

А. В. Шевченко (магистрант), Р. Ф. Ахметов (к.т.н., доц.),
А. Р. Набиева (к.т.н., доц.), Н. А. Шамова (к.т.н., доц.)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВНУТРЕННИХ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН

Уфимский государственный нефтяной технический университет, кафедра технологии нефти и газа
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: albena90@mail.ru

A. V. Shevchenko, R. F. Akhmetov, A. R. Nabieva, N. A. Shamova

EFFICIENCY ANALYSIS OF INTERNAL CONTACT DEVICES OF RECTIFICATION COLUMNS

Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: albena90@mail.ru

Рассматривается качество работы основной ректификационной колонны установки каталитического крекинга Г-43-107 М/1, которая разделяет выходящий сырьевой поток из реактора. Используется анализ фактического режима работы блока ректификации и лабораторных показателей нефтепродуктов. На основе опытных данных построена модель разделения газопродуктовой смеси, рассчитан КПД внутренних контактных устройств, а также предложены пути оптимизации процесса.

Ключевые слова: внутренние контактные устройства; каталитический крекинг; компьютерное моделирование; КПД; модернизация; наложение фракций; оптимизация; ректификация; ректификационная колонна; химическая технология; экономическая эффективность.

В последние годы в нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслях все чаще возникают проблемы, связанные с качеством работы внутренних контактных устройств ректификационных колонн. Основные сложности заключаются в загрязнении и коксовании поверхностей, физическом износе материалов, а также в нарушении оптимальных гидродинамических режимов из-за неравномерного распределения потоков или образования застойных зон. Кроме того, многие действующие колонны оборудованы устаревшими типами контактных устройств, которые не обеспечивают достаточной эффективности разделения. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на модернизацию внутренних устройств, включая применение но-

The quality of operation of the main rectification column of the catalytic cracking unit G-43-107 M/1, which separates the feedstock flow leaving the reactor, is considered. An analysis of the actual operating mode of the rectification unit and laboratory datas of petroleum products is used. Based on experimental data, a model for separating a gas-product mixture is built, the efficiency of internal contact devices is calculated, and ways to optimize the process are proposed.

Key words: catalytic cracking; chemical technology; computer modeling; economic efficiency; efficiency; internal contact devices; modernization; optimization; overlapping of fractions; rectification; rectification column.

вых материалов, усовершенствованных конструкций и методов математического моделирования для оптимизации рабочих процессов¹.

Объектом настоящего исследования является типовая ректификационная колонна К-201 установки каталитического крекинга Г-43-107 М/1. Проектами подобного типа оснащены такие предприятия, как «Газпромнефть-Московский НПЗ», «Башнефть-УНПЗ», ООО «ЛИНИК», ООО «СОКАР» и др. Данная установка предназначена для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов, дизельного топлива, а также сырья для производства бензинов изомерного строения: алкилата и метил-*трет*-бутилового эфира. Важную роль при этом играет не только процесс химического превращения, но и последующее разделение на фракции.

Дата поступления 27.11.24

Результат разделения нефтепродуктов зависит от способности внутреннего контактного устройства обеспечить точность разделения в определенных сечениях ректификационной колонны. Технологически верно спроектированная конструкция тарелки позволяет сократить количество таких устройств, приходящихся на один колонный аппарат, таким образом снижается металлоемкость производства, трудоемкость по обслуживанию и управлению технологическим процессом. За счет увеличения выхода высокомаржинального продукта возрастает экономическая эффективность производства.

Материалы и методы

Целью работы является проведение оценки качества ректификации и КПД контактных устройств основной ректификационной колонны.

Модель колонны создана на основе расчета по фактическому материальному балансу, рабочим параметрам и составу вырабатываемых нефтепродуктов. Для создания сырьевого потока колонны К-201 смешаны следующие выходящие продукты: жирный газ, бензин, легкий газойль крекинга (ЛКГ), тяжелый газойль крекинга (ТКГ), остаток и технологический конденсат. В процессе ректификации не происходят химические превращения, следовательно, такой подход позволяет добиться высокой точности модели ². В табл. 1 представлена характеристика вырабатываемых нефтепродуктов колонны К-201.

Расчетные фракционные составы нефтепродуктов, вырабатываемые в колонне К-201, приведены на рис. 1. Сравнение фактических и расчетных показателей работы приведено в табл. 2.

