

**В.П. Кобринец, Д.С. Карпович, А.Н. Юсупбеков**  
**СТАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА**  
**ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ**

Процесс переработки нефти в колонне К-102 является головным в цепочке технологических процессов НПЗ и относится к числу сложных технологических процессов, характеризующихся непрерывностью протекания массообменных процессов, большим числом связанных между собой технологических параметров большой единичной мощностью и энергоемкостью [1].

Для повышения эффективности процесса, связанного с увеличением выхода светлых нефтепродуктов, необходимо управление им по оптимальному алгоритму с использованием математической модели процесса и вычислительной техники. Это также вызвано повышенными требованиями к стабилизации качества получаемых в колонне фракций, изменениями количества, качества и температуры сырья, подаваемого в колонну, а также необходимостью оперативного решения задач по управлению колонной при изменении плановых заданий на номенклатуру получаемых в колонне К-102 топлив и величин отбора фракций.

Математическая постановка задачи оптимизации формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned} X(F, f) &= X_{\text{зад}} \\ W_i &= W_{i,\text{зад}} \quad (i = 1, 2, 3) \\ T_i &\leq T_i(X, U) \leq T_i \quad (i = 1, 2, 3) \\ U_i &\leq U_j \leq U_j \quad (j = 1, 2 \dots 10) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $W_1, W_2, W_3$  расходы фракций соответственно 140–180°, 180–230 °С, 230–360 °С;  $T_1, T_2, T_3$  – температуры выкипания 98 % соответственно фракций 140°–180°, 180°–230 °С и 50 % фракции 230–360 °С;  $U_j$  ( $F_n, F_o, S_1, S_2, S_3, t_1, t_2, t_3, t_n$  – вектор управляющих параметров;  $F$  – расход пара;  $F_0$  – расход острого орошения;  $S_1$  – расход верхнего циркуляционного орошения;  $S_2$  – расход 1-го ЦО;  $S_3$  – расход 2-го ЦО;  $P$  – давление в колонне;  $t_1$  – температура верха колонны;  $t_2$  – температура 1-го ЦО в колонну;  $t_3$  – температура 2-го ЦО в колонну;  $t_n$  – температура низа колонны;  $X(F, t_f)$  – вектор входных параметров ( $F$  – расход отбензиненной нефти,  $t_f$  – температура нефти).

В данном варианте задача оптимизации статических режимов работы колонны К-102 сводится при заданном значении вектора  $X(F, f)$  к реализации заданных значений расходов всех фракций  $W_1, W_2, W_3$  при выполнении заданных ограничений на качественные показатели: температуры выкипания 98 % фракций  $T_1 = 140\text{--}180$  °С, и  $T_2 = 180\text{--}230$  °С, и 50 % (96 %) фракции при  $230\text{--}300$  °С. Кроме того, накладываются позиционные ограничения на все управляющие воздействия  $U_j (j = 1, 2, \dots, 10)$ .

Решение задачи оптимизации в данном случае получается в виде зависимости:

$$U_{opt} = \bar{U}(X, W_1, W_2, W_3) \quad (2)$$

С учетом многофакторности и многосвязности технологических параметров процесса ректификации нефти в колонне К-102 для управления им в данных условиях целесообразно применить статистическую математическую модель. Для получения данной модели использованы данные о технологических параметрах процесса, взятые из режимных листов нормальной эксплуатации колонны в количестве 124 опробований с интервалом 2 ч в условиях ЛК-6У № 2 Мозырского НПЗ. При этом интервал времени между измерениями входных (в том числе и управляющих) и выходных параметров принят с учетом времени запаздывания.

Поэтому для всех параметров процесса рассчитаны статистические характеристики – математическое ожидание (среднее значение)  $\bar{X}_i$ , дисперсия  $S_{xi}$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{xi}$ , коэффициент вариации  $V_{xi}$ , которые сведены в таблицу 1, в которой также приведены минимальные ( $X_{min}$ ) и максимальные ( $X_{max}$ ) значения всех параметров в данной статистической выборке.

