

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ВАКУУМНОГО ДИСТИЛЛЯТА

В.И.Стебенева, Г.Ю.Назарова

Научный руководитель профессор Е.Н.Ивашкина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Каталитический крекинг нефтяного сырья является сложно оформленным технологическим процессом. Основным звеном реализации процесса выступает структурная единица «реактор-регенератор». В процессе каталитического крекинга микросферический цеолитсодержащий катализатор обратимо дезактивируется под действием кокса, отлагающегося на его поверхности. Поддержание активности катализатора на высоком уровне осуществляется за счет окислительной регенерации закоксованного катализатора и транспорта катализатора с восстановленной активностью в реактор. Катализатор после регенерации является основным теплоносителем в реактор, поскольку в процессе окислительной регенерации выделяется тепло, которое необходимо для обеспечения требуемой температуры процесса крекинга. При этом требуется минимизировать содержание кокса на катализаторе за исключением количества, требуемого для поддержания теплового баланса системы «реактор-регенератор».

Таким образом, технологические режимы аппаратов реакторно-регенераторного блока оказывают взаимное влияние друг на друга и сложны с точки зрения управления процессом для поддержания требуемого равновесия. С применением динамического моделирования возможно проводить исследования, направленные на прогнозирование и планирование оптимального режима эксплуатации промышленной установки, а также определить способы предотвращения избыточного коксообразования при детальном исследовании взаимного влияния параметров технологического режима реактора и регенератора.

Целью работы является разработка компьютерного тренажера на основе математической модели процесса каталитического крекинга для обучения производственного персонала эффективной эксплуатации промышленной установки каталитического крекинга.

На основе математической модели процесса каталитического крекинга [1] разработана экспертная моделирующая система, применимая для снижения капитальных и эксплуатационных расходов, за счет проведения исследований и инженерных расчетов без участия реальной аппаратуры. Выступая в качестве компьютерного тренажера, компьютерная моделирующая система используется для реализации плана предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций, основывающегося на сценариях возникновения аварийных ситуаций, поэтапном анализе их развития и анализе действий производственного персонала по локализации и ликвидации аварийных ситуаций.

Для реализации моделирующей системы применен метод динамического моделирования путем осуществления взаимодействия базы данных процесса в среде Microsoft Office Access в сочетании с объектно-ориентированной средой программирования Delphi 7. Данный подход является принципиально новым с точки зрения формирования экспертных систем.

База данных по исследуемому процессу, созданная в среде Microsoft Office Access, представляет собой набор информации об основных технологических аппаратах реакторного блока процесса каталитического крекинга и базы данных по возможным отклонениям от технологического режима в каждом из аппаратов, причины отклонений и рекомендаций к действиям по устранению внештатных ситуаций. В результате синтеза, компьютерная моделирующая система обладает доступным и логичным для пользователей интерфейсом

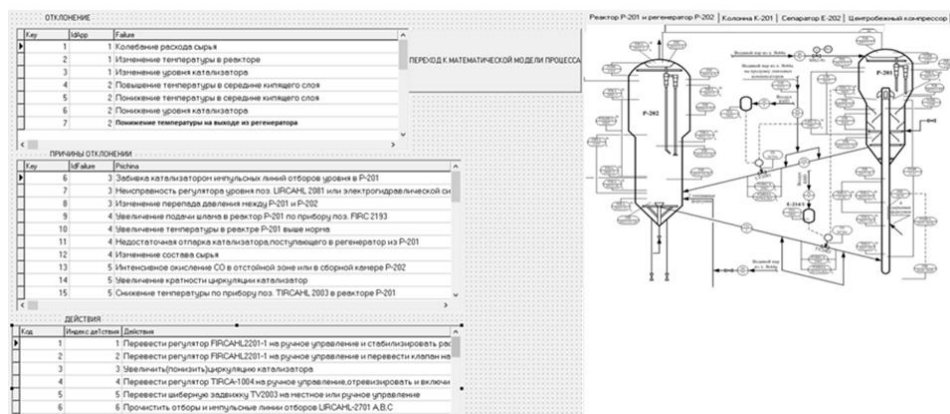


Рис. 1. Рабочее окно компьютерного тренажера процесса каталитического крекинга

Применение моделирующей системы реализовано через логическую цепочку взаимосвязи «аппарат-отклонение-причина отклонения-действие». Кроме того, в компьютерной моделирующей системе реализована связь экспертного блока с математической моделью процесса каталитического крекинга для возможности отработки действий для устранения отклонений, а также в случае аварийных ситуаций. С применением математической модели процесса технологический персонал прогнозирует показатели процесса и проводит

