

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колпиков Г.Г. и др. Методы и средства автоматического контроля твердой фазы в суспензиях калийных обогатительных фабрик: Обзорн. инф. // ВНИИГ. – М.: НИИТЭХИМ, 1976. – (Развитие калийной промышленности.)
2. Головков Б.Ю. Автоматизация калийных обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1983.
3. А.с. СССР №968702 опубл. в Б.И. №39, 1982.

УДК 681.3:665.6

И.Ф. Кузьмицкий, доцент; В.П. Кобринец, доцент; В.В. Лихавицкий, аспирант

### СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ В АТМОСФЕРНОЙ КОЛОННЕ

During operation the statistical data of hunting groups of the process were assembled and their processing with application correlation and regression of the analyses is conducted.

In outcome the main statistical characteristics of parameters of the process are defined, their correlation analysis is conducted and the equations of regression for main metrics of the process are obtained.

Основная ректификационная колонна К-102, в которой отбензиненная нефть подвергается разделению на целевые фракции, является важнейшим аппаратом во всем цикле нефтепереработки в условиях ОАО «Мозырский НПЗ». От эффективного управления ею повышаются качество и количество получаемых продуктов разделения: бензина и мазута. Повышение эффективности управления колонной может быть достигнуто улучшением показателей качества переходных процессов в системах автоматического регулирования (АСР) основных технологических параметров путем оптимальной настройки автоматических регуляторов. При этом первым и важным этапом решения данных задач является анализ потоков информации об объекте управления, определение основных характеристик параметров процесса и взаимосвязей между ними на основе статистической обработки данных этой информации.

Для исследования процессов многокомпонентной ректификации в колонне К-102 были использованы непрерывные опробования (в количестве 360) процессом с интервалом в 2 часа.

В таблице приведены наименования исследуемых параметров, их условные обозначения и рассчитанные значения основных статистических характеристик: среднее значение  $\bar{X}_i$ , дисперсия  $S_{X_i}^2$  и коэффициент вариации  $V_{X_i}$ .

Таблица

Наименование параметра	Обозначение параметра	Среднее значение параметра	Дисперсия параметра	Коэффициент вариации
расход нф на установку	X1	815.9318	201.8197	0.0174
расход остр. орош. в К-102	X2	54.0000	204.3511	0.2647
расход орош. в Т-103,104	X3	360.3939	109.5230	0.0290
расход цо-2 в Т105,Т106	X4	355.6288	107.7314	0.0292
расход мазута после Т109	X5	185.8333	53.6056	0.0394
расход мазута после Т111	X6	177.0682	129.3617	0.0642
расход пара в К-102	X7	7.2348	0.0206	0.0198
расход бензина в Е101	X8	60.6515	7.7097	0.0458
давление верха К-102	X9	0.7136	0.0012	0.0483
уровень в К-102	X10	51.0227	24.6331	0.0973
темп. сырья 1 из П101 в К-102	X11	342.7045	5.7975	0.0070
темп. сырья 2 из П101 в К-102	X12	341.2121	3.1302	0.0052
темп. низа К-102	X13	337.2348	2.5475	0.0047
темп. верха К-102	X14	111.8106	1.5745	0.0112
темп. пара в К-102 5 тар.	X15	315.9924	8.9389	0.0095
темп. пара вК-102 14 тар.	X16	223.7500	5.2424	0.0102
темп. пара вК-102 29 тар.	X17	160.9015	2.5169	0.0099
темп. 1 циркуляционного орошения	X18	89.1818	2.0583	0.0161
темп. 2 циркуляционного орошения	X19	102.6894	5.3608	0.0225
темп. бенз.из Х-104	X20	48.3182	64.1881	0.1658
расх. фр. 140-180 в ст.бенз.	X21	29.3409	728.0127	0.9196
расх. фр. 140-180 в ст.кат.	X22	0.3205	0.1265	1.1100
расх. фр. К103/2 с уст.	X23	81.0758	4.0706	0.0249
расх. фр. К103/3 с уст.	X24	178.5530	78.2643	0.0495

В результате расчетов были получены следующие результаты. Входные параметры: расход нефти на установку ( $X_1$ ), расход пара в колонну ( $X_7$ ) колеблются соответственно в пределах 1,7 и 2,0%. Управляющие параметры также поддерживаются на более или менее постоянном уровне. Так, например, уровень ( $X_{10}$ ) и давление верха в К-102 изменяются соответственно на 9,7 и 4,7%. Исключительно стабильны температуры верха ( $X_{14}$ ) и низа ( $X_{13}$ ) колонны ( $V_{X_{14}} = 1,1\%$ ,  $V_{X_{13}} = 0,5\%$ ). Также стабильны температуры в других точках колонны.

