

А. М. Калимгулова (асп.)¹, Н. А. Самойлов (д.т.н, проф.)¹, Т. Р. Просочкина (д.х.н., проф.)¹,
О. В. Ишалина (к.т.н., доц.)¹, А. П. Никитина (к.х.н., доц.)¹, И. М. Калимгулова (магистрант)¹,
А. С. Бондаренко (рук. сектора)²

АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ В РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра нефтехимии и химической технологии

450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; тел. (347) 2420932, e-mail: kalimgulova92@mail.ru

² Филиал ПАО АНК «Башнефть» «Башнефть-Уфанефтехим»,
сектор моделирования технологических процессов

450105, г. Уфа, ул. Уфа-45; тел. (347) 2497210, e-mail: Aleksandrsbondarenko@gmail.com

A. M. Kalimgulova¹, N. A. Samoilov¹, T. R. Prosochkina¹,
A. P. Nikitina¹, O. V. Ishalina¹, I. M. Kalimgulova¹, A. S. Bondarenko²

ANALYSIS OF THE HYDRAULIC OPERATION MODE OF CONTACT DEVICES FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF SEPARATION PROCESS IN THE RECTIFICATION COLUMN OF STABILIZATION OF DIESEL FUEL

¹ Ufa State Petroleum Technological University

1, Kosmonavtov Str., 450062, Ufa, Russia; ph. (347) 2420932, e-mail: kalimgulova92@mail.ru:

² Branch of PJSC ANK Bashneft Bashneft-Ufaneftekhim

Ufa, 450105, Russia; ph. (347) 2497210, e-mail: Aleksandrsbondarenko@gmail.com

Целью данной работы стал поиск решения проблемы проскока сероводорода в кубовый продукт стабилизационной колонны установки гидроочистки дизельных топлив. С применением программного обеспечения Aspen HYSYS выполнен гидравлический расчет внутренних устройств, который позволил обнаружить наличие условий провала жидкости на всех контактных устройствах отгонной части колонны. На основании расчетов было предложено перекрытие части клапанов тарелок отгонной части колонны. Реализация этого решения привела к увеличению скорости паров за счет уменьшения свободного сечения, и, таким образом, ликвидировало провальный режим работы. Результаты лабораторных анализов показали, что проведение реконструкции исключило проскок сероводорода в кубовый продукт колонны стабилизации.

The aim of this work was solutions of the problem of hydrogen sulfide breakthrough into the bottom product of the stabilization column of the diesel fuels hydrotreatment unit. Using the Aspen HYSYS software, an internal devices hydraulic calculation was made. It allowed to detect the liquid leakage in the column flash zone. According to the calculations closing a part of the valves of the column flash zone plates was proposed. The implementation of this solution has led to a vapors velocity increasing by reducing the free section and repairing the leakage transfer process mode. Laboratory tests showed that the modernization trays resulted in an excluding of a hydrogen sulfide breakthrough into the bottom product of the stabilization column.

Дата поступления 20.02.19

Ключевые слова: гидравлический режим; качество продуктов; контактные устройства; массообменный процесс; модернизация контактных устройств; ректификационная колонна; стабилизация дизельного топлива; эффективность фракционирования.

Одним из основных путей развития нефтеперерабатывающей промышленности является модернизация оборудования, интенсификация технологических режимов его работы и повышение качества получаемых продуктов. Эффективность разделения нефти и нефтепродуктов зависит от способности контактного устройства обеспечить необходимую степень разделения в секциях колонного оборудования.

Ректификационные колонны, применяемые в нефтепереработке и в нефтехимии, классифицируются по различным признакам:

- по технологическому назначению;
- по способу организации контакта паровой и жидкой фаз;
- по типу контактных устройств;
- по регулируемости сечений для прохода паровой и жидкой фаз и т. д.

По определению, контактные устройства – это устройства, на которых реализуется процесс смешения неравновесных пара и жидкости, сопровождающийся тепло- и массообменом^{1, 2}.

