

УДК 66.011.57:655.637.8

Г. Д. Ляхевич, В. Н. Станишевский

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БИТУМА ИЗ ГУДРОНА ЗАПАДНО-  
СИБИРСКИХ НЕФТЕЙ

Объемы переработки западно-сибирских нефтей (ЗСН) как в настоящее время, так и в перспективе будут увеличиваться. Важное значение имеет изучение процесса получения дорожных

вязких битумов из гудрона ЗСН с использованием экспериментально-статистических методов исследования.

Целью данной работы является установление основных закономерностей окисления гудрона ЗСН и определение оптимальных технологических режимов ведения данного процесса.

Опыты проводили на установке колонного типа [1] по плану полного факторного эксперимента типа  $2^3$  [2]. В качестве сырья использовался гудрон из смеси западно-сибирских нефтей с характеристикой: плотность  $\rho_4^{20}$  0,9810; температура размягчения по КиШ  $16,5^\circ\text{C}$ ; групповой химический состав - парафино-нафтеновые 13,60 мас.%, моноциклоароматические 15,30, бициклоароматические 24,88, полициклоароматические 3,51, смолы 38,80, асфальтены 3,91 мас.%. Благодаря проведенным опытам, а также априорной информации [1, 3] исследовали влияние входных параметров:  $X_1$  - температуры,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_2$  - расхода воздуха, л/мин·кг;  $X_3$  - продолжительности, мин на выходные параметры  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  - соответственно

Т а б л. 1. Уровни и интервалы варьирования параметров процесса окисления

| Показатели                       | $X_1, ^\circ\text{C}$ | $X_2,$<br>л/мин·кг | $X_3,$ мин | Кодированное значение уровней |
|----------------------------------|-----------------------|--------------------|------------|-------------------------------|
| Основной уровень $X_{0j}$        | 220                   | 50                 | 90         | 0                             |
| Интервал варьирования $\Delta_j$ | 10                    | 10                 | 15         |                               |
| Нижний уровень                   | 210                   | 40                 | 75         | -1                            |
| Верхний уровень                  | 230                   | 60                 | 105        | +1                            |

Т а б л. 2. Матрица планирования и результаты экспериментов

| Номер опыта | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1           | -     | -     | -     | 39,5  | 170   | 63    |
| 2           | -     | -     | +     | 41,75 | 140   | 65    |
| 3           | -     | +     | +     | 47,5  | 80    | 64,5  |
| 4           | +     | -     | -     | 45,5  | 110   | 60    |
| 5           | +     | +     | -     | 50,5  | 95    | 54    |
| 6           | +     | +     | +     | 60,0  | 80    | 43    |
| 7           | +     | -     | +     | 53,0  | 95    | 40,5  |
| 8           | -     | +     | -     | 43,0  | 130   | 53    |

но температуру размягчения по КиШ, °С, глубину проникания иглы при 25°С (100x0,1 мм), растяжимость при 25°С, см (табл. 1).

Матрица планирования и результаты эксперимента рандомизированы и приведены в табл. 2.

Проведена статистическая обработка результатов эксперимента с целью определения дисперсии воспроизводимости по критерию Кохрена [2]:

$$G_{опi} = \frac{s_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^N s_i^2} < G_{кр}, \quad (1)$$

где  $G_{опi}$ ,  $G_{кр}$  — соответственно опытное и критическое значение критерия Кохрена;  $s_{i\max}^2$  — максимальное значение дисперсии воспроизводимости;  $s_i^2$  — дисперсия воспроизводимости в каждой точке плана;  $N$  — число опытов плана.  $G_{оп.1}$ ,  $G_{оп.2}$ ,  $G_{оп.3}$  составили: 0,250; 0,407; 0,192.

Значение  $G_{кр}$  для 95%-го уровня значимости равно 0,516 [2].

Так как  $G_{оп.1}$ ,  $G_{оп.2}$ ,  $G_{оп.3} < G_{кр}$ , то дисперсии воспроизводимости по  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  однородны.

Значимость коэффициентов уравнений регрессии проверяли по критерию Стьюдента [2]:

$$t_j = \frac{|b_i|}{s(b_i)} \leq t_{кр}, \quad (2)$$

где  $t_j$ ,  $t_{кр}$  — опытное и критическое значение критерия Стьюдента;  $b_i$ ,  $s(b_i)$  — коэффициенты и их дисперсии.

Ввиду того, что для некоторых коэффициентов выполнялось условие (2), т.е. опытные значения критерия Стьюдента были меньше  $t_{кр}$ , часть коэффициентов была выведена из уравнений

регрессии. После проверки значимости коэффициентов математическая модель получения дорожных битумов из гудрона ЗСН может быть представлена в следующем виде:

$$Y_1 = 47,6 + 4,66 X_1 + 2,66 X_2 + 2,97 X_3 + 1,28 X_1 X_3; \quad (3)$$

$$Y_2 = 112,5 - 17,5X_1 - 16,25X_2 - 13,75X_3 + 9,38X_1X_2 + 6,25X_1X_3; \quad (4)$$

$$Y_3 = 57,2 - 7,46X_1 - 3,41X_2 - 4,36X_1X_3. \quad (5)$$

Данная математическая модель проверялась по критерию Фишера [2]. Так как для уравнений (3)–(5) опытное значение критерия Фишера ( $F_{оп}$ ) меньше критического значения для определенной степени свободы и уровня значимости  $F_{кр}(f_1, f_2)$ , т.е. выполняется условие [2]:

$$F_{оп} < F_{кр}(f_1, f_2), \quad (6)$$

уравнения (3)–(5) адекватно описывают опытные данные.

