



УДК 519.7

## УПРАВЛЕНИЕ ВАКУУМНЫМ БЛОКОМ В ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ

### CONTROL OF THE VACUUM BLOCK IN THE PRIMARY OIL REFINING

**Меликов Эльчин Адиль оглы**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры управления и инженерии систем,  
Азербайджанский государственный  
университет нефти и промышленности  
elchin03@mail.ru

**Аннотация.** Исследованы кибернетические основы задачи моделирования и алгоритмизации управления вакуумным блоком установки первичной переработки нефти типа ЭЛОУ-АВТ, позволяющей повысить экономическую эффективность производства получаемых товарных нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** вакуумный блок, математическая постановка задачи, оптимальное управление, технологический процесс.

**Melikov Elchin Adil**

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor  
of Control and engineering systems,  
Azerbaijan State University  
of Oil and Industry  
elchin03@mail.ru

**Annotation.** The cybernetic fundamentals of the problem modeling and algorithmic control for the vacuum block of an ELOU-AVT type primary oil refining plant, which allows to increase the economic efficiency of the production of the resulting oil products, are investigated.

**Keywords:** vacuum block, mathematical formulation of the problem, optimal control, technological process.

Первичная переработки нефти является важнейшей и составной частью нефтяной отрасли. Поступающая с различных месторождений сырая нефть последовательно проходя через ректификационные колонны подвергается в этих комплексах процессу первичной перегонки.

Как объекты управления, технологические комплексы первичной переработки нефти характеризуются сложностью составляющих их аппаратов, большим количеством неконтролируемых и управляемых технологических параметров, большим числом разнотипных технологических агрегатов со сложными технологическими связями между ними и т.д.

В статье в качестве объекта исследования рассматривается вакуумный блок первичной переработки нефти. Известно, что в вакуумных блоках остаточный мазут перерабатывается в масляные фракции, используемые при производстве смазочных материалов для машиностроения, двигателей внутреннего сгорания и различного оборудования.

В связи с вышеизложенными особенностями рассматриваемого объекта, решение актуальной задачи повышения качества управления вакуумным блоком в нефтепереработке и, как следствие, увеличение экономической эффективности производства нефтепродуктов представляет собой большую научную и практическую ценность в целом.

Следует отметить, что исследование современных систем автоматизации существующих установок первичной переработки нефти показывает их преимущественную направленность на решение локальных функций и задач управления. Однако в современное время, локальная автоматизация уже не в состоянии удовлетворить и обеспечить растущие конкурентные запросы современного рынка.

В представленной статье рассмотрены и исследованы кибернетические основы задачи управления вакуумным блоком установки первичной переработки нефти и предложен принцип двухуровневой алгоритмизации для системы автоматического управления, позволяющей повысить экономическую эффективность производства в целом [1]. Здесь осуществляется как оперативное параметрическое управление основными технологическими агрегатами вакуумного блока, так и решение задачи инвариантной стабилизации технологических режимов в условиях недостаточности информации о состоянии исследуемого объекта управления.

Как известно, наиболее значимыми для качественного управления аппаратами технологического комплекса вакуумного блока являются: трубчатая печь, осуществляющая подогрев мазута, вакуумная колонна для ректификации мазута и отпарные колонны. Но, с точки зрения наибольшей роли в получении целевых нефтепродуктов, основным объектом управления блока является ректификационная колонна К-4, которая осуществляет ректификацию мазута в условиях вакуума. Мазут нагреваясь в печи Н-201 до температуры 405–415 °С, поступает в низ вакуумной колонны К-4. С верха колонны К-4 отводится легкая масляная фракция при температуре 155–185 °С, основной поток которой подается в товарную секцию. Получаемая с колонны К-4 тяжелая масляная фракция с температу-



рой 290–310 °С через низ отпарной колонны К-5В поступает в товарную секцию. С низа колонны К-4 отводится тяжелый вакуумный газойль, а с куба откачивается остаточный гудрон с температурой 340–345 °С.

Следует отметить, что основными управляемыми координатами рассматриваемого процесса являются матрицы температурных режимов и остаточных давлений. Возмущающими же факторами рассматриваемого процесса являются вариации качества и количества мазута, поступающего с атмосферного блока К-2. При этом, практика эксплуатации вакуумных блоков в реальных условиях показывает, что для них основным показателем является максимизация выхода и качества масляных фракций, содержащихся в перерабатываемом мазуте с минимальными затратами энергии и имеющихся ресурсов. В связи с этим, решение данной проблемы необходимо обеспечить оптимальным управлением данным технологическим процессом.

