

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

DOI: 10.12737/article\_5968b452655ff8.60896378

Еременко В.Т., д-р техн. наук, проф.,  
Лобанова В.А., канд. техн. наук, доц.,  
Фомин Н.И., аспирант

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

## ИССЛЕДОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВЫРАБОТКИ ВЯЗКИХ БИТУМОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ МИНИ-НПЗ

wladimir@orel.ru

*В статье представлена структура технологического процесса производства битумов и топлива из тяжелой нефти в условиях мини-НПЗ, предложена методология моделирования и способы управления сложными технологическими процессами нефтепереработки на примере установки для производства битумов и топлива из тяжелой нефти.*

*Ключевые слова: вязкий битум, мини-НПЗ, тяжелые нефти*

**Введение.** С ростом дорожного строительства встает вопрос о качестве изготавливаемых асфальтобетонных смесей и получаемых для них вязких нефтяных битумов. Исходя из того, что битум длительный период не являлся в нашей стране целевым нефтепродуктом, совершенствованию технологических процессов его производства не уделялось соответствующего внимания. Слабая поддержка битумного производства привела к тому, большинство оборудования по производству битумов на российских НПЗ устарело. Вследствие чего вырабатываемые битумы и их количество не конкурентоспособны на современном рынке. Поэтому вопросы реконструкции битумного производства в России достаточно актуальны.

Нефтяные битумы, благодаря ряду ценных эксплуатационных свойств и увеличивающимся масштабам производства, являются одними из наиболее широко используемых в строительной индустрии продуктов нефтепереработки, особенно в дорожном строительстве.

Нефтеперерабатывающая промышленность России за 2016 год произвела 4,5 млн. т. дорожных, кровельных, изоляционных и строительных марок нефтяных битумов, из них 0,25 млн. т. производится на мини-НПЗ. Мини-НПЗ – это нефтеперерабатывающее, основной функцией которого является переработка нефти (объемом до 1 миллиона тонн сырья/год) в бензин, дизельное топливо, мазут и битум [1].

Мини-НПЗ относятся к классу сложных технических объектов, так как взаимодействие между компонентами происходит в различных режимах и характеризуется многими парамет-

рами под управлением локальных систем автоматического регулирования и централизованных систем автоматизированного управления.

В связи со сложностью или невозможностью измерения ряда параметров и показателей, многие технологические и производственные процессы переработки особенно тяжелой нефти являются количественно трудноописуемыми, что затрудняет применение методов детерминированной математики для моделирования и оптимизации их режимов работы. Это привело к необходимости применения новых методов формализации и решения данных задач, опирающихся на теорию нечетких множеств. Особое значение решения этих практических задач приобретает для таких сложных технологических объектов, как установка для производства битумов и топлива из тяжелой нефти, характеризующаяся сложностью, а иногда и невозможностью, измерения ряда параметров. Методы решения этих задач основаны на использовании нечеткой информации, получаемой от лица принимающего решения, и специалистов экспертов в виде их суждений о функционировании объекта и учитывающей их предпочтения в процессе выбора решений [8]. На основе этих методов составляются математические модели основных агрегатов установки.

**Основная часть.** В настоящей работе рассматриваются основные подходы к моделированию колонн в промышленных условиях и способы управления сложными технологическими процессами нефтепереработки на примере установки для производства битумов и топлива из тяжелой нефти, в состав которой входят блоки: отбензинивания, обезвоживания, окислительный и атмосферный [12]. Продуктами переработки

нефти на данной установке являются бензин, дизельное топливо, мазут, керосиногазойлевая фракция и битум различных марок.

Исследование проводилось для установки, структура технологического процесса производства битумов и топлива из тяжелой нефти, которой приведено на рис. 1.