оптимизацию при расчете численных параметров процесса в зависимости от рекомендаций выданных экспертной системой.

При реализации процесса каталитического крекинга оператор технологического блока обращается к компьютерному тренажеру при регистрации отклонения, например, последовательное снижение температуры каталитического потока на выходе из регенератора. Запустив рабочее окно экспертной системы, оператор выбирает изображение «регенератор» на технологической схеме процесса. При выборе объекта из базы данных автоматически считывается информация по возможным отклонениям в работе данного аппарата.

Таким образом, оператор получает список причин, вызывающих данное отклонение и рекомендаций по устранению отклонения. Поскольку экспертная система выдает рекомендацию в нечисловой форме, то для определения количественных методов устранения данного отклонения необходимо перейти во взаимосвязанный блок программы, содержащий математическую модель процесса (рис.2).



Рис. 2. Алгоритм применения компьютерного тренажера

Анализируя данные по технологическому режиму и составам потоков, оператор установил, что причиной снижения температуры на выходе из регенератора стало изменение состава перерабатываемого сырья (снижение содержания ароматических углеводородов в сырье). Таким образом, низкий выход кокса (10422,2 кг/ч или 3,84 % мас.) не обеспечивает требуемой температуры на выходе из регенератора, следовательно, для поддержания теплового баланса системы требуется увеличить нагрузку по коксу. При запуске математической модели отображаются параметры функционирующего режима (таб.1).

Таблица 1  
Технологические параметры технологического процесса до устранения отклонения

| Состав сырья, % масс. |                            |       | Расход сырья, кг/ч | Температура сырья, °С | Расход шлама, м³ | Температура на выходе из регенератора, °С | Кратность циркуляции, тн <sub>кат</sub> /тн <sub>сырья</sub> |
|-----------------------|----------------------------|-------|--------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Нафты и парафины      | Ароматические углеводороды | Смолы |                    |                       |                  |                                           |                                                              |
| 68,80                 | 28,10                      | 3,10  | 271 410            | 303,70                | 9,50             | 690,60                                    | 5,56                                                         |

Проведение прогнозных расчётов с применением математической модели показало, что повышение температуры сырьевого потока до 317 °С при увеличении расхода шлама в реактор до 16 м³/ч и кратности циркуляции катализатора до 5,7 тн<sub>кат</sub>/тн<sub>сырья</sub> обеспечивает увеличение выхода кокса на 1031,5 кг/ч.

На следующем этапе оптимизации режима с использованием математической модели процесса определена температура потока после регенератора, которая будет достигнута при окислении рассчитанного по модели количества кокса. Расчет температуры выполнен на основании теплового баланса процесса регенерации и низшей теплоты сгорания кокса с учетом теплоемкости потока катализатора и кокса и их расходов, и соотношения С/Н в коксе. Согласно расчетам по модели при выжиге кокса 10422,2 кг/ч температура потока на выходе из регенератора составит 646 °С, а при выжиге 11453,5 кг/ч кокса, температура потока на выходе из регенератора составит 685 °С. На основании полученной текстовой и числовой информации выполняется устранение отклонения.

Таким образом, компьютерная моделирующая сочетает в себе возможности экспертной системы с выдачей текстовых рекомендаций по оптимизации технологического процесса, а также возможности выполнения прогнозных и оптимизационных расчетов с применением математической модели.

## Литература

1. Nazarova G.Y., Ivanchina E.D., Ivashkina E.N. et al. Formalization of hydrocarbon conversion scheme of catalytic cracking for mathematical model development // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – vol. 27. – pp. – 1-6.