Учитывая вышесказанное, математическая постановка задачи оптимального управления вакуумным блоком первичной переработки нефти запишется в виде:

$$y_{lm} = f_1(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A}) \rightarrow \max, \tag{1}$$

$$G_{lm}^p = f_2(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A}) \geq 0,8770, \tag{2}$$

$$G_{lm}^{vYZ} = f_3(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A}) \leq 8,5, \tag{3}$$

$$G_{lm}^{tv} = f_4(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A}) \geq 135, \tag{4}$$

$$y_{tm} = f_5(F_m, t_n, P, t_{K-5B}) \rightarrow \max, \tag{5}$$

$$G_{tm}^p = f_6(F_m, t_n, P, t_{K-5B}) \leq 0,9070, \tag{6}$$

$$G_{tm}^{tv} = f_7(F_m, t_n, P, t_{K-5B}) \geq 205. \tag{7}$$

При этом ограничения на управляющие и входные параметры блока:

$$\left\{ \begin{array}{l} 60 \text{ м}^3 / \text{ч} \leq F_m \leq 100 \text{ м}^3 / \text{ч} \\ 72 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_v \leq 88 \text{ }^\circ\text{C} \\ 385 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_n \leq 395 \text{ }^\circ\text{C} \\ 60 \text{ мм.р.ст.} \leq P \leq 80 \text{ мм.р.ст.} \\ 155 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{K-5A} \leq 185 \text{ }^\circ\text{C} \\ 270 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{K-5B} \leq 285 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right. \tag{8}$$

где  $y_{lm}$  и  $y_{tm}$  – соответственно выходы легкой и тяжелой масляных фракций;  $G_{lm}^p$ ,  $G_{lm}^{vYZ}$ ,  $G_{lm}^{tv}$ ,  $G_{tm}^p$ ,  $G_{tm}^{vYZ}$  и  $G_{tm}^{tv}$  – соответственно удельный вес, кинематическая вязкость и температура вспышки легкой и тяжелой масляных фракций;  $F$  – расход поступающего на переработку в вакуумный блок мазута;  $P$  – остаточное давление в вакуумной колонне К-4;  $t_n$ ,  $t_v$ ,  $t_{K-5A}$ ,  $t_{K-5B}$  – температурные режимы в контрольных точках вакуумной колонны К-4.

При математической формализации вакуумного блока рассматриваемого технологического комплекса математические модели, характеризующие количественные показатели целевых продуктов легких и тяжелых масляных фракций целесообразнее строить в нелинейной, а модели, описывающие качественные показатели вышеупомянутых продуктов – в линейной форме. Это обстоятельство дает возможность достижения необходимой адекватности комплекса разработанных математических моделей реальному процессу, протекающему в данном блоке установки.

В данной статье используется алгоритм градиентной адаптации, позволяющий поддерживать адекватность полученных математических моделей реальному процессу. В общем виде, здесь предлагается использовать общеизвестный постулат, при котором система может считаться адаптивной, если отклонение реального значения выходного параметра технологического процесса от его математического ожидания минимизировано сколь угодно малой величиной  $\varepsilon$ , характеризующая технологическую точность в разработке математических моделей (обычно значение  $\varepsilon$  является очень малой величиной и выражается в процентах).

Полученные математические модели, прошедшие адаптацию текущей ситуации относительно выходных координат вакуумного блока имеют следующий вид:



$$y_{yy} = -4501,1558 + 5,7527 \cdot F_m + 8,8673 \cdot t_{a\text{с}} + 45,948 \cdot t_{yux} + 3,0525 \cdot P + 8,7646 \cdot t_{K-5A} + 0,0432 \cdot F_m^2 - 0,0044 \cdot F_m \cdot t_{a\text{с}} - 0,1664 \cdot F_m \cdot t_{yux} - 0,0079 \cdot F_m \cdot P + 0,018 \cdot F_m \cdot t_{K-5A} - 0,00127 \cdot t_{a\text{с}}^2 - 0,0854 \cdot t_{a\text{с}} \cdot t_{yux} + 0,00055 \cdot t_{a\text{с}} \cdot P - 0,0069 \cdot t_{a\text{с}} \cdot t_{K-5A} + 0,1068 \cdot t_{yux}^2 - 0,036 \cdot t_{yux} \cdot P - 0,0856 \cdot t_{yux} \cdot t_{K-5A} - 0,0024 \cdot P^2 + 0,0019 \cdot P \cdot t_{K-5A} - 0,00292 \cdot t_{K-5A}^2; \quad (9)$$

