

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комиссаров И.Д., Логинов Л.Ф. Гуминовые вещества в биосфере. – М.: Наука, 1993. – 352 с.
2. Лиштван И.И., Крулицкий Н.Н., Третинник В.Ю. Физико-химическая механика гуминовых веществ. – Минск: Наука и техника, 1976. – 264 с.
3. Pal U.K., Chakravarti S.K. Объемное поглощение этилдиаминового комплекса Со на почвенных и торфяных гуминовых кислот // Journal of Indian Chemical Society. – 1986. – V. 63. – № 10. – P. 883–889.
4. Пилипенко А.Т., Васильев Н.Г., Бунтова М.А., Савкин А.Г. Механизм и прочность сорбции катионов переходных металлов гуминовыми кислотами // Доклады АН УССР. – 1986. – № 7. – С. 42–45.
5. Гамаюнов Н.И., Масленников Б.И., Шульман Ю.А. Ионный обмен в гуминовых кислотах // Химия твердого топлива. – 1991. – № 3. – С. 32–39.
6. Александров И.В., Канделаки Г.И., Куликова И.П. Цеолит-гуминовые сорбенты для очистки сточных вод // Химия твердого топлива. – 1994. – № 4–5. – С. 136–142.
7. Bratasevszkij A., Gaidarob O., Gordienko Sz. Исследование процесса комплексообразования гуминовых кислот потенциометрическим методом // Agrochem. es tobaj. – 1971. – V. 2. – № 2. – P. 100–104.
8. Пархоменко В.В., Кудра А.А. О расчете термодинамических функций процесса адсорбции метилового спирта гуминовыми кислотами и гуматами по одной изотерме // Поверхностные явления в дисперсных системах. – Киев: Наукова думка, 1974. – Вып. 3. – С. 35–43.
9. Тарновская Л.И., Маслов С.Г., Смольянинов С.И. Химический состав органических веществ твердых остатков пиролиза торфа // Химия твердого топлива. – 1988. – № 3. – С. 26–29.
10. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
11. Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И. и др. Технический анализ торфа. – М.: Недра, 1992. – 431 с.
12. Тарновская Л.И., Маслов С.Г. Изменение химического состава гуминовых кислот в процессе термолитизации торфа // Химия твердого топлива. – 1994. – № 4–5. – С. 33–39.
13. Киселев А.В., Яшин Я.И. Физико-химическое применение газовой хроматографии. – М.: Химия, 1973. – 214 с.
14. Вигдергауз М.С., Измайлов Р.И. Применение газовой хроматографии для определения физико-химических свойств веществ. – М.: Наука, 1970. – 159 с.
15. Сталл Д., Вестрам Э., Зинке Г. Химическая термодинамика органических соединений. – М.: Мир, 1971. – 807 с.

УДК 665.64

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК РИФОРМИНГА ЛЧ-35-11/1000 И ЛГ-35-8/300Б ПО «КИНЕФ» НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ КАТАЛИЗАТОРА

Д.И. Мельник, С.А. Галушин, А.В. Кравцов, Э.Д. Иванчина, В.Н. Фетисова

Томский политехнический университет  
E-mail: mdi@tpu.ru

*Рассмотрена перспектива использования на основе заводских информационных сетей и баз данных автоматизированной системы управления технологическим процессом системы контроля работы катализатора. Показана возможность снижения коксообразования при работе на оптимальной активности с помощью метода математического моделирования. Описана существующая и разрабатываемая схема автоматизации получения и анализа технологических данных, необходимых для расчетов.*

Эффективность промышленного производства определяющим образом зависит от управляемости технологическими процессами, в первую очередь, от возможности оперативного доступа к показателям работы катализатора и обеспечения контроля, анализа и прогнозирования технологических параметров процесса [1–3].

