

УДК 665.644.442

<https://doi.org/10.24411/2310-8266-2019-10106>

Температура сепарации газопродуктовой смеси на установках каталитического риформинга

Ф.Г. Жагфаров, Д.С. Худяков, К.Н. Ощёхин

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 119991, Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-7344-015X, E-mail: firdaus_jak@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4617-8643, E-mail: ltybc672@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-5375-7355, E-mail: kir.oshehin@yandex.ru

Резюме: Рассмотрены различные способы понижения температуры газопродуктовой смеси каталитического риформинга на входе в сепаратор для увеличения выхода риформата и повышения энергоэффективности установки. Представлены экономические расчеты, подтверждающие целесообразность предложенных способов.

Ключевые слова: каталитический риформинг, температура сепарации, водородсодержащий газ, гидроочистка, аппарат воздушного охлаждения, пластинчатый теплообменник.

Для цитирования: Жагфаров Ф.Г., Худяков Д.С., Ощёхин К.Н. Температура сепарации газопродуктовой смеси на установках каталитического риформинга // НефтеГазоХимия. 2019. № 1. С. 35–38.

DOI:10.24411/2310-8266-2019-10106

THE TEMPERATURE OF SEPARATION OF GAS PRODUCT MIXTURE AT CATALYTIC REFORMING UNITS

Firdavez G. Zhagfarov, Denis S. Khudyakov, Kirill N. Oshchihin

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 119991, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-7344-015X, E-mail: firdaus_jak@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4617-8643, E-mail: ltybc672@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-5375-7355, E-mail: kir.oshehin@yandex.ru

Abstract: Various methods to reduce temperature of gas product mixture of catalytic reforming at the entrance to the separator to increase reformate yield and improve energy efficiency of the unit are considered. Economic calculations, confirming the expediency of the proposed methods are presented.

Keywords: catalytic reforming, temperature of separation, hydrogen-containing gas, hydrofining, air cooling apparatus, plate heat exchanger.

For citation: Zhagfarov F.G., Khudyakov D.S., Oshchihin K.N. THE TEMPERATURE OF SEPARATION OF GAS PRODUCT MIXTURE AT CATALYTIC REFORMING UNITS. *Oil & Gas Chemistry*. 2019, no. 1, pp. 35–38. DOI:10.24411/2310-8266-2019-10106

Экономический успех предприятия, рентабельность и конкурентоспособность зависят от того, насколько эффективно им реализуется цепочка прогресса: энергоёмкость – энергосбережение – техническое развитие – перевооружение [1]. Кроме обеспечения стабильной работы оборудования главной задачей является выявление наиболее энергоёмких участков на предприятии и мест нерационального расхода энергоресурсов. Для осуществления технологических процессов расходуется значительное количество топливно-энергетических ресурсов, поэтому важнейшие задачи предприятия это:

водорода и гидроочистки дизельного топлива.

Состав ВСГ, содержание в нем водорода и углеводородов состава C_1-C_6 зависят от качества катализатора и условий разделения в сепараторе высокого давления. При повышении содержания в ВСГ компонентов C_5-C_6 снижается выход целевого продукта за единицу времени.

Уменьшения компонентов C_5-C_6 в ВСГ и увеличения выработки стабильного катализата можно достичь путем понижением температуры ГПС на входе в сепаратор, то есть повышения эффективности схемы охлаждения ГПС риформинга.

- повышение эффективности потребления топливно-энергетических ресурсов, сокращение их нерационального использования и потерь;

- внедрение инновационных энергосберегающих процессов, направленных на снижение энергоёмкости и энергетических затрат в структуре себестоимости выпускаемой продукции.

Процесс каталитического риформинга бензиновых фракций, предназначенный для получения высокооктанового компонента товарных бензинов на платиносодержащих катализаторах, включает несколько стадий: смешение гидроочищенного сырья с водородсодержащим газом (ВСГ), нагрев газосырьевой смеси (ГСС) в теплообменниках и печи, каталитические превращения ГСС в реакторах, охлаждение газопродуктовой смеси (ГПС) в теплообменниках, воздушных и водяных холодильниках, разделение ГПС на ВСГ и нестабильный катализат в сепараторе высокого давления, стабилизация нестабильного катализата в колонне стабилизации. Схема установки каталитического риформинга представлена на рис. 1.