$$G_{yy}^p = 0,9236 - 0,0000012 \cdot F_m - 0,000117 \cdot t_{a\text{с}} - 0,0000517 \cdot t_{yux} - 0,0001064 \cdot P - 0,00000177 \cdot t_{K-5A}; \quad (10)$$

$$G_{yy}^{\text{özl}} = 0,0213 - 0,04616 \cdot F_m + 0,02752 \cdot t_{a\text{с}} - 0,1339 \cdot t_{yux} - 0,003585 \cdot P + 0,05854 \cdot t_{K-5A}; \quad (11)$$

$$G_{yy}^{at} = 31,3126 - 0,23486 \cdot F_m + 0,1164 \cdot t_{a\text{с}} + 0,3665 \cdot t_{yux} + 0,000773 \cdot P + 0,259 \cdot t_{K-5A}; \quad (12)$$

$$y_{ay} = -3397,998 + 8,8025 \cdot F_m + 2,3294 \cdot t_{a\text{с}} + 11,961 \cdot P + 15,7958 \cdot t_{K-5B} + 0,00798 \cdot F_m^2 - 0,008 \cdot F_m \cdot t_{a\text{с}} - 0,0599 \cdot F_m \cdot P - 0,00989 \cdot F_m \cdot t_{K-5B} + 0,012 \cdot t_{a\text{с}}^2 + 0,000247 \cdot t_{a\text{с}} \cdot P - 0,03949 \cdot t_{a\text{с}} \cdot t_{K-5B} + 0,006135 \cdot P^2 - 0,03193 \cdot P \cdot t_{K-5B} + 0,004949 \cdot t_{K-5B}^2; \quad (13)$$

$$G_{ay}^p = 0,885 + 0,0000455 \cdot F_m + 0,00002 \cdot t_{a\text{с}} - 0,000022 \cdot P + 0,000041 \cdot t_{K-5B}; \quad (14)$$

$$G_{ay}^{at} = 120,2504 - 0,269759 \cdot F_m - 0,029625 \cdot t_{a\text{с}} - 0,046579 \cdot P + 0,433051 \cdot t_{K-5B}; \quad (15)$$

Как видно из вышеприведенного, математическая постановка задачи оптимизации (1)–(8), построенная на базе математических моделей (9)–(15) является задачей нелинейного программирования. Тогда, для численного решения поставленной задачи оптимизации эффективнее использовать метод множителей Лагранжа, так как для решения данной задачи оптимизации большой размерности этот метод дает возможность редуцировать ее в комплекс простых составляющих ее подзадач.

Основываясь на нахождении частных производных целевой функции, решение данной задачи оптимизации с помощью метода Лагранжа сводится к нахождению координат седловой точки функции Лагранжа. Основная идея данного метода состоит в переходе от задачи на условный экстремум к задаче отыскания безусловного экстремума некоторой построенной функции Лагранжа. Тогда, для рассматриваемой задачи (1)–(8) функция Лагранжа запишется в виде:

$$L = f_1(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A}) + f_5(F_m, t_n, P, t_{K-5B}) + \lambda_1[f_2(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A}) - 0,8770] + \lambda_2[8,5 - f_3(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A})] + \lambda_3[f_4(F_m, t_n, t_v, P, t_{K-5A}) - 135] + \lambda_4[0,9070 - f_6(F_m, t_n, P, t_{K-5B})] + \lambda_5[f_7(F_m, t_n, P, t_{K-5B}) - 205] + \lambda_6[t_n - 385] + \lambda_7[395 - t_n] + \lambda_8[t_v - 72] + \lambda_9[88 - t_v] + \lambda_{10}[P - 60] + \lambda_{11}[80 - P] + \lambda_{12}[t_{K-5A} - 155] + \lambda_{13}[185 - t_{K-5A}] + \lambda_{14}[t_{K-5B} - 270] + \lambda_{13}[285 - t_{K-5B}], \quad (12)$$

где  $\lambda_i$  – множители Лагранжа.

Разработанный алгоритм решения нелинейной задачи оптимизации состоит из следующих последовательных шагов:

Шаг 1. Составляется функция Лагранжа (9).