Таблица 1
Характеристика вырабатываемых нефтепродуктов К-201

Нефте-продукт	Разгонка		Ед. изм.	Факт	Модель
Нестабильный бензин	ASTM D86 – стандартный метод перегонки при атмосферном давлении, % об.	н.к.	°C	30	34
		10%		46	60
		50%		106	122
		95%		168	174
		к.к.		183	183
ЛКГ	ASTM D86 – стандартный метод перегонки при атмосферном давлении, % об.	н.к.	°C	160	172
		10%		191	230
		50%		235	266
		95%		332	333
		к.к.		360	338
ТКГ	ASTM TBP – стандартный метод атмосферно-вакуумной перегонки, % об.	н.к.	°C	162	141
		10%		254	314
		50%		327	349
		95%		351	393
		к.к.		358	434
Остаток	ASTM TBP – стандартный метод атмосферно-вакуумной перегонки, % об.	н.к.	°C	170	168
		10%		294	321
		50%		426	428
		95%		560	557
		к.к.		623	582

В разработанной модели колонны К-201 фактические и расчетные параметры аналогичны. Температурный профиль колонны, выработка

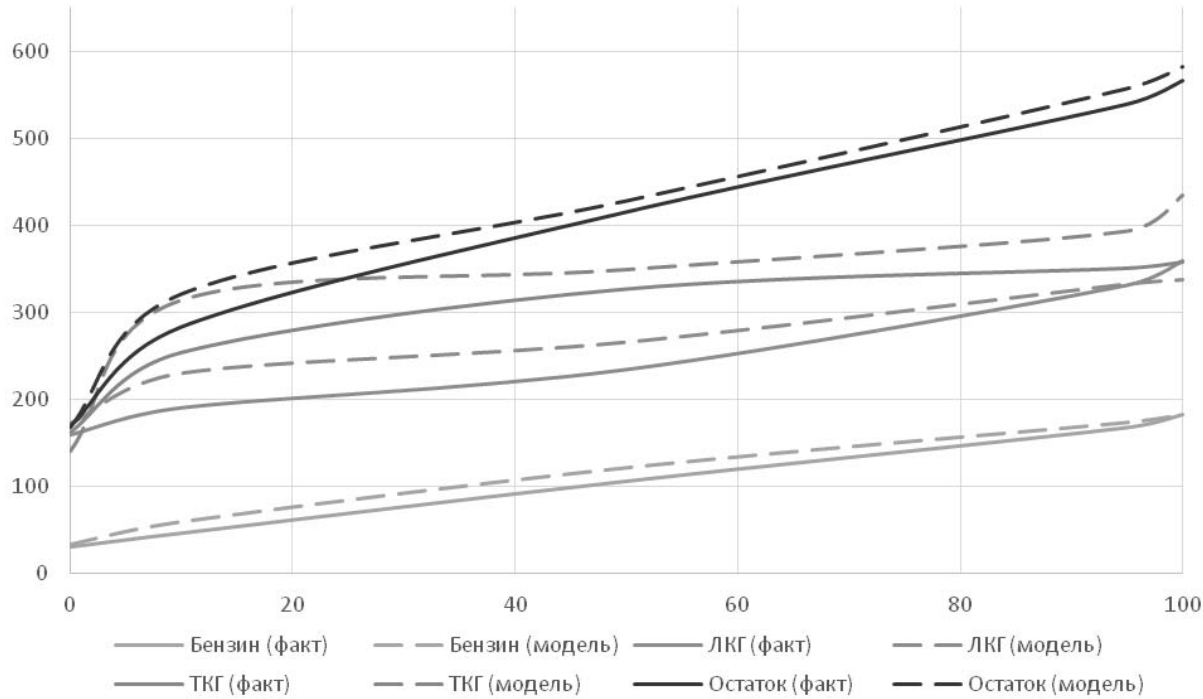


Рис. 1. Фракционный состав вырабатываемых нефтепродуктов (факт/модель)

нефтепродуктов и их фракционный состав имеют значения, близкие к фактическим, из чего можно сделать вывод, что модель адекватна и на ее основе можно проводить дальнейшие расчеты.

В процессе разработки модели колонны К-201, значения КПД контактных устройств подобраны таким образом, чтобы параметры работы колонны и качество вырабатываемой продукции соответствовали фактическим данным. Расчетные значения КПД приведены в табл. 3.

Таблица 2
Параметры технологического режима

Параметр		Ед. изм.	Факт	Модель
Расход	Острое орошение	т/ч	30	30
	ВЦО		192	195
	1 ПЦО		233	233
	2 ПЦО		265	270
	НЦО		630	630
Температура	Сырье после Р-201	°С	499	499
	Верх К-201		108	108
	5 тарелка		120	120
	19 тарелка		155	155
	28 тарелка		183	183
	Низ К-201		277	277
	ВЦО		70	68
	1 ПЦО		152	152
	2 ПЦО		182	182
	НЦО		190	188
Давление	Верх К-201	кг/см ²	0.88	0.88
	Низ К-201		1.13	1.13

* ВЦО/ПЦО/НЦО – верхнее/промежуточное/нижнее циркуляционное орошение

Таблица 3
Расчетные значения КПД контактных устройств колонны К-201

Номер тарелки	КПД, %
1-6	80
7	20
8 (глухая тарелка)	-
9-21	20
22 (глухая тарелка)	-
23-30	20
31 (глухая тарелка)	-
32-36	20

Расчет показал высокую эффективность работы верхней части колонны, в то время как нижняя часть имеет низкие значения КПД, что сказывается на качестве фракционирования.