Массообмен – диффузионный процесс переноса распределения вещества из одной фазы в другую через разделяющую их границу или внутри одной фазы в неоднородном поле концентраций³. Посредством парожидкостного контакта массообмен осуществляется между двумя фазами: низкокипящие соединения мигрируют из жидкости в пар, и одновременно высококипящие мигрируют из паровой фазы в жидкую (рис. 1). Переносы осуществляются по границе разделения двух фаз (на поверхности их соприкосновения), где жидкость находится в прямом контакте с паром.

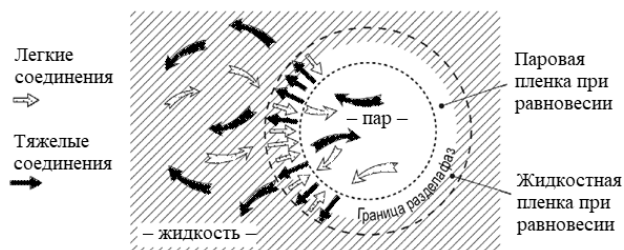


Рис. 1. Контакт паровой и жидкой фаз

Диффузия является ограничивающим явлением, в частности, в жидкой фазе: в ней градиент меньше, так как толщина слоя больше. Это является следствием высокой вязкости

Key words: contact device modernization diesel fuel stabilization; contact devices; distillation column; fractionation efficiency; hydraulic mode; mass transfer process; product quality.

жидкости по сравнению с вязкостью газовой фазы. Чем выше вязкость жидкости, тем толще жидкостной слой и медленней происходит массообмен⁴. Изменение гидродинамического режима жидкой фазы позволяет уменьшить толщину слоя жидкости и тем самым интенсифицировать диффузию.

Следует отметить, что при неправильной организации гидродинамики потоков на контактных устройствах нарушаются условия интенсивного перемешивания паровой и жидкой фаз, формирования развитой поверхности раздела фаз и в работе контактного устройства формируются условия появления таких негативных проблем, как просачивание, унос, обдув, обводнение паров, приводящие к значительному ухудшению процесса массообмена (рис. 2)⁴. В зависимости от конструктивных особенностей контактного устройства и расходов проходящих через него паровой и жидкой фаз, контактное устройство имеет конкретные границы эффективной (с позиции массопереноса) области работы. Эта область работы ограничивается по бокам по пропускной способности линиями минимальной и максимальной нагрузки по жидкости, сверху – линией переброса или каналобразования, когда паровой и жидкой фаз проходит через каналы в жидкости с резким уменьшением поверхности раздела фаз, снизу – линией нижней границы эффективности контактного устройства, связанной, например, с провалом жидкости без контакта с паром. Контактное устройство при определенных расходах паровой и жидкой фаз характеризуется рабочей точкой на диаграмме области эффективной работы (рис. 3). Если рабочая точка находится внутри области эффективной работы, то контактное устройство может считаться работоспособным (рис. 3), в противном будет наблюдаться значительное ухудшение процесса массообмена с резким снижением коэффициента полезного действия контактного устройства.

Подобный анализ целесообразно выполнять при обследовании промышленных ректификационных колонн в нефтепереработке и в нефтехимии с целью поиска путей повышения их эффективности.