Заводские информационные сети автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) решают только проблемы сбора, архивирования, накопления, структурирования данных с последующим предоставлением этой информации тем пользователям, чьи решения должны основываться на ее базе. АСУТП объединяет в единое информационное пространство большое количество распределенных систем. Нижний уровень данной системы представлен коммуникационными серверами, выполняющими функции разделения управляю-

щих и информационных сетей и передачи технологической информации на следующий уровень. В зоне информационной сети, охватывающей все предприятие, находится сервер сбора технологической информации, позволяющий хранить большие массивы данных о технологическом процессе. Пользователи имеют доступ как к архивной информации на сервере, так и к информации реального времени на коммуникационных серверах. Для обобщения информации, поступающей из различных источников в «ООО ПО «Киришинефтеоргсинтез» разработан и внедрен совместно со специализированной инженеринговой компанией «Севзапмонтажавтоматика» программный комплекс – «Единая тематическая витрина данных (ЕТВД)», предоставляющая пользователю удобный графический интерфейс доступа к данным лабораторного контроля, характеризующим его и их совокупное представление [4].

В то же время предоставление одной только технологической информации не освещает полную картину работы конкретного производства и предприятия в целом. При этом встает проблема анализа и переработки различной технологической информации с целью выдачи рекомендаций для повышения эффективности управления и эксплуатации сложных промышленных объектов.

Таким образом, цель настоящей работы заключается в разработке, с последующим внедрением в производство, системы контроля параметров эксплуатации катализатора, которая в настоящее время представляет собой самостоятельный программный продукт, позволяющий в полной мере оптимизировать работу реакторного блока процесса каталитического риформинга бензинов на установках ЛЧ-35-11/1000 и ЛГ-35-8/300Б ПО «Кинеш»

Основу этой системы контроля составляет математическая модель, основанная на физико-химических и кинетических закономерностях превращения углеводородов. Она описывает возможные виды реакций, протекающих в условиях каталитического риформинга – дегидрирование нафтен, дегидроциклизация парафинов, крекинг и гидрогенолиз, изомеризация нафтен и парафинов, образование непредельных углеводородов, образование кокса на катализаторе (рис. 1). При построении модели был применен принцип агрегирования, в результате чего количество реагентов было сокращено до 68 ключевых. Основным критерием при этом был вклад каждого компонента в детонационную стойкость смеси (рис. 1).

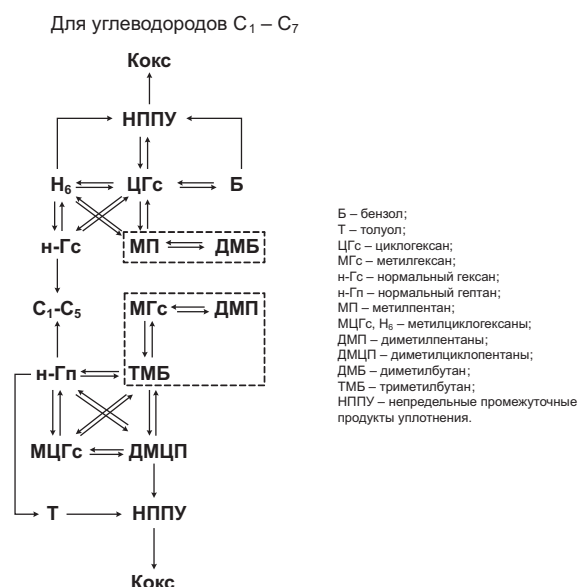


Рис. 1. Схема химических превращений углеводородов

В качестве основного критерия при оценке эффективности работы катализатора системой контроля нами предложено использовать оптимальную активность, которая рассчитывается из условия равновесия реакций коксообразования ( $r_c$ ) и саморегенерации или гидрирования промежуточ-

ных продуктов уплотнения ( $r_R$ ), протекающих на Pt-центрах в избытке водорода (рис. 2). При этом справедливы следующие соотношения для скоростей этих реакций.