Фактическая производительность установок по сырью составляет в среднем 150–160 м³/ч, расход ВСГ – 200–240 тыс. м³/ч.

Стабильный катализат используется в качестве высокооктанового компонента бензина, часть ВСГ возвращается на смешение с сырьем, а часть направляется на установки очистки

Для этого рассматривалось несколько вариантов:

- 1) использование системы адиабатического охлаждения на аппаратах воздушного охлаждения;
- 2) замена трубных пучков АВО на змеевики малого радиусагиба (ЗМРГ);
- 3) установка дополнительного теплообменного оборудования;
- 4) замена кожухотрубчатых теплообменников нагрева ГСС на пластинчатые Alfa Laval Packinox.

Использование системы адиабатического охлаждения на аппаратах воздушного охлаждения в нефтяной и нефтехимической промышленности весьма эффективно.

Процесс адиабатического охлаждения воздуха заключается в распылении с помощью форсунки подаваемой воды и испарении ее некоторого количества. На испарение затрачивается энергия, которая поглощается из самого воздуха, воздух при этом охлаждается. Принцип увлажнения распылительного типа широко применяется в различных отраслях промышленности. Адиабатическое увлажнение происходит при постоянном количестве тепла ($\Delta Q = 0$). При увеличении относительной влажности воздуха его температура понижается. В воздух поступает мелкодиспергированный водяной поток, который впоследствии испаряется при его турбулентном смешении.

Фазовый переход воды из жидкого в парообразное состояние осуществляется за счет внутренних поступлений тепла из воздуха, вследствие чего его температура понижается. Определенное расположение коллектора с форсунками должно обеспечивать полное испарение распыляемой жидкости и подачу на теплообменные секции АВО сухого, но существенно охлажденного воздушного потока (фото 1).

Замена трубных пучков АВО на ЗМРГ достаточно эффективна.

В основе ЗМРГ используется принципиально новая конструкция теплообменной поверхности, которая по своим показателям качества значительно превосходит применяемые в настоящее время прямотрубные, пластинчатые и обычные змеевиковые.

Секции выполнены из плоских модулей (фото 2), разбитых на независимые контуры по трубному пространству и объединенных общим кожухом по межтрубному. Наличие независимых секций позволяет оперативно отключать неисправную секцию или уменьшать теплообменную поверхность в зимнее время [2].

Установка дополнительного теплообменного оборудования может быть связана с некоторыми трудностями, такими как поиск места расположения нового оборудования на установке, обслуживание дополнительной единицы оборудования, дополнительные затраты на охлаждение водой (в случае установки холодильника) и др.

Установка новой дополнительной единицы теплообменника имеет смысл при сокращении энергоресурсов в процессе эксплуатации.

Для охлаждения ГПС была рассмотрена возможность установки дополнительного теплообменного оборудования перед воздушными холодильниками. Холодным потоком, кроме воды, в данном случае может быть сырье блока гидроочистки с температурой 27–30 °С (рис. 4).

Для расчета изменения энергопотребления при установке нового теплообменника и замене кожухотрубчатых теплообменников на Alfa Laval Packinox был проведен пинч-анализ.

Пинч-анализ (англ. *pinch* – «сжатие», «сужение») представляет собой методологию для минимизации потребления энергии технологических процессов путем расчета

Рис. 1

Схема установки каталитического риформинга:
 1 – сырьевой насос; 2 – компрессор; 3 – теплообменник; 4 – многокамерная печь; 5 – реакторы; 6 – воздушный холодильник; 7 – водяной холодильник; 8 – сепаратор; 9 – стабилизационная колонна; 10 – абсорбер осушки циркуляционного газа. Потоки: I – сырье; II – водородсодержащий газ; III – стабильный катализат; IV – углеводородный газ

