

В.П. Кобринец, доцент; В.В. Лихавицкий, ассистент

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ПО ОПТИМАЛЬНОМУ УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ В КОЛОННЕ К-102 В РЕЖИМЕ СОВЕТЧИКА ОПЕРАТОРУ

The paper is devoted to development of algorithm of optimization of control by a column in a condition of the adviser to an operator. During work the basic variants of work of column K-102 for various aspects of initial raw material (oil - westsib and RB) with simultaneous deriving target yields of the various nomenclature (gasoline, jet fuel, diesel fuel years{summer}, diesel fuel winter) were investigated. The program on optimization of static operating modes of algorithm of optimization in language C++ in a condition of the adviser to an operator is developed and composed at any of the considered variants of work of a column

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, управление им для технолога представляет сложную трудоемкую задачу, приводящую к разнообразным тактикам ручного управления, что снижает эффективность процесса. 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 [1, 2].

Для решения указанных задач, а также в соответствии с технологической целью процесса в колонне К-102 разработан алгоритм оптимизации статических режимов и программа решения задачи оптимизации на ЭВМ [1].

Математическая постановка задачи оптимизации формулируется следующим образом:

$$\begin{aligned}
 W_2 &= f_2(x, v) \rightarrow \max, \\
 \underline{W}_i &\leq W_1(x, v) \leq \overline{W}_i \quad (i=1, 3), \\
 \underline{T}_i &\leq T_1(x, v) \leq \overline{T}_i \quad (i=1, 2, 3), \\
 \underline{U}_j &\leq U_j < \overline{U}_j \quad (j=1, 2, \dots, 10), \\
 X &= (F, f) = \text{Ззад},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $W_1, W_2, W_3$  – расходы фракций соответственно  $140^\circ\text{--}180^\circ$ ,  $180^\circ\text{--}230^\circ$ ,  $230^\circ\text{--}360^\circ$ ;  
 $T_1, T_2, T_3$  – температуры выкипания 98% соответственно фракций  $140^\circ\text{--}180^\circ$ ,  $180^\circ\text{--}230^\circ$  и 50 % фракции  $230\text{--}360^\circ$ ;

$U_j (F_n, F_o, S_1, S_2, S_3, t_1, t_2, t_3, t_n)$  – вектор управляющих параметров,

где  $F$  – 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).

Черта внизу параметра (например,  $\underline{W}_1$ ) означает его нижнее (минимальное) значение, черта сверху параметра – верхнее (максимальное) значение в диапазоне изменения данного параметра.

При этом величины ограничений на выходные переменные ( $T_i$ ) и управляющие воздействия могут изменяться в соответствии с технологическими требованиями ведения процесса.

Задача оптимизации статических режимов колонны в постановке (1) сводится к следующему: при заданном значении вектора входных параметров  $X (F, t_f)$  – определить максимум выхода фракции  $180^\circ\text{--}230^\circ$  ( $W_2$ ) при выполнении заданных ограничений на расходы фракций  $140\text{--}180^\circ$  ( $W_1$ )  $230\text{--}360^\circ$  ( $W_3$ ) и температуры выкипания 98% фракций  $140\text{--}180^\circ$  ( $T_1$ )  $180^\circ\text{--}230^\circ$  ( $T_2$ ), выкипания 50 % (96 %) фракции  $230^\circ\text{--}360^\circ$  ( $T_3$ ).

Решение задачи оптимизации в этом случае получается в виде зависимости управляющих параметров процесса  $U$  от входных параметров  $X$ :

$$U_{\text{opt}} = U(X). \tag{2}$$

Обозначение параметра	Среднее значение параметра $\bar{X}$	Дисперсия параметра $S_x^2$	Среднее квадратическое отклонение $\sigma_x$	Коэффициент вариации $V_x$	Минимальное значение $X_{\min}$	Максимальное значение $X_{\max}$
$F$	876.0813	1384.37	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

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 ( $F_p, t_1, t_2, t_3, t_H$ ), как наиболее реальные для данного диапазона изменения расхода отбензиненной нефти, можно принять ограничения по  $i$ -тому параметру в диапазоне

$$M(x_i) - \sigma_{x_i} \leq X_i \leq M(x_i) + \sigma_{x_i}, \quad (3)$$

где  $M(X_i)$  – среднее значение параметра  $X_i$ ;  $\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение  $X_i$ .

Величины  $M(X_i)$  и  $\sigma_x$  для всех параметров процесса, рассчитанные по экспериментальным данным о режимах работы колонны, приведены в табл. 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 результаты расчетов, целесообразно принять следующее соотношение:

$$\bar{S}_i - \sigma_{S_i} \leq S_i \leq \bar{S}_i + \sigma_{S_i}, \quad (i=0, 1, 2, 3), \quad (4)$$

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

$$S_i = a_{i0} + a_{i1}F \quad (5)$$

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

Коэффициенты  $a_{i0}, a_{i1}$ , рассчитанные для всех  $S_i$  по экспериментальным данным, приведены в табл. 2.