Корреляционный анализ показал, что параметры процесса многокомпонентной ректификации находятся в сложной нелинейной зависимости друг от друга, то целесообразно принять нелинейную форму регрессионной зависимости между данными параметрами. Ввиду значительного количества входных ( $X_i$ ) и управляющих параметров ( $U_j$ ) целесообразно применить параболическую зависимость 2-го порядка.

В данном варианте алгоритма оптимизации (3) расходы фракции  $W_1, W_2, W_3$  являются управляющими параметрами. Поэтому для всех выходных параметров  $T_1, T_2, T_3$  нелинейные уравнения регрессии в общем виде имеют вид (3).

Таблица 1

Параметр	Ср. значение $\bar{X}$	Дисперсия $S_x^2$	Ср. квадратическое отклонение $\sigma_x$	Коэф-т вариации $V_x$	Мин. значение $X_{\min}$	Макс. значение $X_{\max}$
$F$	876.0813	1384.3704	37.2071	0.0425	792.0000	949.0000
$F_0$	65.7317	103.0291	10.1503	0.1544	45.9000	80.0000
$S_1$	178.6748	798.8278	28.2635	0.1582	111.0000	208.0000
$S_2$	356.2033	799.4256	28.2741	0.0794	300.0000	397.0000
$S_3$	384.9512	478.2435	21.8688	0.0568	338.0000	410.0000
$P$	0.7914	0.0007	0.0258	0.0326	0.7300	0.8400
$F_p$	8.6182	0.4934	0.7025	0.0815	7.0800	9.9300
$t_1$	113.0894	1.0329	1.0163	0.0090	110.0000	116.0000
$t_2$	93.8382	22.7501	4.7697	0.0508	88.2000	110.0000
$t_3$	95.0642	7.8608	2.8037	0.0295	89.3000	104.0000
$t_H$	331.1707	9.4542	3.0748	0.0093	313.0000	337.0000
$t_f$	339.5203	11.8254	3.4388	0.0101	331.0000	346.0000
$T_1$	172.3415	16.8988	4.1108	0.0239	163.0000	178.0000
$T_2$	239.7073	59.7661	7.7309	0.0323	222.0000	256.0000
$T_3$	362.5854	28.5890	5.3469	0.0147	346.0000	374.0000
$W_1$	33.0714	135.2153	11.6282	0.3516	5.0600	45.6000
$W_2$	154.6992	29.6711	5.4471	0.0352	142.0000	160.0000
$W_3$	203.7967	417.3272	20.4286	0.1002	151.0000	249.0000

$$\begin{aligned}
Y_i = & b_{i0} + b_{i1}F + b_{i2}F_0 + b_{i3}S_1 + b_{i4}S_2 + b_{i5}S_3 + b_{i6}F_p + b_{i7}P + b_{i8}t_1 + \\
& + b_{i9}t_2 + b_{i10}t_3 + b_{i11}t_n + b_{i12}t_f + b_{i13}W_1 + b_{i14}W_2 + b_{i15}W_3 + b_{i16}F^2 + \\
& + b_{i17}F_0^2 + b_{i18}S_1^2 + b_{i19}S_2^2 + b_{i20}S_3^2 + b_{i21}F_p^2 + b_{i22}P^2 + b_{i23}t_1^2 + b_{i24}t_2^2 + \\
& + b_{i25}t_3^2 + b_{i26}t_n^2 + b_{i27}t_f^2 + b_{i28}W_1^2 + b_{i29}W_2^2 + b_{i30}W_3^2
\end{aligned} \quad (3)$$

С учетом принятой формы уравнений регрессии (3) с использованием статистических данных о технологических параметрах процесса для всех выходных параметров процесса ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ) рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии и оценена их адекватность.

При проведении расчетных исследований по данному варианту алгоритма оптимизации в качестве интервала ограничений по каждому выходному параметру ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ) и некоторым управляющим воздействиям ( $F_n$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_H$ ), как наиболее реальные для данного диапазона изменения расхода отбензиненной нефти, можно принять ограничения по  $i$ -тому параметру в диапазоне (4).

$$M(x_i) - \sigma_{x_i} \leq x_i \leq M(x_i) + \sigma_{x_i}, \quad (4)$$

где  $M(x_i)$  – среднее значение параметра  $x_i$ ,  $\sigma_{x_i}$  – среднее квадратическое отклонение  $x_i$ .