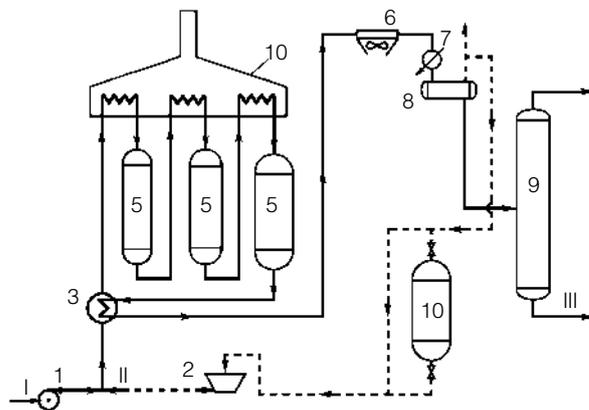


Фото 1

Система адиабатического охлаждения



Фото 2

Змеевики малого радиусагиба

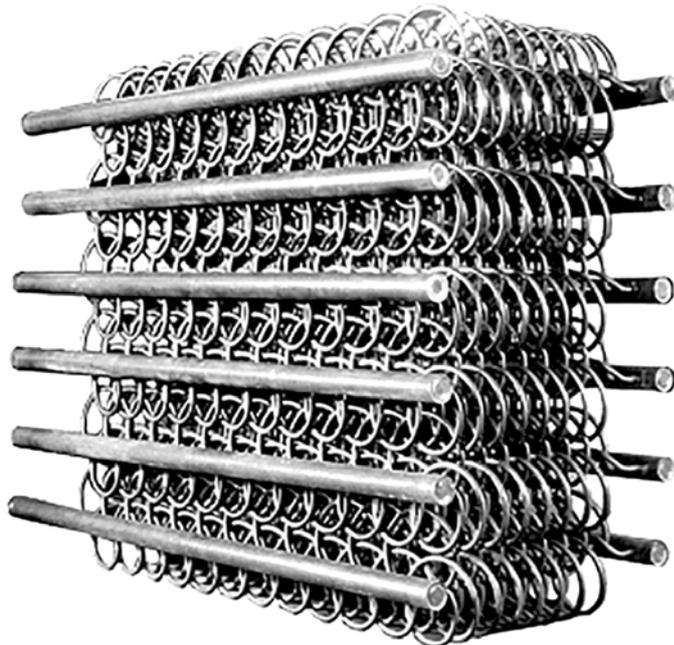


Рис. 2

Охлаждение сырья из блока гидроочистки

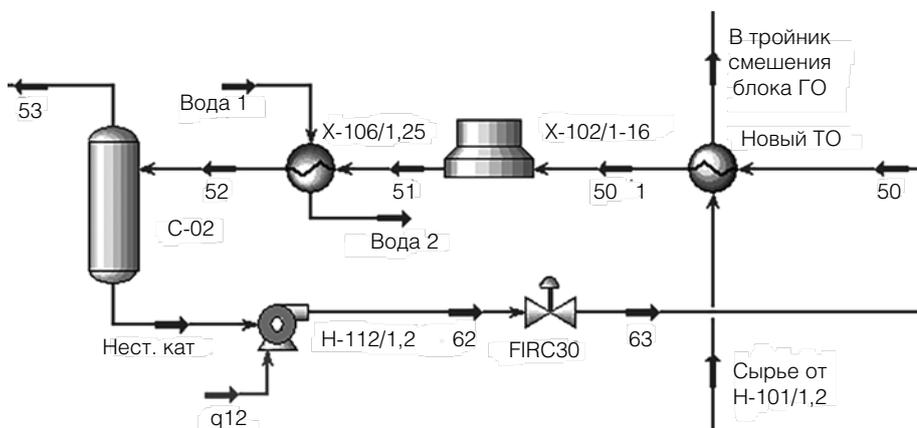
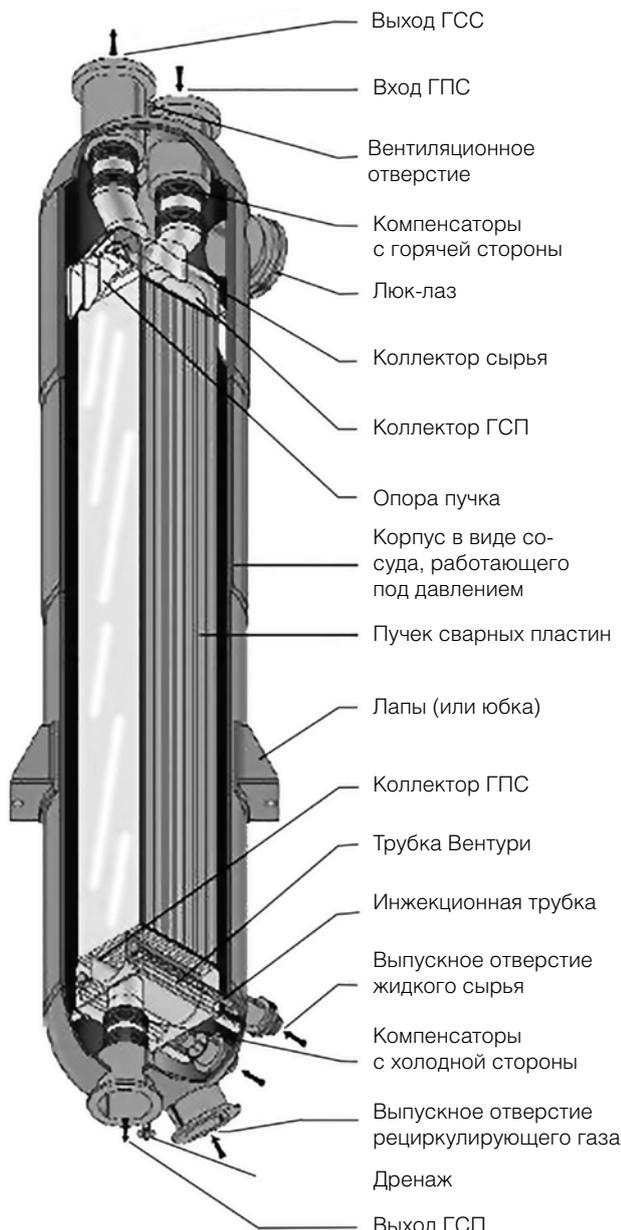