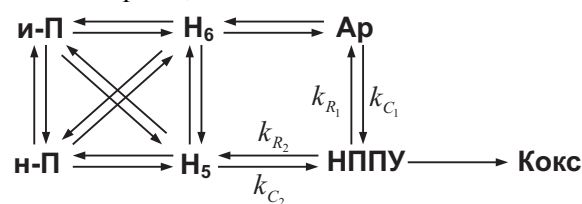


Рис. 2. Схема коксообразования: и-П – изопарафины; н-П – нормальные парафины; Н<sub>6</sub> – циклогексаны; Н<sub>5</sub> – циклопентаны; Ар – ароматические углеводороды; НППУ – непредельные промежуточные продукты уплотнения (обратимый кокс); Кокс – кокс графитообразной структуры

Скорость реакции ароматизации:

$$r_A = k_A C_{P+N} (1 - \theta_C),$$

где  $k_A$  – константа скорости ароматизации,  $C_{P+N}$  – суммарная концентрация парафинов и нафтен,  $\theta_C$  – доля свободной поверхности катализатора.

Скорость реакции коксования:

$$r_C = k_C C_N (1 - \theta_C),$$

$$r_C = k_{C_1} C_N + k_{C_2} C_{Ap},$$

где  $k_C$  – константа скорости коксования,  $k_{C_1}$  и  $k_{C_2}$  – константы скорости коксования из ароматики и из нафтен,  $C_N$  и  $C_{Ap}$  – концентрации нафтен и ароматики.

Скорость реакции гидрирования промежуточных продуктов уплотнения:

$$r_R = k_R C_{H_2} C_{НППУ},$$

где  $k_R$  – константа скорости гидрирования,  $C_{H_2}$  и  $C_{НППУ}$  – концентрации водорода и непредельных промежуточных продуктов уплотнения.

Исходя из условия равновесия реакций коксования и гидрирования непредельных промежуточных продуктов уплотнения, получим:

$$k_C C_N (1 - \theta_C) = k_R C_{H_2} C_{НППУ}.$$

Откуда можно получить выражение для оптимальной активности катализатора:

$$a_{\text{опт}} = \frac{k_{R_1} \cdot C_{H_2} \cdot C_{НППУ} + k_{R_2} \cdot C_{H_2} \cdot C_{НППУ}}{k_{C_1} \cdot C_N + k_{C_2} \cdot C_{Ap}},$$

где  $k_{R_1}$  и  $k_{R_2}$  – константы скоростей гидрирования в ароматику и в нафтен.

Отклонение от оптимальной активности катализатора, которое можно регулировать с помощью компьютерной системы контроля, приводит к сдвигу равновесия реакции в сторону образования коксогенных структур. На рис. 3 приведена зависимость накопления кокса на катализаторе в последней ступени риформирования на установке ЛГ-35-8/300Б при работе на оптимальной активности (кривая 2) и в реальном режиме (кривая 1). Ра-

бота на оптимальной активности позволяет снизить коксообразование на 15...20 %.