Величины  $M(x_i)$  и  $\sigma_{x_i}$  для всех параметров процесса приведены в таблице 1.

При определении интервала ограничений на такие управляющие воздействия как расходы всех орошений ( $F_0, S_1, S_2, S_3$ ), которые существенно влияют на результате расчетов, целесообразно принять следующее соотношение:

$$\hat{S}_i - \sigma_{S_i} \leq S_i \leq \hat{S}_i + \sigma_{S_i} \quad (i = 0, 1, 2, 3) \quad (5)$$

где  $\hat{S}_i$  – рассчитанное по уравнению регрессии вида

$$S_i = a_{i0} + a_{i1}F \quad (6)$$

значение соответствующего расхода  $i$ -го орошения при заданном расходе отбензиненной нефти  $F$ .

Коэффициенты  $a_{0i}, a_{i1}$ , рассчитанные для всех  $S_i$  приведены ниже:

	$F_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$F_p$
$a_{i0}$	127,799654	-337,913723	229,739692	340,69676	-0,401577
$a_{i1}$	-0,070847	0,589658	0,144351	0,050514	0,010296

Решение задачи оптимизации по данному алгоритму при выбранных по вышеприведенной методике интервалов ограничений для всех параметров было приведено для некоторых режимов работы колонны.

Программа, составленная по данному оптимальному алгоритму (1) с применением метода нелинейного программирования [2] на языке C++ представляет собой средство для проведения расчетов оптимальных режимов работы колонны для всех рассмотренных режимов работы по видам сырья и номенклатуре получаемой продукции в указанных интервалах расхода и температуры отбензиненной нефти. Разработано редактируемое окно данной программы, в которое можно вносить значения необходимых технологических параметров процесса и получать результаты вычислений оптимальных режимов его работы (советов оператору).

Таким образом, реализация данной программы в режиме советчика оператора позволит повысить эффективность процесса ректификации нефти в колонне К-102 за счет повышения качества получаемых продуктов и сокращения расходов энергоресурсов.

В соответствии с технологической целью ведения процесса из области ограничений на выходы фракций задаются их конкретные значения для каждой фракции, которые отображаются в соответствующих редактируемых полях. Нажатием кнопки «Вычислить» запускается программа вычислений и их результаты отображаются на расчетном поле против каждого параметра процесса. При проведении расчетов по программе вначале рассчитывается и отображается в редактируемых полях величины ограничений (минимальные и максимальные значения) управляющих  $U_j$  и выходных параметров  $Y_k$ , рассчитываемые по формулам (5) и (6). Имеется так же возможность подстановки в качестве величин ограничений указанных параметров любых других значений в соответствии с технической целью процесса.

Результатом работы программы является расчет и отображение численных значений в соответствующем поле оптимальных значений всех управляющих параметров и соответствующих им величин расходов фракций и их качественных показателей. Эти данные являются рекомендацией оператору для управления процессом в колонне при соответствующем варианте работы при заданной нагрузке по сырью. Рассчитанные по данной программе усредненные данные по выходным параметрам ( $W_1, W_2, W_3, T_1, T_2, T_3$ ) для некоторых фактических и расчетных оптимальных режимов приведены ниже.

$W_1$		$W_2$		$W_3$		$T_1$		$T_2$		$T_3$	
Расч.	Факт.	Расч.	Факт.	Расч.	Факт.	Расч.	Факт.	Расч.	Факт.	Расч.	Факт.
30.93	30.93	155.	155.6	205.	205.9	173.209	172.4	241.333	239.4	361.974	363.8
5	5	6		9		5		3		4	

Из данных видно, что при заданных значениях  $W_1, W_2, W_3$  расчетные показатели  $T_1, T_2, T_3$  близки к соответствующим фактическим и соответствуют технологической норме. При этом расчетный режим (советы оператора) позволяют для некоторых режимов существенно уменьшить расходы ЦО, что способствует улучшению динамических свойств процесса.

### Литература

1. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа. – М.; Химия, 2001 г.
2. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химии и химической технологии. – М.; Химия, 1980 г.