

УДК 665.6

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА АДсорбЦИОННОЙ ОЧИСТКИ МАСЛА ГИДРОКРЕКИНГА

**М.В. СОРОГОВЕЦ, Ю.В. ЛАПИНА**  
(Представлено: канд. техн. наук А.В. МИТИНОВ)

*Описан подход разработки основных технологических и конструктивных параметров процесса адсорбционной очистки базового масла гидрокрекинга. Для решения задачи выбора оптимальных параметров технологического процесса применен метод планирования эксперимента. Оптимизация процесса адсорбционной очистки масла гидрокрекинга позволит снизить себестоимость получаемого продукта и сделать метод конкурентоспособным.*

Адсорбционная очистка масел – это процесс, эффективность протекания которого, зависит от многих параметров. Важнейшими из них являются свойства адсорбента, температура и вязкость среды, в свою очередь, зависящая от температуры и времени контакта среды и адсорбента.

Температура среды определяет интенсивность диффузионных процессов при очистке на молекулярных ситах и является определяющим параметром процесса. Для таких сред, как минеральные масла, температурный фактор важен еще и из-за сильного влияния на вязкость. Для снижения вязкости системы и обеспечения тем самым возможности адсорбционной очистки высоковязких масел применяют прием их разбавления низкокипящими углеводородами. Для приемлемого снижения вязкости низковязких масел достаточно, может быть, повышение температуры. Однако поскольку процесс адсорбции является обратимым, значительное повышение температуры может привести к преобладанию десорбционных явлений и общему снижению эффективности очистки масла. Время контакта среды и адсорбента при достаточной степени очистки определяет экономическую эффективность технологии. При малом времени контакта и высокой скорости пропускания жидкой среды через адсорбент экономическая эффективность может быть перечеркнута неприемлемо низким качеством продукта. Чрезмерно завышенное время контакта обеспечивает гарантированно высокое качество, но может привести к экономической неконкурентоспособности технологии адсорбционной очистки по сравнению с другими технологиями.

Наличие множества параметров процесса адсорбционной очистки масла, некоторые из которых являются взаимозависимыми, и определяет задачу оптимизации режима технологического процесса.

При экспериментальном решении такого рода проблем целесообразно применение метода планирования эксперимента, позволяющего при оптимальном количестве опытов получить математическую модель процесса.

**Основная часть.** Задача оптимизации технологического процесса адсорбционной очистки масла гидрокрекинга при относительно небольшом количестве управляющих параметров позволяет использовать для реализации экспериментальных исследований дробный факторный эксперимент.

Учитывая имеющийся опыт и рекомендации по температурно-временному режиму адсорбционной очистки масел, выбран диапазон и шаг для исследуемых параметров. Матрица планирования дробного факторного эксперимента по определению влияния на процесс температуры среды и времени контакта приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Матрица планирования дробного факторного эксперимента

| Температура, t °C | Время, мин |    |    |    |    |    |
|-------------------|------------|----|----|----|----|----|
|                   | 10         | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 20                | –          | –  | –  | –  | –  | –  |
| 30                | –          | –  | –  | –  | –  | –  |
| 40                | –          | +  | –  | +  | –  | –  |
| 50                | –          | –  | +  | –  | –  | –  |
| 60                | –          | +  | –  | +  | –  | –  |
| 70                | –          | –  | –  | –  | –  | –  |

Эксперимент по адсорбционной очистке масла приводили с предварительно прокаленным в муфельной печи при температуре 600 °C цеолитом типа NaX марки Z-673TX (2.5) производства бельгийской компании CRI Catalyst Company. В ходе эксперимента порция цеолита заливалась в стеклянную колбу с цеолитом и помещалась в водяную баню. Время контакта определялось с использованием секундомера. Контроль температуры осуществлялся ртутным термометром с ценой деления 0,1°C.

Результаты опытов, проведенных при условиях, определенных матрицей планирования эксперимента, приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Значения коэффициента пропускания масла после очистки при режимах дробного факторного эксперимента

| Температура, t °C | Время, мин |      |      |      |    |    |
|-------------------|------------|------|------|------|----|----|
|                   | 10         | 20   | 30   | 40   | 50 | 60 |
| 20                | –          | –    | –    | –    | –  | –  |
| 30                | –          | –    | –    | –    | –  | –  |
| 40                | –          | 0,89 | –    | 0,89 | –  | –  |
| 50                | –          | –    | 0,88 | –    | –  | –  |
| 60                | –          | 0,90 | –    | 0,91 | –  | –  |
| 70                | –          | –    | –    | –    | –  | –  |

Обработка результатов эксперимента позволила получить математическую модель процесса.

Для начала исследования была выбрана начальная точка, в которой должны проводиться эксперименты. Обычно эта точка выбирается в середине множества всех точек. Выбрано:  $t_0 = 50^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 30$  мин.

После кодирования значения факторов получили:  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ ,  $x = \frac{t - t_0}{\Delta t}$ .

При  $t_0 = 50^\circ\text{C}$  для  $t = 40^\circ\text{C} = -1$ ,

$t_{50} = 0$ ,  $t_{60} = +1$ ;  $\Delta\tau = 10$  мин;  $\tau = \frac{\tau - \tau_0}{\Delta\tau}$ ;  $\tau_0 = 30$  мин;  $\Delta\tau = 10$  мин;  $x_2 = \frac{\tau - \tau_0}{10}$ ;  $\tau = 40$  мин  $\rightarrow x_2 = 1$ ;

$\tau = 20$  мин;  $x_2 = -1$ .

Для обработки результатов построим линейную модель, приведенную в таблице 3.