Примечательно, что в этих условиях происходит значительное колебание расхода острого орошения в К-102  $X_2$  ( $V_{X_2} = 26,5\%$ ) и весьма сильное колебание расхода фр. 140–180 в ст. бензина  $X_{22}$  ( $V_{X_{22}} = 111\%$ ).

Выходные параметры также относительно стабильны: расход мазута после Т105 ( $X_5$ ), расход мазута после Т111 ( $X_6$ ), расход бензина в Е101 ( $X_8$ ) колеблются соответственно в пределах 3,9; 6,4 и 4,6%. Из полученных данных видно, что процесс в колонне К102 является относительно стабильным.

Для оценки силы (величины) линейной связи между переменными  $X_i$  и  $Y_j$  была рассчитана выборочная матрица коэффициентов корреляции  $r^*$ .

Значение выборочных коэффициентов корреляции между двумя параметрами  $X_i$  и  $Y_j$  находится на пересечении соответствующих этим параметрам строки и столбца. Значимость  $r^*$  для данной выборки и уровня значимости 0,05  $r^* \geq 0,185$  [1].

Данные позволяют оценить степень линейной связи между параметрами процесса. Наибольший интерес представляют следующие зависимости.

Влияние параметров процесса на расход бензина из колонны  $X_8$ . Анализ корреляционной матрицы показывает, что наиболее сильную линейную связь  $X_8$  имеет с температурой сырья из П-101 в К-102  $X_{11}$ ,  $X_{12}$  ( $r_{8,11} = -0,343$ ,  $r_{8,12} = -0,339$ ), температурой низа колонны  $X_{14}$  ( $r_{8,14} = +0,281$ ). Причем с уменьшением  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$  и увеличением  $X_{14}$  величина  $X_8$  увеличивается.

Некоторая линейная положительная связь наблюдается между  $X_8$  и расходом орошения в Т103, 104  $X_3$  ( $r_{8,3} = 0,292$ ), а отрицательная – между  $X_8$  и температурой пара в К-102 (29 тар.)  $X_{17}$  ( $r_{8,17} = -0,292$ ).

Влияние параметров процессов на расход мазута  $X_5$ . Наиболее существенную положительную связь  $X_5$  обнаруживает с расходом ЦО2 в Т105, Т106  $X_4$  ( $r_{4,8} = 0,723$ ) с уровнем в К102  $X_{10}$  ( $r_{5,10} = 0,444$ ) и температурой 1ЦО  $X_{18}$  ( $r_{5,18} = 0,577$ ) и расходом орошения в Т103, 104  $X_3$  ( $r_{5,3} = 0,467$ ).

Линейная отрицательная связь характерна  $X_5$  с расходом орошения в К102  $X_2$  ( $r_{5,2} = -0,502$ ) с температурой сырья из П101 в К102  $X_{12}$  ( $r_{5,12} = -0,432$ ) с температурой пара в К102 (5 тар.)  $X_{15}$  ( $r_{5,15} = -0,689$ ), расходом фр. К103/3 с уст.  $X_{24}$  ( $r_{5,24} = -0,754$ ).

Пользуясь данными о выборочном коэффициенте корреляции, аналогичную интерпретацию связей можно дать между любыми параметрами процесса. При этом часть таких связей носит формальный характер, а значительная часть отражает существенные для процесса взаимосвязи и позволяет спрогнозировать и скорректировать ход технологического процесса по отдельным параметрам.

Практически во всех случаях статистического исследования реального производственного процесса выборочные коэффициенты корреляции являются оценкой тесноты линейной связи между параметрами в пределах интервалов их изменения и с учетом степени соответствия в изменениях параметров не являются достаточной характеристикой связи между параметрами. Поэтому для определения реального характера зависимости между параметрами и количественной оценки взаимного влияния необходимо прибегнуть к методу регрессионного анализа.