Рис. 3

Конструкция теплообменников Alfa Laval Packinox



термодинамически осуществимой целевой энергии (или минимума потребления энергии) и ее достижение путем оптимизации тепла рекуперации системы, методов подвода энергии и условий эксплуатации. Пинч-анализ также известен как процесс интеграции, тепловая интеграция, энергетическая интеграция или пинч-технология.

Согласно пинч-анализу, при установке нового теплообменника, охлаждаемого сырьем из блока гидроочистки, помимо снижения температуры ГПС на входе в сепаратор снижаются затраты на нагревание и охлаждение потоков за счет рекуперации тепла.

Мероприятие по замене кожухотрубчатых теплообменников на пластинчатые Alfa Laval Packinox является наиболее эффективным, так как дает максимальный эффект охлаждения

ГПС. По проведенному пинч-анализу также снижается нагрузка на нагревательные печи. При реализации данного мероприятия не требуется затрат на воду, как в случае с адиабатическим охлаждением.

Большие пластинчатые теплообменники Alfa Laval Packinox представляют собой цельное оборудование, сочетающее эффективность пластинчатого теплообменника со стойкостью к высоким температурам и давлению, столь свойственной кожухотрубчатым теплообменникам (рис. 3). Более того, один компактный теплообменник Alfa Laval Packinox способен заменить несколько трубчатых агрегатов, что сокращает стоимость монтажных работ и не требует большого перепада давления.

Теплообменники Alfa Laval Packinox улучшают общие экономические показатели установок, создаваемых с нуля, и служат основой для недорогого переоснащения существующих установок, так как обладают высокой производительностью при меньшем перепаде давления [3].

Таким образом, поддерживая минимальную температуру в сепараторе ГПС, можно снизить потери углеводородов C_5-C_6 с ВСГ и тем самым увеличить выработку высокооктанового компонента бензина на установке риформинга.

Проведенный расчет показателей экономической эффективности (табл. 1) показал, что инвестиции в любое из предложенных решений окупаются и проект становится экономически эффективным.

График окупаемости инвестиций представлен на рис. 4.