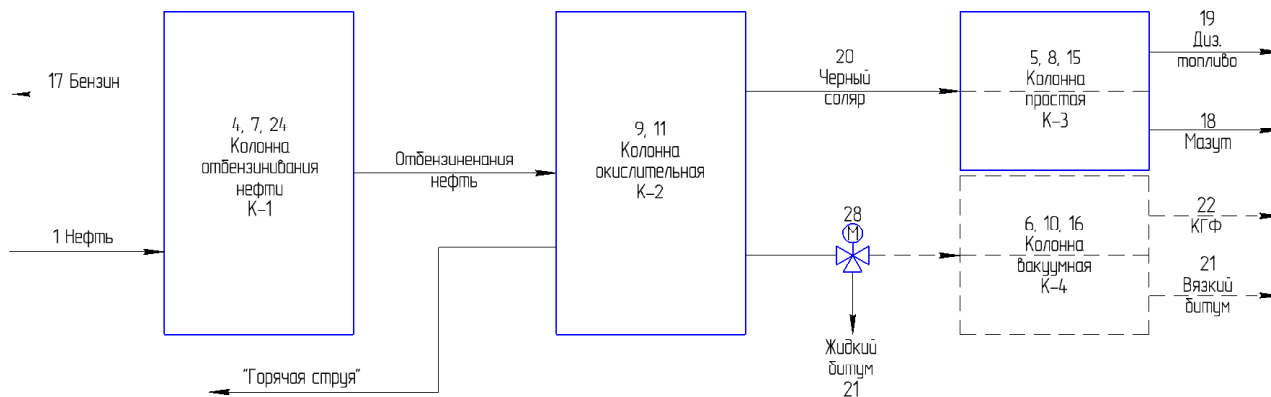


Рис. 1. Структура технологического процесса производства битумов и топлива из тяжелой нефти

Процесс управления делится на две части: динамическую и статическую. Выходными параметрами статической части являются количества: бензина, дизельного топлива (или керосиновая фракция) и мазут. Оптимальное управление установкой невозможно без учета качественных показателей целевых нефтепродуктов. Так же введены значения, поддержание которых на требуемом уровне является достаточным условием получения кондиционных нефтепродуктов. К ним принадлежат: температура конца кипения бензина, температура начала кипения Д/Т, температура конца кипения Д/Т, температура конца кипения мазута. Исходя из выше сказанного в качестве выходных параметров статики, кроме количественных, принимается четыре качественные характеристики.

Из числа входных параметров выделяются возмущающие воздействия, под которыми понимаются координаты, управление с помощью которых или невозможно вообще, или нецелесообразно по определенным причинам.

В зависимости от того, поддаются или нет возмущения измерению или контролю, они подразделяются на контролируемые и неконтролируемые.

К числу основных контролируемых внешних возмущений относится расход сырья и расход отбензиненной нефти.

Измеряемыми внутренними возмущениями являются перекрестные связи по каналам расходов I, II, III циркуляционных орошений.

Характерной особенностью данного технологического процесса, выгодно отличающего его от подобных на других НПЗ, является возможность (в зависимости от конкретных потребностей) работы как в режиме получения вязкого битума, так и в режиме получения жидкого битума.

Исследовав выходные (управляемые) и входные (управляющие и возмущающие) параметры как статической, так и динамической частей объекта управления - установки для производства битумов и топлива из тяжелой нефти, ее структурную схему как объекта управления представим в виде, показанном на рис. 2.

Многокритериальность исследуемых систем затрудняет разработку математического описания процессов на основе которых осуществляется процедура оптимизации. Из-за ненадежности, недостатков или отсутствия необходимых средств сбора и обработки статистических данных, собранная информация для описания исследуемого комплекса может оказаться в значительной степени неполной, достаточно неопределенной. Проведение специальных экспериментов для сбора недостающей информации, даже при возможности их проведения, часто оказывается экономически нецелесообразным. Основным источником информации в этих ситуациях является человек (специалист-эксперт, ЛПР: технолог, оператор), который дает нечеткое описание проблемы, т.е. возникает проблема неопределенности, связанная с нечеткостью исходной информации [5, 6].

Исследование ректификационных колонн рассматриваемой установки показало, что из-за сложности или невозможности учета ряда факторов, таких как химический состав сырья и продуктов, состав фаз и содержание продуктов, результаты моделирования традиционными методами часто получаются неадекватными текущей технологической ситуации.