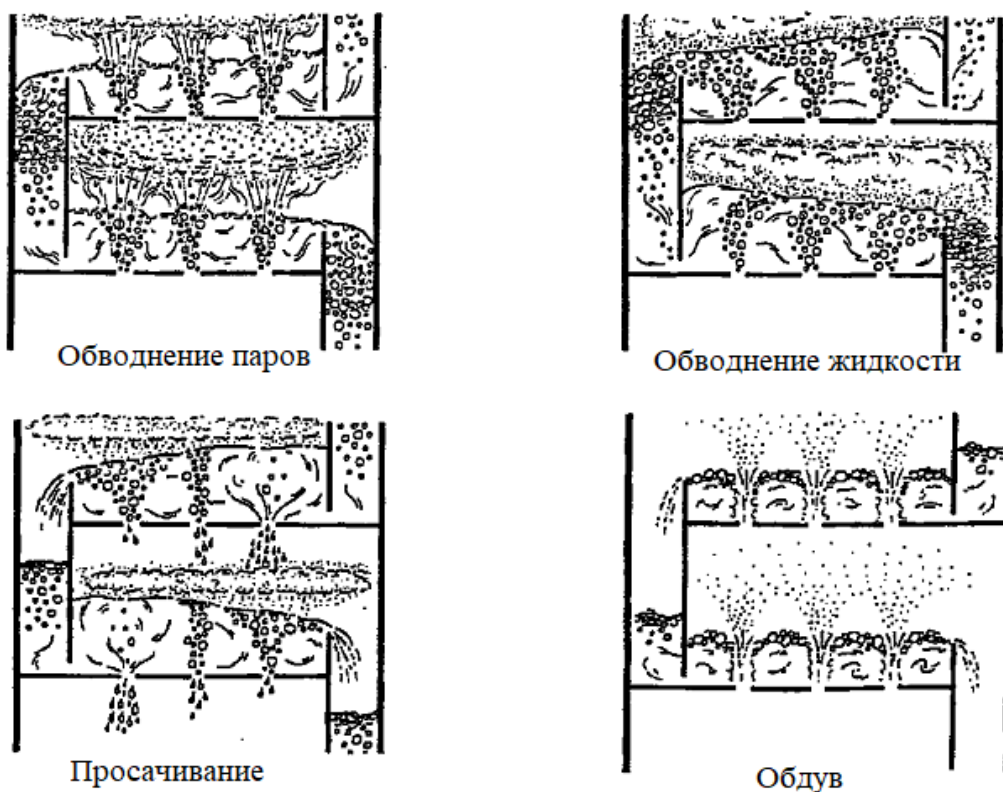


Рис. 2. Некоторые виды гидродинамических проблем на контактных устройствах при неправильном режиме работы колонны³

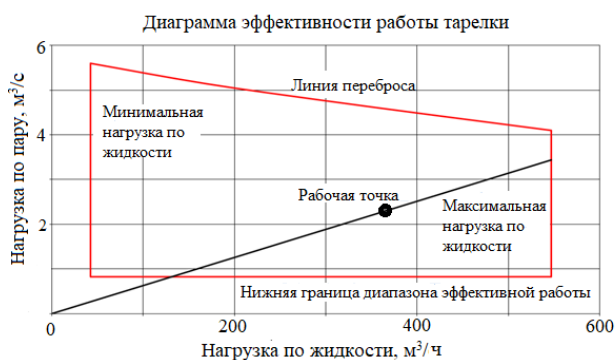


Рис. 3. Диаграмма эффективности работы тарелки

В действующей ректификационной колонне стабилизации гидроочищенного дизельного топлива К-1 на установке гидроочистки дизельных топлив Л-24-7 производственной площадки «Башнефть-Уфанефтехим» филиала ПАО АНК «Башнефть» наблюдался «проскок» сероводорода в кубовый продукт колонны, что повышало его коррозионную активность. Регулярные отрицательные результаты испытания гидроочищенного дизельного топлива на медной пластинке (ГОСТ 6321) создавали проблемы по его вовлечению в вырабатываемый смесевой продуктовый пул. Для улучшения отпарки сероводорода от дизельного

топлива на производстве было принято решение о подаче водяного пара в куб колонны, что частично исключило проблему, однако, способствовало дополнительному коррозионному износу корпуса колонны в зоне ввода пара. Также к недостаткам существующего решения можно отнести стоимость подаваемого пара, приводящую к увеличению себестоимости дизельного топлива и «обводненность» продуктов.