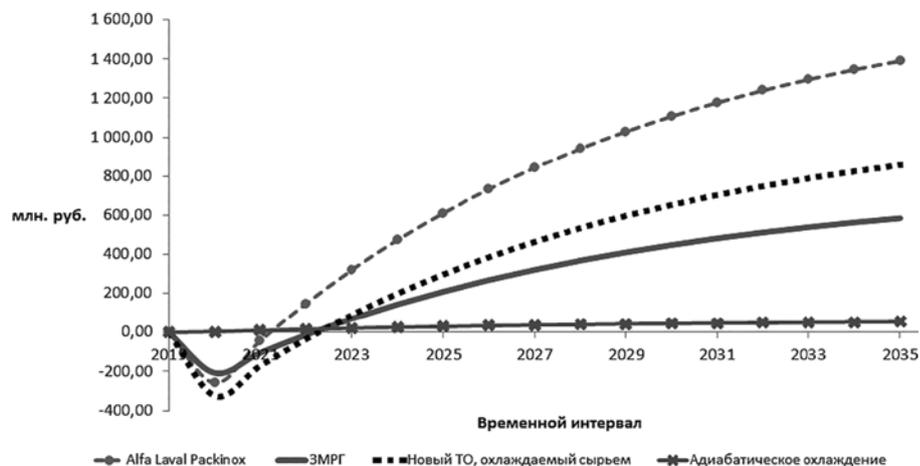
Таблица 1

Сравнение детонационных характеристик модельных газов № 1 и № 2 и продуктов их оксикрекинга кислородом и атмосферным воздухом

Показатель	Адиабатическое охлаждение	ЗМРГ	Охлаждение сырьем гидроочистки	Alfa Laval Packinox
Ставка дисконтирования, %	14	14	14	14
DPP, лет	1,00	3,15	2,44	2,23
NPV, млн руб.	60,79	585,21	857,54	1390,80
PI	23,10	2,57	3,28	3,96
IRR, %	-	58,42	55,77	96,61

Рис. 4

График окупаемости инвестиций



Таким образом, было рассмотрено четыре технологических решения: использование системы адиабатического охлаждения на АВО, замена трубных пучков АВО на ЗМРГ, установка дополнительного теплообменного оборудования (ТО), замена кожухотрубчатых теплообменников на Alfa Laval Packinox.

Чистый приведенный доход при использовании системы адиабатического охлаждения составляет 60,79 млн руб.; при замене трубных пучков на ЗМРГ – 585,21 млн руб.; при установке нового ТО – 857,54 млн руб.; при замене ТО на Alfa Laval Packinox – 1390,8 млн руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наилучшие доступные технологии, технические решения и оборудование в области повышения энергоэффективности и энергосбережения в процессах переработки углеводородного сырья: Справ. ПАО «НК «Роснефть». М., 2018. 965 с.
2. ООО «Анод-Теплообменный центр». URL: http://www.and-tc.ru/projects/avo/avo-6_3/. (дата обращения 20.02.2019).
3. Устойчивость благодаря проверенной производительности. Packinox. URL: <https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/welded-plate-and-shell-heat-exchangers/packinox/>. (дата обращения 20.02.2019).

REFERENCES

1. *Nailuchshiyе dostupnyye tekhnologii, tekhnicheskiye resheniya i oborudovaniye v oblasti povysheniya energoeffektivnosti i energosberezheniya v protsessakh pererabotki uglevodorodnogo syr'ya* [The best available technologies, technical solutions and equipment in the field of energy efficiency and energy saving in the processing of hydrocarbons]. Moscow, 2018. 965 p.
2. ООО «Анод-Теплообменный центр» (LLC Anod-Heat exchange center) Available at: http://www.and-tc.ru/projects/avo/avo-6_3/ (accessed 20 February 2019).
3. *Ustoychivost' blagodarya proverennoy proizvoditel'nosti. Packinox* (Sustainability thanks to proven performance. Packinox) Available at: <https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/welded-plate-and-shell-heat-exchangers/packinox/> (accessed 20 February 2019).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Жагфаров Фирдавес Гаптелфартович, д.т.н., проф., зам. завкафедрой газохимии, РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина.

Худяков Денис Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры газохимии, РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина.

Ощехин Кирилл Николаевич, инженер кафедры газохимии, РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина.

Firdavez G. Zhagfarov, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Deputy Head of the Department of Gaschemistry, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).

Denis S. Khudyakov, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of the Department of Gaschemistry, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).

Kirill N. Oshchekin, Engineer of the Department of Gaschemistry, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University).