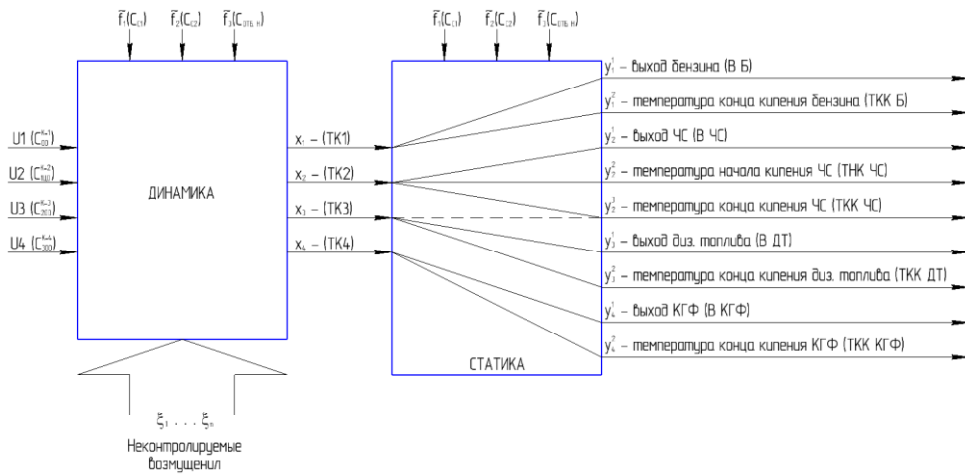


Рис. 2. Структурная схема объекта управления

Основная причина невозможности учета таких параметров колонны в реальном процессе связана с отсутствием или нехваткой непрерывных промышленных средств их контроля, а определение параметров лабораторным путем требует времени. Все это серьезно затрудняет проведение экспериментальных работ по сбору необходимой статистической информации для построения адекватной модели, учитывающей эти трудноизмеримые показатели.

Поэтому для моделирования и оптимизации таких колонн в промышленных условиях, характеризующихся неопределенностью, целесообразно дополнительно применить методы теории нечетких множеств и экспертных оценок. При

этом разработку модели можно осуществлять на основе алгоритма синтеза моделей в нечеткой среде [14], [15].

Выделяется три основных подхода к моделированию объектов, удовлетворяющие этим требованиям, которые основаны на методах теории нечетких множеств:

1. Подход, основанный на построении статистических моделей объектов с нечеткими коэффициентами на основе модификации методов регрессионного анализа.

2. Подход, основанный на использовании логических правил условного вывода, например, в следующем виде:

$$if \tilde{x}_1 \in \tilde{A}_1(\tilde{x}_2 \in \tilde{A}_2(\dots, (\tilde{x}_n \in \tilde{A}_n), \dots)), \tilde{y}_j \in \tilde{B}_j; j = \overline{1, m}, \tag{1}$$

где  $\tilde{x}_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ , – соответственно, входные и выходные лингвистические переменные объекта, влияющие на технико-экономические и экологические показатели объекта,  $\tilde{A}_i, \tilde{B}_j$  – нечеткие подмножества, характеризующие  $\tilde{x}_i, \tilde{y}_j$ .

3. При построении моделей системы, представляющей собой комплекс взаимосвязанных блоков различного типа с различной исходной информацией, приходится использовать комбинированную информацию.

В результате анализа и обобщения возможных подходов моделирования сложных объектов при нечеткости исходной информации в данной работе предлагается методика, на основе которой разработан алгоритм синтеза моделей технологического комплекса при нечетких входных и выходных параметрах, который использует логические правила условного вывода и реализует второй подход нечеткого моделирования и позволяет построить лингвистические модели в нечеткой среде.

В первом пункте методики, определяется необходимое количество входных и выходных параметров объекта для построения модели. С этой целью в зависимости от требуемой точности и изученности процесса выделяются основные параметры процесса. Диапазоны изменения этих параметров удобно задать в виде отрезков:  $x_i = [a_i^{\min}, a_i^{\max}]$ ,  $y_j = [b_j^{\min}, b_j^{\max}]$  и каждый из этих отрезков разбивается на интервалы дискретизации:

$$a_i^{\min} = a_{i1} < a_{i2}, \dots, < a_{if} = a_i^{\max}, \tag{2}$$

$$b_j^{\max} = b_j < b_{j2}, \dots, < b_{jl} = b_j^{\min}, \tag{3}$$

В общем случае, интервалы дискретизации (длина квантов) не равны, а также диапазоны изменения могут быть разбиты на различное количество квантов.