Таблица 3. – Линейная модель

| № опыта | $x_1$ | $x_2$ | y    |
|---------|-------|-------|------|
| 1       | -1    | -1    | 0,89 |
| 2       | -1    | +1    | 0,89 |
| 3       | +1    | -1    | 0,90 |
| 4       | +1    | +1    | 0,91 |

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2.$$

Коэффициенты модели рассчитываются по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 y_i = \frac{1}{4} (0,89 + 0,89 + 0,90 + 0,91) = 0,8995;$$

$$b_1 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 y_i \cdot x_{2i} = \frac{1}{4} (-0,89 - 0,89 + 0,90 + 0,91) = 0,0075;$$

$$b_2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 y_i \cdot x_{1i} = \frac{1}{4} (-0,89 + 0,89 - 0,90 + 0,91) = 0,0025.$$

Зависимость прозрачности  $K$  от нормализованных факторов:

$$K = 0,8995 + 0,0075 \cdot t_1 + 0,0025 \cdot \tau_2.$$

Линейная зависимость полученной модели предполагает для получения наилучшего результата по целевому показателю смещение обоих параметров к правой границе диапазона. Однако, принимая во внимание физический смысл коэффициента пропускания и асимптотический характер его зависимости от выбранных параметров, целесообразно для оптимизации процесса применить дополнительный, например энергетический или экономический параметр. Такую оптимизацию целесообразно выполнять, используя технологический процесс, приближенный к реальному. Выполнение же исследований в мо-

дельных условиях позволило получить информацию о предпочтительной области основных параметров процесса. И эта область смещена к максимальной границе принятого диапазона.

Проведенные лабораторные исследования позволили установить необходимые температуры и достаточное время контакта. Следует отметить, что на первой стадии оптимизации процесса ни экономические, ни конструкторские факторы не учитывались. На самом деле и поддержание температуры, и обеспечение длительного контакта могут быть связаны с дополнительными материальными затратами на процесс.

Учитывая указанные обстоятельства, выполнен эксперимент по определению конструктивных параметров адсорбера. Модельный лабораторный эксперимент позволил определить оптимальное время контакта в периодическом статическом процессе, причем экономическую целесообразность технология адсорбционной очистки приобретает при организации проточной очистки на неподвижном слое адсорбента. Одно и то же время контактирования единичного объема очищаемого масла может быть реализовано в аппарате малого сечения с большой высотой слоя и высокой (в допускаемых пределах) скоростью потока, либо в аппарате большого сечения с малым слоем и, соответственно, низкой скоростью потока.

Влияние высоты слоя адсорбента на степень очистки определяли на лабораторной установке, включающей закрепленную на штативе делительную воронку с засыпкой слоя адсорбента необходимой высоты и приемную колбу. В ходе эксперимента в подготовленную делительную воронку с адсорбентом NaX марки Z-673TX заливали порцию очищаемого масла. Скорость прохождения масла через адсорбент регулировали краном. Степень очистки оценивали по коэффициенту пропускания при длине волны 490 нм, определяемому на фотоэлектрическом колориметре.

Влияние высоты слоя адсорбента на эффективность очистки масла гидрокрекинга на цеолите NaX приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Результаты очистки масла гидрокрекинга при различной высоте слоя адсорбента

| Высота слоя адсорбента, мм | Коэффициент пропускания, % |
|----------------------------|----------------------------|
| 0 (неочищенное масло)      | 80                         |
| 150                        | 89                         |
| 300                        | 90                         |
| 450                        | 92                         |

Из таблицы 4 видно, что кратное увеличение высоты слоя адсорбента приводит к незначительному повышению чистоты продукта. Однако в ходе эксперимента было отмечено изменение цвета адсорбента по высоте слоя. Наиболее насыщенный адсорбируемыми веществами цеолит темного цвета был в нижней части адсорбера. Верхние слои цеолита имели заметно более светлый цвет.

Таким образом, при большой высоте слоя адсорбента его срабатывание происходит неравномерно, что вызывает необходимость отправлять на регенерацию адсорбент, часть которого еще вполне работоспособна. Учитывая это обстоятельство, представляется целесообразным реализовать процесс адсорбции в несколько последовательно расположенных аппаратах с относительно небольшой высотой слоя цеолита. Применение стадийного подхода для очистки масла позволит рационально использовать возможности емкости цеолита и улучшить экономические показатели процесса.

#### Заключение

Решение задачи оптимизации технологического режима и конструктивного оформления процесса адсорбционной очистки масла гидрокрекинга позволяет снизить себестоимость получаемого продукта и сделать метод конкурентоспособным по сравнению с традиционно применяемыми. Учитывая относительно небольшую потребность Республики Беларусь в технических белых маслах, метод адсорбционной очистки масла гидрокрекинга, характеризующийся малой капиталоемкостью, может стать предпочтительным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Суханов, В.П. Переработка нефти / В.П. Суханов. – М. : Высш. школа, 1972.
2. Эрих, В.Н. Химия и технология нефти и газа / В.Н. Эрих, М.Г. Расин, М.Г. Рудин. – М. : Химия, 1977.
3. Альперт, П.З. Основы проектирования химических установок / П.З. Альперт. – М. : Высш. школа, 1989.
4. Шашкин, П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П.И. Шашкин. – М. : Химия, 1970.
5. Технология переработки нефти. Производство нефтяных масел : учеб.-метод. компл. для студентов спец. 1-48 01 03 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» и слушателей УО «ПГУ» спец. 1-48 01 72 «Технология переработки нефти и газа» / С.В. Покровская. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – 320 с.