Программный продукт, разработанный в соответствии с данным алгоритмом, реализованный на языке C++, представляет собой средство для проведения расчетов оптимальных режимов работы для всех рассмотренных режимов работы по видам сырья и номенклатуре получаемой продукции в указанных интервалах расхода и температуры отбензиненной нефти.

Основное окно программы приведено на рисунке.

При проведении расчетов по программе вначале рассчитываются и отображаются в редактируемых полях величины ограничений (минимальные и максимальные значения) управляющих  $U_j$  и выходных параметров  $Y_k$ , рассчитываемые по формулам (3), (4) и (5).

Таблица 2

Обозначение коэффициента	$F_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$F_p$
$a_{i0}$	127.799654	-337.913723	229.739692	340.69676	-0.401577
$a_{i1}$	-0.070847	0.589658	0.144351	0.050514	0.010296

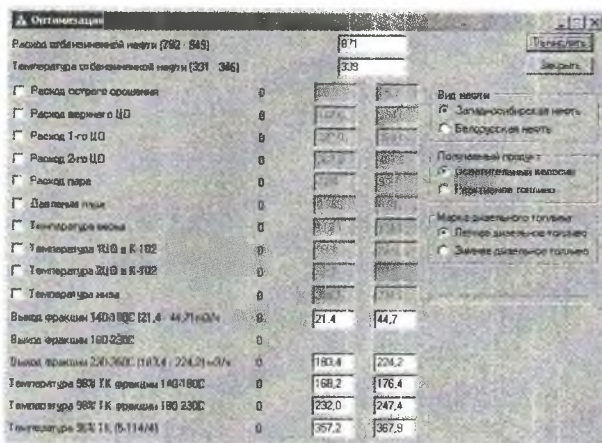


Рисунок. Основное окно программы «Оптимизация»

Имеется также 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 – рекомендация оператору для управления процессом в колонне при соответствующем варианте работы и заданной нагрузке по сырью.

Для вызова программы для данного режима работы колонны необходимо запустить файл «Algorithm\_1.exe», в результате чего на экране появится следующее окно (с заголовком «Оптимизация»).

В левой половине окна находятся наименования параметров, правее каждого из них расположено два поля ввода численных значений их интервалов ограничений. Слева от каждого наименования параметра находится переключатель для выбора режима ввода интервалов ограничений вручную. По умолчанию численные значения всех параметров равны 0. Против наименований «Расход отбензиненной нефти» и «Температура отбензиненной нефти» находится соответствующее поле ввода конкретных значений этих параметров.

Параметр «Выход фракции 180–230 °С» является расчетным оптимальным и не требует предварительного задания.

Полученные оптимальные значения отображаются напротив соответствующего параметра.

В правой части окна расположены кнопки «Вычислить» и «Закрыть». Кнопка «Вычислить» позволяет рассчитать оптимальный ре-

жим колонны. Кнопка «Закрыть» закрывает окно программы.

В правой части окна также находятся переключатели вида задаваемого сырья «Вид нефти» и номенклатуры получаемых продуктов «Получаемый продукт» и «Марка дизельного топлива», а также поле, отображающее ход выполнения расчета.

При запуске программы заданы по умолчанию «Вид нефти» – Западносибирская нефть, «Получаемый продукт» – осветкеросин и «Марка дизельного топлива» – летнее дизельное топливо.

Против (правее) параметров «Расход отбензиненной нефти» и «Температура отбензиненной нефти» отображаются диапазоны изменения этих параметров (в скобках) и их средние значения (в полях).

В ячейках против остальных параметров отображаются вычисленные по формулам (4) и (4) интервалы ограничений при среднем расходе нефти. Расчетное поле заполнено нулями.

При нажатии кнопки «Вычислить» происходит вычислительный процесс с отображением против каждого параметра его расчетных оптимальных значений.

Выбор варианта работы колонны по виду нефти и номенклатуре получаемых продуктов производится путем переключения соответствующего указателя с помощью курсора мыши.

После выбора данного варианта против параметров «Расход отбензиненной нефти» и «Температура отбензиненной нефти» отображаются диапазоны изменения данных параметров, в рамках которых может выполняться оптимизация процесса в колонне.

Задание в соответствующих редактируемых полях «Расход отбензиненной нефти» и «Температура отбензиненной нефти» и нажатие кнопки «Вычислить» повторяет вышеприведенную процедуру расчетов и отображений вначале интервалов ограничений, а затем – и оптимального режима работы колонны. Если при вводе в ручном режиме значение минимума меньше минимального значения либо больше максимального и значение максимума больше максимального, то при нажатии кнопки «Вычислить» редактируемое поле заполнится значением по умолчанию.

## Литература

Кобринец В. П., Лихавицкий В. В. Разработка алгоритма оптимального управления процессом ректификации нефти // Труды БГТУ. Сер. физ.-мат. наук и информ. – 2004. – Вып. XII. – С. 130–132.