При статистическом моделировании процесса в колонне К-102 ввиду большого числа переменных  $X_i$  приходится прибегать к построению линейных регрессионных уравнений. В режимных листах о параметрах процесса в колонне К-102 отсутствуют данные о качественных показателях продуктов нефтепереработки. Поэтому в этих условиях в качестве выходных параметров можно принять количественные показатели получаемых продуктов: суммарный расход мазута  $y_1$  ( $X_5 + X_6$ ) и расход бензина из колонны  $y_2$  ( $X_8$ ). При этом в качестве параметров  $X_i$  следует принять все остальные параметры, т.е. ( $i = \overline{1, 4; 7; 9; 10, 24}$ ).

Для промышленного процесса в колонне К-102 ввиду значительного количества входных переменных  $X_i$  значительный интерес представляет оценка сравнительной степени их влияния на величины выходных переменных  $y_i$  с целью выявления наиболее существенных факторов и их изменения в пределах технологического регламента на улучшения показателей  $y_i$ .

Для исследуемого процесса в колонне К-102 для этой цели используются уравнения регрессии в безразмерных стандартизованных переменных  $y_j^0$  и  $X_i$  следующего вида:

$$\begin{aligned} \hat{y}_j^0 = & a_1 X_1^0 + a_2 X_2^0 + a_3 X_3^0 + a_4 X_4^0 + a_7 X_7^0 + a_9 X_9^0 + a_{10} X_{10}^0 + a_{11} X_{11}^0 + \\ & + a_{12} X_{12}^0 + a_{13} X_{13}^0 + a_{14} X_{14}^0 + a_{15} X_{15}^0 + a_{16} X_{16}^0 + a_{17} X_{17}^0 + a_{18} X_{18}^0 + \\ & + a_{19} X_{19}^0 + a_{20} X_{20}^0 + a_{21} X_{21}^0 + a_{22} X_{22}^0 + a_{23} X_{23}^0 + a_{24} X_{24}^0 \quad (j=1,2). \end{aligned} \quad (1)$$

По значению коэффициентов  $a_i$  уравнения (1), рассчитанных с использованием метода наименьших квадратов, для времени запаздывания  $\tau = 2, 4, 6, 8, 10$  часов, была оценена степень влияния на расход мазута ( $y_1$ ) и расход бензина ( $y_2$ ) факторов  $X_i$  при различных величинах времени  $\tau$ .

Режимом работы колонны, близким к реальному, является режим при  $\tau = 4$  часа для  $y_2$  и  $\tau = 6$  часов для  $y_1$ . Уравнения регрессии для данного режима имеют вид (2) и (3).

$$\begin{aligned} \hat{y}_1^0 = & 0.1476X_1^0 + 0.0866X_2^0 + 0.1267X_3^0 + 0.3602X_4^0 - 11.8376X_7^0 + 8.1246X_9^0 - \\ & - 0.3623X_{10}^0 - 1.0749X_{11}^0 - 0.4726X_{12}^0 + 1.4121X_{13}^0 + 1.4767X_{14}^0 - 0.1924X_{15}^0 - \\ & - 0.0269X_{16}^0 + 1.6213X_{17}^0 - 0.6873X_{18}^0 + 0.9341X_{19}^0 - 0.2704X_{20}^0 - 0.0123X_{21}^0 + \\ & + 0.8292X_{22}^0 - 0.5785X_{23}^0 - 1.3995X_{24}^0. \end{aligned} \quad (2)$$

Для данного режима наиболее существенными для расхода мазута  $y_1$  являются следующие параметры: расход пара в колонну  $X_7$  ( $a_7 = -11.84$ ), при этом с увеличением  $X_7$  величина  $y_1$  уменьшается; давление верха в К102  $X_9$  ( $a_9 = 8.12$ ), при этом с увеличением  $X_9$  величина  $y_1$  увеличивается; расход фракции (140–180)°С  $X_{22}$  ( $a_{22} = -0.83$ ), с увеличением которой величина  $y_1$  уменьшается; температура низа К-102  $X_{13}$  ( $a_{13} = 1.41$ ), с увеличением которой величина  $y_1$  также увеличивается.