Для оценки наложения фракций между нестабильным бензином и ЛКГ, ЛКГ и ТКГ, ТКГ и остатком рассчитан показатель Δt :

$$\Delta t = t_{5\% \text{ тяжелой фракции}} - t_{95\% \text{ легкой фракции}}$$

где $t_{5\% \text{ тяжелой фракции}}$ – температура выкипания 5% тяжелой фракции;

$t_{95\% \text{ легкой фракции}}$ – температура выкипания 95% легкой фракции;

при $\Delta t < 0$ – присутствует наложение фракций (низкое качество фракционирования);

при $\Delta t > 0$ – интервал (разрыв) фракций (высокое качество фракционирования).

По результатам расчета:

– наложение в паре ЛКГ-Нестабильный бензин:

$$\Delta t = 180^\circ\text{C} - 168^\circ\text{C} = 12^\circ\text{C};$$

– наложение в паре ТКГ-ЛКГ:

$$\Delta t = 212^\circ\text{C} - 332^\circ\text{C} = -120^\circ\text{C};$$

– наложение в паре Остаток-ТКГ:

$$\Delta t = 242^\circ\text{C} - 351^\circ\text{C} = -109^\circ\text{C}.$$

Работа контактных устройств характеризуется наложением фракций в паре ТКГ-ЛКГ, Остаток-ТКГ, вырабатываемых в колонне К-201, значение Δt находится ниже нуля, что говорит о низком качестве фракционирования. Наложение в паре ЛКГ-Нестабильный бензин показывает высокое качество фракционирования, однако на практике при высоких нагрузках не всегда удается этого добиться, для этого приходится поддерживать уровень контрольных тарелок выше регламентных значений, чтобы уловить восходящие пары крекинга. Повысить выход ЛКГ можно за счет модернизации внутренних контактных устройств, что благоприятно скажется на экономической эффективности установки. Аналогичная ситуация в паре Остаток-ТКГ, низкий КПД и физический износ 34-36 тарелок не позволяют получить высокого качества разделения^{3,4}.

Таким образом, расчетно установлено, что КПД нижних контактных устройств колонны К-201 имеют низкие значения. Работа ректификационной колонны характеризуется сильным наложением фракций, а также выходом за пределы регламентных значений. Можно сделать вывод о целесообразности замены внутренних контактных устройств на более эффективные.

Литература

1. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдоожиженном слое катализатора. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2023. – 383 с.
2. Asprion N. Modeling, Simulation, and Optimization 4.0 for a Distillation Column // *CHEMIE-INGENIEUR-TECHNIK*. – 2020. – V.92, №7. – С.879-889.
3. Пименова В.С., Аминова Э.К. Расширение сырьевой базы установок каталитического крекинга // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2021. – №4. – С.89-99.
4. Adefarati Oloruntoba, Yongmin Zhang, Chang Samuel Hsu. State-of-the-Art Review of Fluid Catalytic Cracking (FCC) Catalyst Regeneration Intensification Technologies // *Energies*. – 2022. – V.15, №6. – Art.2061.

References

1. Zadegbeydzhi R. *Kataliticheskiy kreking v psevdoozhizhennom sloye katalizatora* [Catalytic cracking in a fluidized bed of catalyst]. Saint Petersburg, Professiya Publ., 2023, 383 p.
2. Asprion N. [Modeling, Simulation, and Optimization 4.0 for a Distillation Column]. *CHEMIE-INGENIEUR-TECHNIK*, 2020, vol.92, no.7, pp.879-889.
3. Pimenova V.S., Aminova E.K. *Rasshireniye syr'yevoy bazy ustanovok kataliticheskogo krekinga* [Expansion of the raw material base of catalytic cracking units]. *Neftgazovoye delo* [Oil and Gas Business], 2021, no.4, pp.89-99.
4. Adefarati Oloruntoba, Yongmin Zhang, Chang Samuel Hsu. [State-of-the-Art Review of Fluid Catalytic Cracking (FCC) Catalyst Regeneration Intensification Technologies]. *Energies*, 2022, vol.15, no.6, art.2061.