

Python, можно успешно решать сложные дифференциальные уравнения в различных областях, что способствует научным исследованиям, инновациям и решению практических проблем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Stephen Lynch. Dynamical Systems with Applications using Python. Springer International Publishing AG. 2018. 812 p.
2. Python Documentation: <https://docs.python.org/>
3. SymPy Documentation: <https://docs.sympy.org/latest/index.html>
4. SciPy Documentation: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/>
5. NumPy Documentation: <https://numpy.org/doc/stable/>

УДК 655.52-529

В. П. Кобринец, доц., канд. техн. наук;  
Д. С. Карпович, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Оптимизация процесса ректификации в колонне К-102 должна обеспечить наивыгоднейшее значение определенного критерия – целевой функции – при заданных ограничениях.

Выбор целевой функции – один из наиболее ответственных этапов в формулировании задач оптимизации. Целевую функцию необходимо выбирать исходя из конкретных специфических условий. Например, при энергоемком производстве целевой функцией может быть минимальный расход энергии при соблюдении заданных ограничений; при производстве видов продукции, временно дефицитных, целевой функцией может быть максимальное количество продукции.

Процесс первичной переработки нефти 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. Этим предопределяется целесообразность управления такого рода процессами с использованием математических методов и средств вычислительной техники.

Одной из важнейших задач в области нефтепереработки является более эффективное использование нефти для производства моторных топлив. В первую очередь это относится к более полному извлечению из нефти потенциала светлых нефтепродуктов. Возможный отбор суммы светлых нефтепродуктов зависит не только от качества нефти. Он является также функцией вырабатываемого ассортимента нефтепродуктов, так как для одновременного приготовления бензина,

разных сортов бензина, разных сортов керосина и дизельных топлив, требуются одни и те же фракции нефти. Поэтому с увеличением или уменьшением отбора бензина, керосина, дизельного топлива зимнего соответственно уменьшается или увеличивается потенциал суммы светлых нефтепродуктов за счет возможного вовлечения в дизельное топливо летнего таких высококипящих фракций нефти, как 350–370°C. Одним из решающих факторов для достижения этой цели является оптимальное управление процессом первичной переработки нефти в колонне К-102. Это вызвано повышенными требованиями к стабилизации качества получаемых в колонне фракций и качества нефтепродуктов, существенными изменениями качества подаваемого сырья на установку, необходимостью оперативного решения задач по управлению установкой при изменении плановых заданий на отборы нефтепродуктов. В процессе эксплуатации объекта целевые функции могут изменяться в зависимости от изменяющейся постановки задачи оптимизации. При этом для разработки алгоритма оптимизации необходимо определять зависимость выбранной целевой функции от значений параметров процесса, возмущающих и управляющих воздействий и составлять программы расчета оптимальных значений режимных параметров процесса.

При ректификации многокомпонентной смеси возмущающими воздействиями являются расход  $F_p$ , состав  $x_p$  и энергетическое состояние сырья  $q$ , управляющими воздействиями являются расход пара  $V$  и отбор дистиллятов  $F_{n+1}$ .

Задача оптимизации многокомпонентной смеси может быть сформулирована в следующей форме. Необходимо определить управляющие воздействия  $F_{n+1}^*$  и  $V^*$ , минимизирующие целевую функцию  $Q$ , при производительности не ниже заданной, себестоимости проведения процесса не выше заданной и соблюдении ограничений по качеству продукции, гидродинамической обстановке на контактных устройствах и условиях физической реализуемости.

Запишем общую задачу оптимизации МКР:

$$\begin{aligned} \min Q(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) = Q(F_p, x_p, q, V^*, F_{n+1}^*) \\ V, F_{n+1} \in U \end{aligned} \quad (1)$$

при соблюдении ограничений

а) по качеству целевых продуктов

$$\left. \begin{aligned} x_{n+1,j}^3 &\leq x_{n+1,j}(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) \\ \forall_j &\in M_1 \\ x_{n+1,j}^3 &\geq x_{n+1,j}(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) \\ \forall_j &\in M_2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{0,j}^3 &\geq x_{0,j}(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) \\ \forall_j &\in M_3 \\ x_{0,j}^3 &\leq x_{0,j}(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) \\ \forall_j &\in M_4 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

б) по гидродинамической обстановке на контактных устройствах

$$\left. \begin{aligned} V_{\max}(L) &\leq V \leq V_{\min}(L) \\ L_{\min} &\leq L \leq L_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

в) по производительности по целевым продуктам и затратам на их производство

$$F_{n+1}^3 \leq F_{n+1}(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) \quad (14)$$

или

$$F_0^3 \leq F_0(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) \quad (15)$$

$$c^3 \geq c(F_p, x_p, q, V, F_{n+1}) \quad (16)$$

г) по условиям физической реализуемости

$$\left. \begin{aligned} 0 &< F_{n+1} < F_p \\ F_p^{\min} &\leq F_p \leq F_p^{\max} \\ 0 &< x_{ij} < 1 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Аналогично изложенному выше назовем область  $Y$ , где выполняются ограничения (11) - (12), допустимой, а  $F_{n+1}^*$ ,  $V^* \in U$ , которым соответствует экстремум целевой функции  $Q^*$  – оптимальными.

Постановка и решение некоторых типовых задач оптимизации установок нефтехимического комплекса заключается в следующем.