$$\begin{aligned} \hat{y}_2^0 = & -0.043X_1^0 - 0.0234X_2^0 + 0.1036X_3^0 - 0.0479X_4^0 - 3.1346X_7^0 - 1.9325X_9^0 + 0.0734X_{10}^0 - \\ & - 0.8036X_{11}^0 - 0.1569X_{12}^0 + 0.7202X_{13}^0 + 0.9771X_{14}^0 - 0.0038X_{15}^0 - 0.299X_{16}^0 + 0.1321X_{17}^0 - \\ & - 0.6886X_{18}^0 + 0.1938X_{19}^0 + 0.0515X_{20}^0 - 0.0022X_{21}^0 - 1.8496X_{22}^0 + 0.0467X_{23}^0 + 0.0214X_{24}^0. \end{aligned} \quad (3)$$

Для данного режима для расхода бензина  $y_2$  наиболее значимыми являются следующие факторы: расход пара в колонну  $X_7$  ( $a_7 = -3.13$ ), давление верха  $X_9$  ( $a_9 = -1.93$ ), расход фракции (140–180)°С  $X_{22}$  ( $a_{22} = -1.85$ ), температура сырья из П101 в К102  $X_{12}$  ( $a_{12} = -0.16$ ), температура низа колонны  $X_{13}$  ( $a_{13} = 0.72$ ) и т.д.

Для определения (прогнозирования) значения выходных переменных  $y_1$  – расход мазута,  $y_2$  – расход бензина из колонны были получены уравнения регрессии в размерных величинах.

Для мазута при времени запаздывания 6 часов:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 = & 199.4379 + 0.1295X_1 + 0.0554X_2 + 0.1261X_3 + 0.2656X_4 - 6.1426X_7 + \\ & + 25.0742X_9 - 0.3131X_{10} - 0.9276X_{11} - 0.6878X_{12} + 1.4883X_{13} + 1.4786X_{14} - \\ & - 0.2414X_{15} - 0.1637X_{16} + 1.3467X_{17} - 0.4793X_{18} + 0.8678X_{19} - 0.2312X_{20} - \\ & - 0.0099X_{21} + 0.4336X_{22} - 0.5828X_{23} - 1.3884X_{24} . \end{aligned} \quad (4)$$

Для бензина при времени запаздывания 4 часа:

$$\begin{aligned} \hat{y}_2 = & 11.7289 - 0.0373X_1 - 0.0135X_2 + 0.1038X_3 - 0.0181X_4 - 4.9253X_7 - \\ & - 7.2801X_9 + 0.0579X_{10} - 0.8496X_{11} - 0.0884X_{12} + 0.6949X_{13} + 0.9773X_{14} + \\ & + 0.0116X_{15} - 0.2554X_{16} + 0.2180X_{17} - 0.754X_{18} + 0.2142X_{19} + 0.039X_{20} - \\ & - 0.003X_{21} - 1.7241X_{22} + 0.0484X_{23} + 0.0179X_{24} . \end{aligned} \quad (5)$$

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Процесс ректификации в атмосферной колонне К-102 является сложным, многофакторным объектом управления с наличием обратных и рециркулирующих связей, для исследования свойств которого целесообразно применять экспериментально-статистические методы.

2. Обработка данных о параметрах процесса, полученных из режимных листов и журналов лабораторных анализов, методами математической статистики, позволила определить основные характеристики и законы распределения основных технологических параметров процесса в колонне К-102.

3. В результате проведенного корреляционного анализа определены взаимосвязи между параметрами процесса и дана их технологическая интерпретация.

4. При статистическом моделировании процесса в колонне определены уравнения регрессии относительно безразмерных переменных, которые позволяют оценить сравнительную степень влияния параметров процесса на величины  $y_1$  и  $y_2$ . В результате выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на процесс.

5. Получены уравнения регрессии в размерных переменных, которые позволяют прогнозировать выходные показатели процесса при соответствующих входных значениях переменных процесса.

6. Данные выводы и результаты могут быть использованы для внесения изменений в технологический режим работы колонны с целью улучшения ее показателей, а также являются первым этапом разработки математической модели процесса многокомпонентной ректификации в колонне К-102.