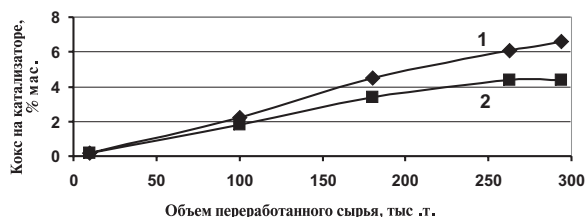


Рис. 3. Зависимость накопления кокса от объема переработанного сырья

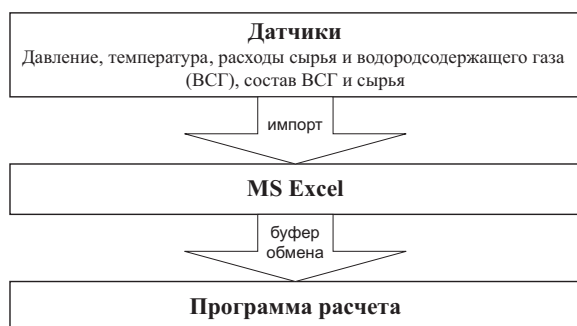


Рис. 4. Схема автоматического ввода данных

Разработанная система автоматического ввода данных предназначена для импортирования параметров работы установки из общезаводской сети в программу «Активность». Принцип работы системы автоматического ввода данных по работе установки заключается в следующем. Параметры работы установки собираются в общезаводской системе контроля. Далее проводится выбор, выбираются необходимые датчики за определенный период и экспортируются в MS Excel, после чего они через буфер обмена копируются в программу (рис. 4).

Элементы управления системой ввода данных находятся на окнах набора технологических данных и составов сырья и катализата, рис. 5, 6. На окне ввода технологических данных имеются две дополнительные кнопки: «Импорт ТУ» для ввода данных по давлениям, температурам и расходам; «Импорт ВСГ», для ввода состава водородсодержащего газа соответственно.

В настоящее время разрабатывается автоматизированная система контроля, представляющая собой программный продукт для расчета основных характеристик работы катализатора риформинга, напрямую взаимодействующий с общезаводской базой данных АСУТП, рис. 7.

Параметр	Р-2	Р-3	Р-4
Давление, атм	15,38	14,65	14,14
Температура, °C	482,0	482,0	482,0
Перепад темп., °C	71,0	39,0	19,0

Состав ВСГ	H1	C1	C2	C3	n-C4	изо-C4	n-C5	изо-C5	C6	Импорт ВСГ
85,00	5,58	3,95	3,11	0,72	0,83	0,16	0,36	0,29	(100,0%)	Импорт ВСГ

Рис. 5. Схема окна ввода технологических данных

Состав сырья и катализата									
Состав сырья и катализата, % вес.									
Сырье		Катализат		Сырье		Катализат		Сырье	
1. Этан	0.000	0.000	24. 1,3-ДМЦП (т)	1.710	0.500	47. нафт. до С8	0.020	0.020	
2. Пропан	0.000	0.010	25. 1,2-ДМЦП (т)	2.890	0.100	48. н-Октан	0.460	0.180	
3. изо-Бутан	0.010	0.460	26. н-Гептан	11.800	3.400	49. 1,2-ДМЦГ (т)	0.260	0.000	
4. н-Бутан	0.010	1.790	27. 1,2-ДМЦП	0.570	0.060	50. 1,3-ДМЦГ (т)	0.060	0.000	
5. изо-Пентан	0.010	2.900	28. 2,3-ДМГ	0.000	0.000	51. 2,3,5-ТМГ	0.160	0.020	
6. н-Пентан	0.020	1.840	29. 1,1,3-ТМЦП	9.430	0.070	52. 2,2-ДМГП	0.000	0.000	
7. 2,2-ДМБ	0.010	0.520	30. МЦГ	0.000	0.000	53. 2,4-ДМГП	0.040	0.050	
8. ц-Пентан	0.020	0.080	31. 2,5-ДМГ	0.220	0.050	54. 2,2,3-ТМГ	0.440	0.050	
9. 2,3-ДМБ	0.060	0.470	32. 2,4-ДМГ	0.240	0.050	55. 2-М, 3-ЭГ	0.030	0.020	
10. 2-МП	0.650	2.530	33. ЭЦП	1.390	0.030	56. 2,6-ДМГП	1.590	0.050	
11. 3-МП	0.650	1.960	34. 2,2,3-ТМП	0.000	0.000	57. 2,5-ДМГП	0.790	0.140	
12. н-Гексан	3.120	2.460	35. 1,2,4-ТМЦП	0.310	0.000	58. 3,3-ДМГП	0.620	0.000	
13. МЦП	2.560	1.060	36. 3,3-ДМГ	0.000	0.000	59. ЭЦГ+ЭБензол	2.830	3.070	
14. 2,2-ДМП	0.000	0.000	37. Толуол	2.410	22.700	60. ТМЦП	1.920	0.020	
15. 2,4-ДМП	0.280	0.540	38. 1,2,3-ТМЦП	0.290	0.000	61. 2,3,4-ТМГ	1.090	0.000	
16. Бензол	0.360	5.120	39. 2,3,4-ТМП	0.000	0.000	62. п-Ксилол	0.700	2.030	
17. 2,2,3-ТМП	0.030	0.020	40. 2,3-ДМГ	0.000	0.000	63. м-Ксилол	1.990	5.080	
18. 3,3-ДМП	0.050	0.520	41. 2-М, 3-ЭП	0.000	0.060	64. изо-С9	6.980	0.730	
19. ц-Гексан	2.930	0.040	42. 1,1,2-ТМЦП	0.000	0.000	65. о-Ксилол	0.930	3.060	
20. 2-МГ	2.470	3.580	43. 2-МГП	0.030	0.190	66. нафт. до С9	2.600	0.000	
21. 2,3-ДМП	1.290	1.360	44. 4-МГП	0.000	0.100	67. н-Нонан	5.730	0.230	
22. 3-МГ	3.590	4.430	45. 3,4-ДМГ	0.000	0.030	68. С9+	19.930	25.570	
23. 1,3-ДМЦП (ц)	1.420	0.080	46. 3-МГП	0.000	0.290	69. в т. ч. Ар	5.050	23.550	