Целью работы стал поиск решения по устранению вышеописанных проблем. Анализ эффективности разделения в колонне К-1 установки гидроочистки Л-24-7 производственной площадки «Уфанефтехим» выполнялся по следующему плану:

- на основании фиксированного пробега с применением программного обеспечения Aspen HYSYS создание поверочной математической модели колонны К-1, воспроизводящей технологические параметры работы оборудования, качества и выходов продуктов;
- проведение гидравлического расчета работы массообменных контактных устройств с целью выявления причин низкой эффективности;
- разработка мероприятий по устранению выявленных причин нарушения режима работы.

С использованием программного обеспечения Aspen HYSYS выполнен гидравличес-

кий расчет внутренних контактных устройств, который выявил, что практически на всех тарелках отгонной части колонны присутствует режим провала жидкости; подача водяного пара для отпарки сероводорода лишь несколь-

ко (около 10%) улучшает относительный запас тарелок по провалу жидкости (табл. 1). Рабочая точка для всех тарелок отгонной части колонны находится вне зоны эффективной работы (рис. 4).

Таблица 1

Относительный запас тарелок по провалу жидкости, %

№ Тарелки	Максимальная загрузка с подачей пара	Максимальная загрузка без подачи пара	Стандартная загрузка с подачей пара	Стандартная загрузка без подачи пара
28	18	9	15	4
27	50	31	37	25
26	59	38	45	32
25	61	39	47	34
24	63	40	48	35
23	63	40	48	35
22	63	39	48	34
21	63	39	48	34
20	62	39	47	34
19	62	38	47	33
18	62	38	46	33
17	63	38	47	33
16	68	41	51	35
15	43	10	36	20
14	15	-13	5	-9
13	24	-8	9	-5
12	6	-22	-5	-17
11	17	-14	-2	-10
10	2	-25	-10	-20
9	14	-17	-1	-12
8	-23	-44	-32	-39
7	-13	-37	-25	-32
6	-24	-45	-33	-39
5	-14	-38	-26	-32
4	-54	-67	-60	-63
3	-48	-63	-56	-59
2	-55	-67	-60	-63
1	-49	-63	-56	-58

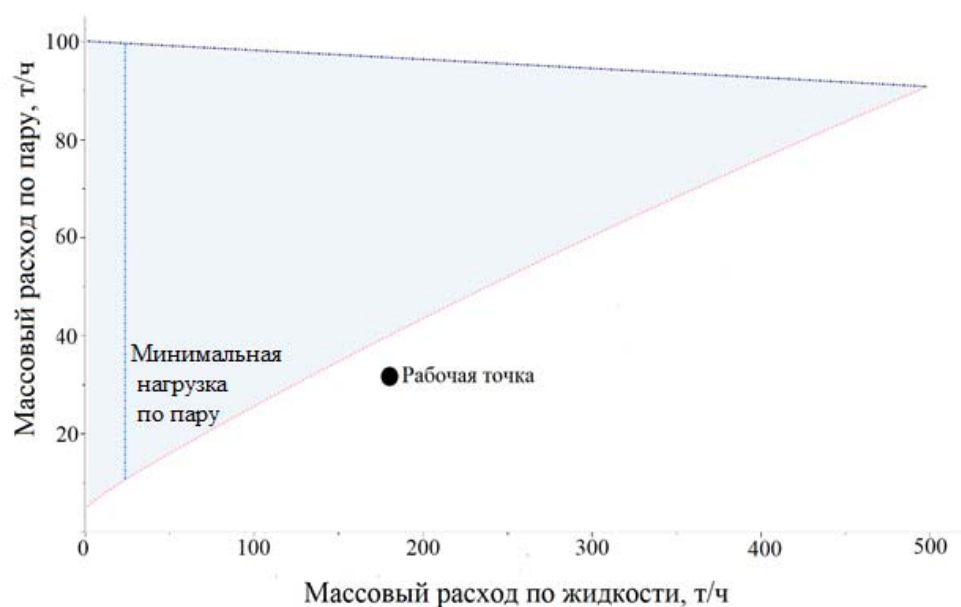


Рис. 4. Графическое изображение диаграмм эффективности работы тарелок колонны стабилизации дизельного топлива в ПО Aspen HYSYS при провальном режиме работы отгонной части колонны