*Задача I.* При заданном векторе возмущающих воздействий  $(F_p, x_p, q)$  минимизировать энергозатраты на производство единицы целевого продукта (в рассматриваемом случае – дистиллята)

$$\min Q = \min_{V, F_{n+1} \in U} \left[ \frac{1}{F_{n+1}} (\beta_1 V + \beta_2) \right] = \frac{1}{F_{n+1}^*} (\beta_1 V^* + \beta_2) \quad (18)$$

при производительности не менее заданной, выполнении ограничений по концентрациям компонентов в продуктах, заданных неравенствами (11), (16), и условиям физической реализуемости (17).

Относительно множества допустимых значений управляющих воздействий  $U$  предполагается (в задачах I и II), что оно не является пустым, т. е. допустимая область не является вырожденной, что проверяют при исследовании статической характеристики объекта.

*Задача II.* При заданном векторе возмущающих воздействий максимизировать производительность установки по выходу целевого продукта (здесь дистиллята)

$$\max_{V, F_{n+1} \in U} F_{n+1} = F_{n+1}^* \quad (19)$$

при себестоимости не выше заданной (16), выполнении ограничения по концентрации компонентов в продуктах и условий физической реализуемости.

В рассматриваемой системе для обеспечения оперативности управления может быть предусмотрено восстановление кривой ИТК нефти по косвенным показателям (плотности  $d_4^{20}$ , температуре застывания  $t_3$ , вязкости  $\nu_{20}$ ).

Для установления зависимости между этими показателями и ИТК в условиях ОАО МНПЗ были использованы данные лабораторных анализов о процентах выкипания при различных температурах разгонки нефти.

После обработки данных с помощью аппарата множественной регрессии были получены уравнения регрессии, имеющие высокие коэффициенты множественной корреляции (в линейном варианте).

$$\begin{aligned} Y_1 &= -1351.1709 + 1.6245X_1 - 1.0549X_2 - 0.8861X_3 \\ Y_2 &= -729.0468 + 0.8650X_1 - 0.0422X_2 - 0.0354X_3 \\ Y_3 &= 4160.2190 - 4.8101X_1 - 0.2532X_2 - 0.2127X_3 \\ Y_4 &= 13393.3431 - 15.5696X_1 + 0.7595X_2 - 0.8620X_3 \end{aligned}$$

Основная задача сводится к максимизации отбора светлых продуктов и формулируется как

$$y = \sum_{i \in I_c} \left( \sum_{j=1}^{p_i} \beta_{ij} u_j + \sum_{j=1}^{q_i} \gamma_{ij} K_j \right) \rightarrow \max \quad (20)$$

при

$$\begin{aligned} \underline{u}_j &\leq u_j \leq \bar{u}_j, u_j \in \bar{P}_{\text{до}}, \\ \underline{Z}_s &\leq Z_s (\bar{P}_{\text{до}}, \bar{K}_H) \leq \bar{Z}_s, S = \overline{1, k_c}, \end{aligned}$$

где  $I_c$  – множество светлых продуктов (бензин, керосин и дизельное топливо);  $p_i$  и  $q_i$  – соответственно количество управляющих воздействий и показателей качества нефти в моделях;  $u_j$  – управляющие воздействия (температуры 1-го и 2-го перетоков из К-102 в стриппинги, температуры левого и правого потоков на выходе из печи П-101, температуры низа и верха К-102), на которые накладываются позиционные ограничения;  $K_j$  – показатели качества нефти;  $\beta_{ij}$  и  $\gamma_{ij}$  – коэффициенты регрессии;  $Z_s$  – показатели качества светлых продуктов (температуры начала и конца кипения, вспышки и застывания), которые имеют вид регрессионных моделей;  $\bar{P}_{\text{до}}$  – вектор режима атмосферной части установки ППН;  $\bar{K}_H$  – вектор показателей качества нефти;  $k_c$  – количество показателей качества светлых продуктов.

Благодаря использованию линейного описания процесса для решения задачи оптимизации оказалось возможным использовать ме-

тод линейного программирования (ЛП), когда в модели, используемой в задаче оптимизации, имеется показатель качества нефти, его текущее значение умножается на соответствующий коэффициент и результат суммируется со свободным членом, т. е. корректируется свободный член модели:

$$\gamma_{0i}^* = K_j \gamma_{ij} + \gamma_{0i},$$

где  $\gamma_{0i}$  – свободный член уравнения регрессии без учета качества нефти. Затем формируется массив ограничений и решается задача оптимизации.

УДК 004.451

А.А. Королёв, ст. преп. кафедры АППиЭ  
(БГТУ, г. Минск)

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ**

Операционными системами реального времени называют ОС, реагирующие в предсказуемое время на непредсказуемое появление внешних событий. В данных системах важно не время задержки реакции ОСРВ, а то, чтобы этого времени было достаточно для рассматриваемого приложения, и оно было гарантировано, и работа системы была предсказуема.

Различают системы «жесткого» и «мягкого» реального времени. ОС «жесткого» реального времени гарантирует выполнение каких-то действий за определённый интервал времени, и при этом даже минимальные задержки в отклике могут привести к катастрофическим последствиям для системы. ОС «мягкого» реального времени, как правило, успевает выполнить действия за заданный промежуток времени, но даже если задержка возникает, плата за это является существенной.

Для подобных систем характерно гарантированное время реакции на внешние события (прерывания от оборудования), жесткая подсистема планирования процессов (высокоприоритетные задачи не должны вытесняться низкоприоритетными), повышенные требования к времени реакции на внешние события или реактивности.

ОСРВ для встраиваемых систем должны [1]:

- запускаться и работать в бездисковом исполнении (важен не большой объем исполняемого кода);
- поддерживать как можно больше процессоров;
- поддерживать как можно больше видов спецоборудования;
- иметь специализированный инструментарий для создания и отладки программного обеспечения (ПО).

Можно выделить следующие ОСРВ для встраиваемых систем.