Сумма сырья: 100,000      Сумма катализата: 99,720

Фракционный состав и плотность для введенного углеводородного состава сырья, в ОС

НК 96.00 10% 106.0      50% 127.0 90% 156.0      КК 172.0      ρ, г/см3 0.750

Открыть      Сохранить как      Импорт из хроматограммы      Далее

Рис. 6. Схема окна ввода составов сырья и катализата

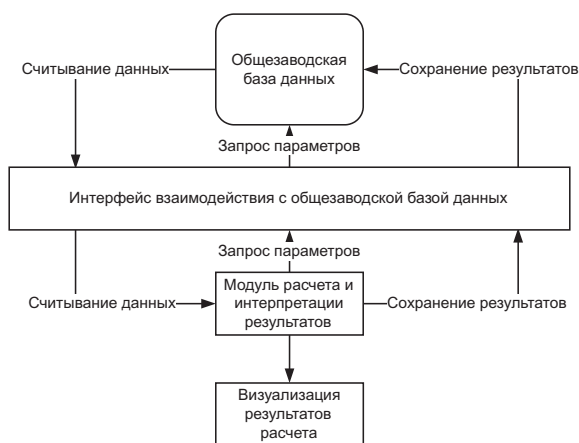


Рис. 7. Схема внутренней архитектуры автоматизированной системы контроля катализатора

Приведенная выше схема отображает функциональное взаимодействие элементов системы контроля.

Модуль расчета представляет собой самостоятельную программу, обеспечивающую:

- выполнение расчетов;
- визуализацию результатов.

Получение данных, необходимых для расчета осуществляется посредством внешнего интерфейса, функции которого заключаются в:

- возвращении списка запрашиваемых параметров;
- сохранении результатов расчета в общезаводской базе данных.

По запросу пользователя результаты проведенных расчетов отображаются внутренними средствами модуля расчета в графическом и табличном виде.

Результаты расчета можно просмотреть, выбрав в меню необходимый пользователю тип результатов. Управление отображением результатов осуществляется посредством элементов интерфейса программы.

Все результаты расчетов сводятся в «сводную таблицу»; информация для отображения может быть взята как из общезаводской базы данных, так и с локального компьютера.

