөздер: шешім қабылдау, басқару, гидротазалау процесі, гидротазалау реакторы, гидрогенизация, эвристикалық тәсіл, шешім қабылдаушы тұлға.

**B. ORAZBAYEV¹, ZH. MOLDASHEVA¹, L. LA¹, K. ORAZBAYEVA²,
ZH. TULEUOV³, B. UTENOVA⁴**

¹L.N. Gumilev Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Nur-Sultan, Kazakhstan

³Atyrau Oil Refinery, Atyrau, Kazakhstan

⁴Atyrau Oil and Gaz University, Atyrau, Kazakhstan

PROBLEM OF DECISION-MAKING ON CONTROL OF THE PROCESS OF HYDRAULIC TREATMENT OF A CATALYTIC REFORMING PLANT IN A FUZZY MEDIUM AND DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ITS SOLUTION

The problems of formulating and solving the problem of making decisions on the control of the hydrotreating process in a fuzzy environment are investigated and an effective method for solving such problems with the involvement of experts, their experience, knowledge and intuition is proposed. The statement of the problem of controlling the hydrotreating process, which takes place in the hydrotreating reactor and is characterized by the indistinctness of the initial information, is obtained in the form of the problem of making decisions on the choice of the optimal operating mode of the hydrotreating reactor. The management criteria were chosen to maximize the volume of production, i.e. hydrogenate, and improving the quality characteristics of the manufactured products. In the mathematical formulation of the decision-making problem for the management of the hydrotreating process in a fuzzy environment and the development of a method for its solution, the ideas of the principle of the main criterion and maximum were used by adapting them to work in a fuzzy environment. A heuristic method has been developed for solving the assigned decision-making tasks for controlling the hydrotreating process in a fuzzy environment. The originality and novelty of the applied approach to the formulation and solution of the decision-making problem in a fuzzy environment consists in increasing the adequacy of the decision made in a fuzzy environment due to the maximum use of the initial fuzzy information.

Key words: decision making problem, control, hydrotreating process, hydrotreating reactor, hydrogenate, heuristic method, decision maker.