Во втором пункте для построения терм - множества состояний объекта - значения параметра каждого кванта словесно характеризуются соответствующими нечеткими терминами.

$$u_i = \{\text{ниженормы, норма, вышенормы}\}$$

$$y_j = \{\text{низкая, нижесредней, средняя, вышесредней, высокая}\}.$$

Выбранные параметры являются и лингвистическими переменными, так как используются специалистами для описания состояния на языке нечетких множеств. Каждый интервал дискретизации характеризуется определенным термом, и этому терму соответствует нечеткое множество, которое определяется функцией принадлежности на соответствующем ей уровне градации.

В случае, когда количество термов, определяющих множество входных и выходных параметров, велико трудно определить большое число необходимых ступеней принадлежности, и возникает задача интерполяции промежуточных значений, т.е. синтеза новых термов по небольшому количеству имеющихся термов.

$$\mu_{A_i}^p(u_i) = \exp\left(-Q_{ip}^A \times C_{A_{ip}}^{-1} \times \left| (u_i - a_{ip}^{md})^{N_{ip}^A} \right|\right), \quad (4)$$

где  $\mu_{A_i}^p(u_i)$  – функции принадлежности параметров  $u_i$  к нечеткому множеству  $A_i$ ;  $p$  – номер градации;  $Q_{ip}^A$  – параметры, которые находятся при идентификации функции принадлежности и определяющие уровень нечеткости;

В третьем пункте строятся функции принадлежности. Основным фактором является построение графической кривой степени принадлежности того или иного параметра соответствующему нечеткому множеству. На основе этого графика подбирается такой вид функции, который наилучшим образом аппроксимирует его. После этого решаем задачу идентификации параметров функции. Обработка результатов экспертного опроса показала, что функции принадлежности нечетких подмножеств, формализующие принятые термины, характеризуются следующей зависимостью:

$C_{A_{ip}}^{-1}, N_{ip}^A$  – коэффициенты для изменения области термов и формы функции принадлежности нечетких параметров.

Аналогично определяются функции принадлежности и выходных параметров  $y_j$ .

$$\mu_{B_j}^p(y_j) = \exp\left(-Q_{jp}^B \times C_{B_{jp}}^{-1} \times \left| (y_j - b_{jp}^{md})^{N_{jp}^B} \right|\right), \quad (5)$$

где  $a_{ip}^{md}, b_{jp}^{md}$  – нечетное подмножество, характеризующее выходные лингвистические переменные.

$$a_{ip}^{md} = \frac{a_{ip} + a_{ip+1}}{2}, \quad (6)$$

$$b_{jp}^{md} = \frac{b_{jp} + b_{jp+1}}{2}, \quad (7)$$

Четвертым пунктом является построение лингвистической модели объекта, на основе которой строятся нечеткие отображения  $R_{ij}$ , определяющие связь между входными и выходными параметрами. Формализацию такого нечеткого отображения удобно осуществить методом логической оценки. В этом случае на основе поступающей с объекта информации используются терм

– множества лингвистических переменных входа и выхода, задается полное описание всех возможных ситуаций. Это описание называется лингвистической моделью и состоит из набора логических правил вида:

$$\text{если } X_i \text{ то } Y_j$$

где  $X_i, Y_j$  – входные и выходные лингвистические переменные. Каждое такое логическое правило определяет одно из состояний объекта, а их набор определяет возможные ситуации.

Для практического применения отображения  $R_{ij}$  нужно построить матрицы нечетких отношений  $\mu_{R_j}(u_i, y_j)$ , например, в общем случае для выделенных интервалов дискретизации:

$$\mu_{R_j}(u_i, y_j) = \min[\mu_{A_i}(u_i), \mu_{B_j}(y_j)], i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (8)$$

Затем применением операции объединения определяются искомые отображения:

$$R_{ij} = \bigcup_{p=1}^k R_{ij}^p, \quad (9)$$

Пятый пункт. Синтез нечеткой модели заключается в применении композиционного правила вывода:

$$\mu_{B_j}(u_i^*, y_j^*) = y_j \max\{\min[\mu_{A_i}(u_i^*), \mu_{R_{ij}}(u_i, y_j)]\}, \quad (11)$$