Шаг 2. Отыскивается безусловный экстремум построенной функции Лагранжа по управляемым координатам технологического процесса.

Шаг 3. Согласно известной теореме Куна-Таккера фиксируются необходимые и достаточные условия для точки экстремума.

Шаг 4. С помощью метода искусственного базиса [2] отыскиваются координаты точки экстремума.

Шаг 5. Находится оптимальная форма исходной задачи и вычисляются значения целевой функции.

В связи с требованиями современного времени возникает необходимость в разработке новых и современных систем автоматического управления, основанных на энергосберегающих и инвариантных к возмущениям стратегиях, а также способных эффективно функционировать в условиях непол-



ноты информации. В условиях существования больших вариаций возмущающих воздействий на входе вакуумного блока, стабилизация качества получаемых в ректификационных колоннах различных фракций в той или иной степени зависит от адекватного и, самое главное, опережающе-оперативного регулирования степени орошения и температурного режима в точках отбора продуктов перегонки вакуумного блока.

Кроме того, при переходных режимах работы установки в условиях широкого диапазона изменения входных качественных характеристик сырья, одной лишь локальной и традиционной стабилизацией параметров на отпарных тарелках колонны не всегда удается достичь желаемого результата. Данная проблема также усугубляется наличием погрешностей оперативного контроля управляемых координат процесса, приводящих к дефициту адекватной параметрической информации от объекта управления в целом. Поэтому, для получения качественных продуктов при управлении данными типами комплексов, необходимо наличие корректирующих воздействий, позволяющих компенсировать входные возмущения установки. Для решения этой проблемы разрабатываются принципы построения комбинированной системы управления вакуумным блоком, заключающейся в осуществлении предваряющей коррекции режимных параметров локального регулирования отпарных тарелок колонны в зависимости от входных возмущений по качеству и количеству мазута, поступающего в вакуумный блок. Предусматривая предваряющий корректирующий сигнал, зависящий от вариаций по качеству и количеству мазута на входе и изменения степени орошения, а также градиента температурного режима на отпарных тарелках, становится возможным адаптация настроечных параметров для локальных регуляторов. В результате этого достигается наибольшая стабильность по качеству получаемых фракций и инвариантность к входным возмущениям всей системы в целом [3].

Таким образом, преимуществом предлагаемого подхода по сравнению с существующими системами является возможность поддержания стабильности качественных характеристик получаемых фракций при достаточно больших изменениях по количеству и качеству мазута. Разработанный алгоритм для системы управления процессом предусматривает осуществление корректирующих воздействий (небольшие возмущения поддаются коррекции при самонастройке локальных регуляторов, а большие изменения на входе процесса корректируются выбором новых оптимальных режимных параметров для адаптивного управления процессом) [4]. Вышесказанное обуславливает также экономическую целесообразность предлагаемого принципа управления, позволяющего в условиях широкого диапазона изменения входных возмущений достичь наибольшей стабильности качества получаемой товарной продукции с наименьшими энергетическими затратами.

#### Литература:

1. Алиев Т.М., Алиев Р.А., Эфендиев И.Р. Модели и алгоритмы многоуровневой оптимизации на примере АСУ нефтехимическими производствами // АН СССР: Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 6. – С. 173–182.
2. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. – М. : Высшая школа, 1986. – 319 с.
3. Ибрагимов И.А., Эфендиев И.Р. Методы оптимального управления нефтехимическими технологическими процессами. Теория и применение. – Баку : Элм, 1997. – 267 с.
4. Гусейнов И.А. [и др.]. Модели и алгоритмы многоуровневой системы управления установками первичной переработки нефти // Известия РАН: Теория и системы управления. – 2012. – № 1. – С. 83–91.

#### References:

1. Aliev T.M., Aliev R.A., Efendiev I.R. Models and algorithms for multi-level optimization on the example of ACS petrochemical production // Academy of Sciences of the USSR: Automation and Remote Control. – 1978. – № 6. – P. 173–182.
2. Akulich I.L. Mathematical programming in examples and problems. – M. : High School, 1986. – 319 p.
3. Ibragimov I.A., Efendiyev I.R. Methods of optimal control of petrochemical technological processes. Theory and application. – Baku : Elm, 1997. – 267 p.
4. Guseinov I.A. [et al.]. Models and algorithms of a multi-level control system for primary oil refining plants // Proceedings of the RAS: Theory and control systems. – 2012. – № 1. – P. 83–91.