Рассматривая уравнения регрессии (3)–(5), можно заключить, что увеличение температуры размягчения битума в большей степени происходит при повышении температуры процесса ( $b_1 = 4,66$ ). Расход воздуха и продолжительность окисления в выбранных интервалах одинаково влияют на изменение  $Y_1$ . На это указывают коэффициенты при независимых переменных ( $b_2 = 2,66$ ;  $b_3 = 2,97$ ). Уменьшение глубины проникания иглы происходит под воздействием трех основных параметров:  $X_1, X_2, X_3$ . Степень изменения  $Y_2$  корректируется эффектами взаимодействия  $X_1X_2, X_1X_3$ . Увеличение температуры и продолжительности процесса приводит к уменьшению растяжимости битума. Причем температура процесса больше влияет на изменение  $Y_3$ , чем продолжительность. Парный эффект взаимодействия  $X_1X_3$  существенно снижает  $Y_3$  ( $b_{13} = 4,36$ ).

Математическая модель, описывающая процесс получения дорожных вязких битумов из гудрона западно-сибирских нефтей, использовалась для нахождения оптимальных параметров исследуемого процесса с применением ЭВМ "Промнь-М". Нами решалась задача получения максимального значения  $Y_1$  при ограничении  $Y_2$  и одновременном учете  $Y_3$ . В случае аналитического задания функции отклика и ограничения по входным параметрам в пределах варьирования задача решалась с помощью относительно простого алгоритма – сравнения вариантов различных сочетаний факторов. При этом целевая функ-

Табл. 3. Результаты решения математической модели, описывающей окисление гудрона ЗСН на ЭВМ "Промінь-М"

| у <sub>1пвх</sub> | у <sub>2огр</sub> | у <sub>3расч</sub> | Х <sub>1</sub> |                 | Х <sub>2</sub> |                       | Х <sub>3</sub> |                  |
|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------|----------------|------------------|
|                   |                   |                    | кодированное   | натуральное, °С | кодированное   | натуральное, л/мин·кг | кодированное   | натуральное, мин |
| 40,3              | 160               | 63,8               | -0,7           | 213             | -0,8           | 42                    | -0,9           | 76               |
| 44,75             | 130               | 61,3               | -0,1           | 219             | -1,0           | 40                    | +0,1           | 91,5             |
| 46,8              | 120               | 52,9               | +0,1           | 221             | -1,0           | 40                    | +0,5           | 97               |
| 52,2              | 100               | 52,0               | 0,7            | 227             | -0,9           | 41                    | 0              | 90               |
| 55,5              | 90                | 49,7               | 1,0            | 230             | -0,3           | 47                    | 0              | 90               |
| 57,4              | 85                | 41,9               | 1,0            | 230             | +0,4           | 54                    | +1,0           | 105              |

Табл. 4. Оптимальные условия окисления гудрона ЗСН на аппарате колонного типа

| Марка битума | Условия опытов  |                          |                        |
|--------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
|              | температура, °С | расход воздуха, л/мин·кг | продолжительность, мин |
| БНД-130/200  | 215             | 44                       | 75                     |
| БНД-90/130   | 215             | 40                       | 95                     |
| БНД-60/90    | 230             | 47                       | 90                     |
| БНД-40/60    | 230             | 54                       | 105                    |

ция отклика преобразовывалась за счет исключения одного фактора. В результате получалось расчетное уравнение с меньшим количеством факторов. Функция отклика вычислялась с дискретным шагом 0,1 по всем входным параметрам. Результаты решения математической модели приведены в табл.3.

Оптимальные условия окисления гудрона ЗСН были проверены на установке колонного типа.

Было установлено, что дорожные битумы БНД-130/200; БНД-90/130; БНД-60/90 и БНД-40/60 могут быть получены при оптимальном технологическом режиме (табл. 4) из гудрона западно-сибирских нефтей.

Выводы. С использованием экспериментально-статистического метода исследования определены оптимальные параметры окисления высокомолекулярных соединений западно-сибирских нефтей.

Опытным путем подтверждена возможность получения дорожных улучшенных битумов при найденных условиях.

### Л и т е р а т у р а

1. Ляхевич Г.Д., Бялькевич П.І., Цыганова Л.В. Доследаванне працэсу атрымання вугляродзамышчаючых матэрыялаў з нафтахімічнай сыравіны. - Изв. АН.БССР. Сер. хим., 1976, № 1, с. 103.
2. Рузинов А.П. Статистические методы оптимизации химических процессов. М., 1972.
3. Ляхевич Г.Д., Цыганова Л.В., Станишевский В.Н. Оптимизация процесса окисления высокомолекулярных нефтепродуктов. - ДАН БССР, 1976, 20, № 2, с. 144.