Имея  $u_i^*$  – измеренные значения входных переменных, определяются их функции принад-

$$B_j = A_i \times R_{ij}, \quad (10)$$

С помощью этого правила осуществляется расчет выходных переменных по следующему выражению:

лежности. Затем, используя максимумное произведение, определяются прогнозируемые значе-

ния выходных переменных  $y_j$  в виде соответствующих функций принадлежности. Конкретные числовые значения выходных параметров из нечеткого множества определяются по следующему критерию:

$$y_j^{**} = \arg \max_{y_j} \mu_{B_j}(y_j), \quad (12)$$

т.е. выбираются те значения выходных параметров, имеющие максимум функций принадлежности.

В шестом пункте проверяется условие адекватности модели. Если условие выполняется модель рекомендуется для исследования и управления объектом, в противном случае вернуться к предыдущим пунктам для уточнения модели.

Таким образом, проблема неопределенности решается созданием математического аппарата для описания и исследования нечетко определенных объектов.

В результате анализа доступных данных и исследования режимов работы этих блоков для разработки их моделей выбраны комбинированные методы синтеза математических моделей с учетом дополнительной нечеткой информации от специалистов-экспертов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуреев А.А., Коновалов А.А., Самсонов В.В. Состояние и перспективы развития производства дорожных вяжущих материалов в России // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2008. №1. С. 12–16.
2. Глуховский А.П. Все начинается с битума // Автомобильные дороги. 2003. №2. С. 16–17.
3. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. М.: Химия, 1973. 432 С.
4. Анисимов Я.В., Бодров В.М., Покровский В.Б. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. М.: Химия, 1975. 212с.
5. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М. 1981. С. 32–43.
6. Оразбаев Б.Б., Сериков Т.П. Применение методов экспертных оценок для исследования и управления технологическими объектами нефтепереработки. Аналит. обзор КазгосИНТИ. Атырау. ЦНТИ. 1994. 25с.
7. Дианов В.Г. Автоматизация процессов в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М. Химия, 1968. С. 296–297, 299–300.
8. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
9. Умергалин Т.Г., Галиаскаров Ф.М. Методы расчетов основного оборудования нефтепереработки и нефтехимии. Учебное пособие. Уфа: Изд-во: Нефтегазовое дело, 2007. 236 .
10. Kehr H. Zum Haftverhalten von niedermolekularmodifizierten Bitumen // Bitumen. 1998. № 4. S. 141–142.
11. Pubii D., Frade E. Fuzzy Sets and Systems. Theory and application // Acad. Press. N-York, 1980.
12. Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: учебное пособие. Тамбов: Изд-во «ТГТУ», 2003. 224 с.
13. Грушко И.М., Королев И.В., Борщ И.М., Мищенко Г.М. Дорожно-строительные материалы. Учебник. М.: Транспорт, 1991. 357 с.
14. Леонович И.И., Стрижебвский В.А., Шумчик К.Ф. Испытание дорожно-строительных материалов. Учебное пособие. Минск.: Высшая школа, 1991. 280 с.
15. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

**Eremenko V.T., Lobanova V.A., Fomin N.I.**

### THE STUDY AND MANAGEMENT OF THE PROCESS TO PRODUCE VISCOUS BITUMEN FOR ROAD CONSTRUCTION IN TERMS OF MINI-REFINERIES

*The article presents the structure of the technological process of production of bitumen and fuel from heavy oil in conditions of a mini-refinery, the proposed modeling methodology and methods of control of complex technological processes of oil refining, for example, installations for the production of bitumen and heavy fuel oil.*

**Key words:** viscous bitumen, oil refineries, heavy oil.

**Ерёменко Владимир Тарасович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроника, радиотехника и системы связи»

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.

Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40.

E-mail: wladimir@orel.ru

**Лобанова Валентина Андреевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника, радиотехника и системы связи»

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.

Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40.

E-mail: lvanata@yandex.ru

**Фомин Николай Иванович**, аспирант кафедры «Электроника, радиотехника и системы связи»

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.

Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40.

E-mail: Fobos-0203@yandex.ru