Система контроля катализатора позволяет проводить расчеты:

- текущей активности катализатора по данным хроматографического анализа сырья и катализата за текущую дату;
- оптимальной активности катализатора;
- влияния состава сырья на процесс;
- скорости дезактивации катализатора;
- прогноза работы катализатора на объем переработанного сырья;

- основных характеристик процесса регенерации катализатора (выжиг кокса, оксихлорирование, сульфидирование).  
Таким образом, внедрение данного модуля в общезаводскую базу данных обеспечит:
1. Контроль текущей активности катализатора по данным лабораторных анализов сырья и катализатора с установок риформинга ЛЧ-35-11/1000 и ЛГ-35-8/300Б.
  2. Работу на оптимальной активности катализатора, что позволит снизить коксоотложение на его поверхности на 15...20 %.
  3. Контроль коксообразования на поверхности Pt-контакта с последующим регулированием технологического режима.
  4. Прогнозирование активности катализатора и срока его регенерации в зависимости от режима работы и расхода сырья.
  5. Работу в режиме исследования состава сырья на эффективность процесса риформинга и выдачу рекомендаций для режимов работы колонн.
  6. Систематический расчет скорости дезактивации катализатора и выдачу рекомендаций для его активации (подача хлорорганических соединений и воды в реакционную зону).
  7. Расчет основных технологических параметров процесса регенерации катализатора в заданных интервалах, что обеспечит формирование активных центров и высокую площадь удельной поверхности платиновых контактов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование и оптимизация производства бензинов. – Томск: STT, 2000. – 192 с.
2. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Интеллектуальные системы в химической технологии в инженерном образовании. – Новосибирск: Наука, 1996. – 200 с.
3. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Галушин С.А., Полубоярцев Д.С., Воропаева Е.Н., Мельник Д.И. Оценка эффективности реакторного блока установки риформинга с применением математической модели процесса // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 119–122.
4. Гершберг А.Ф., Безручко О.А. Автоматизация производства ООО «Киниф». Применение современных информационных технологий // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2004. – № 10. – С. 5–6.

УДК 665.12.001.57

### ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕЙСТВУЮЩИХ УСТАНОВОК ДЕЭТАНИЗАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА

А.В. Кравцов, Н.В. Ушева, Н.А. Барамыгина

Томский политехнический университет  
E-mail: BaramiginaNA@mail.ru

*При помощи моделирующей системы рассчитаны основные характеристики продуктовых потоков установки деэтанализации и стабилизации Северо-Васюганского газоконденсатного месторождения, колонны стабилизации Лугинецкой газоконденсатной станции.*

При эксплуатации действующих установок деэтанализации и стабилизации газового конденсата необходимо получать максимум целевой продукции наилучшего качества при минимальных экономических затратах. Актуальным остается вопрос и о «щадящей» эксплуатации оборудования. Кроме того, при реконструкции аппаратов или узлов технологической линии немаловажен вопрос об эффективности данных решений.

Альтернативой интуитивному действию является использование информационно-моделирующих систем, разработанных на основе метода математического моделирования. Это позволяет в кратчайшие сроки и без существенных экономических затрат предопределить результат предпринимаемых действий и, кроме того, облегчает анализ различных вариантов решения поставленных задач [1].

Моделирующая система (МС) установки деэтанализации и стабилизации конденсата (УДСК) была разработана для описания второй стадии подготовки газа и газового конденсата – стабилизации на примере Мыльджинского газоконденсатного месторождения (ГКМ). МС УДСК создана на основании системного подхода к построению математических моделей [2]. Предложенную модель процесса ректификации (основной процесс на УДСК и в МС УДСК) можно считать не эмпирической моделью, адаптированной и предназначенной для расчета колонн стабилизации только Мыльджинского (ГКМ) [2], а универсальной, и применимой для расчета других ректификационных колонн, других технологических линий и производств.

Результаты расчета отпарной и ректификационной колонн Васюганского ГКМ с применением МС УДСК приведены в табл. 1, 2.