Результаты расчетов стабильной работы колонны К-1 по предложенной реконструкции

Номер тарелки	Процент перекрытия клапанов	Фактическая (по стандарту) доля живого сечения тарелки	Предлагаемая доля живого сечения тарелки	Относительный запас по объемной нагрузке по парам с перекрытыми клапанами, %							
				Максимальная нагрузка с паром		Максимальная нагрузка без пара		Стандартная нагрузка с паром		Стандартная нагрузка без пара	
				запас по провалу жидкости	запас по перебросу жидкости	запас по провалу жидкости	запас по перебросу жидкости	запас по провалу жидкости	запас по перебросу жидкости	запас по провалу жидкости	запас по перебросу жидкости
28	0	0.1305	0.1305	46	54	26	66	33	63	20	68
27	0	0.1305	0.1305	52	44	31	60	37	56	25	62
26	0	0.1305	0.1305	60	40	37	57	45	52	32	59
25	0	0.1305	0.1305	63	38	39	56	47	51	34	58
24	0	0.1305	0.1305	63	38	39	56	48	51	35	57
23	0	0.1305	0.1305	63	38	39	56	48	51	35	57
22	0	0.1305	0.1305	63	38	39	56	48	51	34	57
21	0	0.1305	0.1305	63	56	39	68	48	65	34	69
20	0	0.1305	0.1305	62	38	38	56	47	51	34	58
19	0	0.1305	0.1305	62	39	38	57	47	51	33	58
18	0	0.1305	0.1305	62	40	38	57	46	52	33	59
17	0	0.1305	0.1305	63	41	38	59	47	53	33	60
16	0	0.1305	0.1305	68	45	41	61	51	56	35	62
15	0	0.0653	0.0651	44	81	10	86	36	85	20	86
14	24	0.0653	0.0495	51	54	14	67	38	67	20	71
13	21	0.0653	0.0517	56	59	16	71	38	71	20	75
12	31	0.0653	0.0449	54	56	13	69	38	69	20	73
11	25	0.0653	0.0489	57	61	14	72	37	72	20	75
10	34	0.0653	0.0434	54	57	12	70	36	70	20	73
9	27	0.0653	0.0478	56	62	13	73	35	73	20	76
8	49	0.0840	0.0428	52	71	10	80	34	79	20	81
7	44	0.0840	0.0474	54	67	11	77	33	77	20	79
6	49	0.0840	0.0426	50	64	9	75	32	75	20	77
5	44	0.0840	0.0473	52	68	10	77	31	77	20	79
4	69	0.1379	0.0427	48	65	7	75	30	75	20	77
3	65	0.1379	0.0476	50	68	8	78	29	78	20	79
2	69	0.1379	0.0430	46	65	6	76	28	76	20	77
1	65	0.1379	0.0482	47	69	6	78	26	78	20	79

Для исключения явления провала жидкости необходимо увеличить скорость потока паров, проходящих через контактное устройство. Этого можно, в частности, добиться за счет уменьшения относительного свободного сечения тарелок.

Наиболее простым и эффективным конструктивным решением этой проблемы стало перекрытие (в среднем на 60%) клапанов на ректификационных тарелках (рис. 5,6). Перекрытие было выполнено путем заваривания части клапанов стальными пластинами. Увеличение скорости паров за счет уменьшения свободного сечения привело к исключению провального режима работы (рис. 7) и устранило «проскок» сероводорода в кубовый продукт. Кроме того, расчетами подтверждено, что скорость паров

не превышена и находится в допустимых пределах, и переброса (уноса) жидкости с нижних тарелок на верхние не происходит (табл. 2).

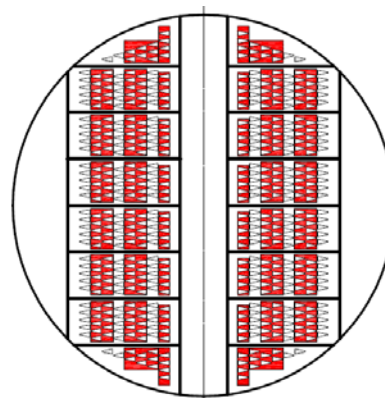


Рис. 5. Эскиз перекрытия клапанов тарелки (красным цветом).



Рис. 6. Пример перекрытия клапанов тарелки

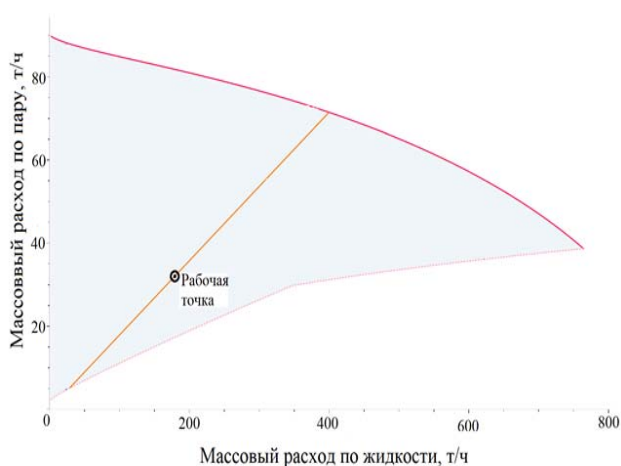


Рис. 7. Графическое изображение в ПО Aspen HYSYS при нормальном режиме работы колонны

Литература

1. Ахметов С. А., Сериков Т. П., Кузеев И. Р., Баязитов М. И. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа.— СПб.: Недра, 2006.— 411 с.
2. Чуракова С. К. Классификация контактных устройств с точки зрения организации контакта фаз // Баш. хим. ж.— 2011.— Т.18, №2.— С.39-44.
3. Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии.— М.: Недра, 2000.— 663 с.
4. IFPtraining, <https://www.ifptraining.com/certification.html> [Внутренние устройства для парожидкостного контакта в перегонных колоннах], С.1-5.

References

1. Akhmetov S. A., Serikov T. P., Kuzeev I. R., Bayazitov M. I. *Tekhnologiya i oborudovanie protsessov pererabotki nefti i gaza* [Technology and Equipment for Oil and Gas Processing Processes.]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2006, 411 p.
2. Churakova S. K. *Klassifikatsiya kontaktnykh ustrojstv s točki zreniya organizatsii kontakta faz* [Classification of contact devices from the point of view of the organization of contact of phases]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2011, vol.18, no.2, pp.39-44.
3. Skoblo A.I., Molokanov Yu.K., Vladimirov A.I., Schelkunov V.A. *Protsessy i apparaty neftegazoprerabotkii neftekhimii* [Processes and apparatuses for oil and gas processing and petrochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 2000, 663 p.
4. IFP training, <https://www.ifptraining.com/certification.html>.

Результаты лабораторных анализов показали, что проведение реконструкции исключило прокок сероводорода в куб колонны из-за гидродинамических факторов даже без подачи водяного пара. В итоге, содержание сероводорода в дизельном топливе составляет менее 3 ppm (чувствительность метода определения сероводорода на медной пластине).

Помимо целевой задачи (получение стабильного гидрогенизата с отсутствием сероводорода), благодаря реконструкции колонны К-1 установки гидроочистки дизельных топлив Л-24-7, были также достигнуты следующие положительные результаты:

- исключение подачи водяного пара позволило достичь экономии около 1 млн руб./год;
- увеличение срока службы колонн за счет отсутствия коррозии в точках подачи водяного пара;
- стабилизация режима работы колонны
- отсутствие «скачков» уровня жидкости в кубе колонны.

Выполнение подобных проектов с математическим моделированием работы контактных устройств возможно и необходимо также на других установках НПЗ. Увеличение коэффициента полезного действия контактных устройств позволит достичь более четкого разделения фракций в ректификационных колоннах при рациональном использовании энерго-ресурсов, что, в конечном счете, приведет к минимизации затрат на реализацию многотоннажных технологических процессов.