

И. Р. Везилов (к.т.н., доц.), Э. Г. Теляшев (д.т.н., проф., зав. каф.)

НИЗКОУГЛЕРОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ВАКУУМА

Уфимский государственный нефтяной технический университет
кафедра газохимии и моделирования химико-технологических процессов
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: ivezirov@yandex.ru

I. R. Vezirov, E. G. Telyashev

LOW-CARBON VACUUM TECHNOLOGY

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

С целью разработки методики расчета и компьютерного моделирования проанализированы результаты опытно-промышленных данных о работе существующих вакуумных блоков российских нефтеперерабатывающих заводов с гидроэжекторными вакуумсоздающими системами. Определено влияние основных технологических параметров на эффективность работы гидроэжекторных вакуумсоздающих систем. Разработана гидроэжекторная система, обеспечивающая удаление эмульгированной воды из циркулирующей рабочей жидкости на основе гидроэжекторов последнего (четвертого) поколения. Разработана методика расчета и определения оптимальных технологических параметров многоступенчатой гидроэжекторной вакуумсоздающей системы; получены все качественные и количественные показатели проекта.

Ключевые слова: вакуумный блок; гидроэжекторная вакуумсоздающая система; технологическая схема установки; эмульгированная вода.

Исследование выполнено в рамках реализации стратегического проекта «Химия новой экономики». Научно-исследовательский проект «Низкоуглеродная технология создания вакуума».

«Химико-технологическая система – это совокупность взаимосвязанных технологическими потоками и действующих как одно целое аппаратов, в которых осуществляется определённая последовательность технологических операций (подготовка сырья, собственно химическое превращение, выделение целевых продуктов)»¹. Блок вакуумной перегонки мазута полностью соответствует понятию ХТС, так как представляет собой взаи-

In order to develop calculation methods and computer modeling the results of experimental and industrial data on the operation of existing vacuum units of Russian oil refineries with hydro-ejector vacuum-generating systems are analyzed. The influence of the main technological parameters on the efficiency of hydro-ejector vacuum-generating systems is determined. A hydro-ejector system has been developed to ensure the removal of emulsified water from the circulating working fluid based on hydro-ejectors of the latest (fourth) generation. A methodology for calculating and determining the optimal technological parameters of a multi-stage hydro-ejector vacuum-generating system has been developed; all qualitative and quantitative indicators of the project have been obtained.

Key words: emulsified water; hydro-ejector vacuum-generating system; technological scheme of the installation; vacuum block.

The research was carried out as part of the implementation of the strategic project «Chemistry of the New Economy». The name of the project is «Low-carbon vacuum technology».

модействующие между собой и влияющие друг на друга аппараты, связанные технологическими потоками и функционирующие как целостный объект. Причем каждый аппарат системы обладает собственными характеристиками, расчёт которых по отдельности не позволяет определить характеристики всей системы. Только совместное моделирование и расчёт всех элементов позволяют получить общую характеристику системы.

Дата поступления 10.01.23

Обычно установка АВТ рассматривается как единая система, состоящая из нескольких блоков: блок обезвоживания и обессоливания нефти, блок отбензинивания, блок атмосферной перегонки, стабилизации и разделения бензина, блок вакуумной перегонки²⁻⁵. В данной работе рассматривается только вакуумный блок, который, как уже отмечено выше, сам является ХТС, основными элементами которого являются: вакуумная печь, трансферная линия от вакуумной печи до колонны, вакуумная колонна, шлемовая линия, конденсаторы (при наличии), вакуумсоздающая система.

Моделирование вакуумного блока осуществлялось в специализированных расчетных средах, таких как Pro-II и HYSYS на основании свойств веществ и компонентов, применяемых в расчетной модели, и модулях расчета. Такой комплекс является универсальной моделирующей программой (УМП). Применение таких комплексов значительно повышает эффективность и скорость решения поставленных задач. Также УМП позволяет проводить различные исследования альтернативных методов решения поставленной задачи, использовать различные конфигурации процесса как в технологическом, так и в аппаратном оформлении. В результате повышается эффективность и точность расчетного моделирования, сокращаются сроки разработки и расчёта технических решений⁶.

Модули, использованные в работе проекта, связывались между собой материальными потоками, параметры которых выводились на информационный дисплей, что позволяло отслеживать технологические параметры на каждом этапе расчетов. Для построения расчетных моделей использовались следующие модули:

- печь выполняет расчет термодинамических параметров нагреваемой среды, по мере движения по змеевику печи с заданными характеристиками;
- сепаратор – модуль расчета фазового равновесия (однократного испарения) в различных термодинамических режимах: изотермический, адиабатический, изоэнтальпический, при заданных параметрах системы и др.;
- трубопровод моделирует потери давления (сопротивление) при движении потока среды;
- клапан выполняет адиабатический пересчет фазового равновесия при заданном выходном давлении;
- смеситель смешивает различные технологические потоки и рассчитывает фазовое равновесие смеси при выходном давлении из смесителя;
- колонна выполняет расчет процесса ректификации сырьевых потоков в колонном аппарате с заданным количеством теоретических тарелок и заданной эффективностью;

- теплообменник используется для моделирования процесса теплообмена, как правило, между двумя потоками с учетом конструктивных параметров аппарата;

- разделитель разделяет входной поток на несколько выходных потоков в заданной пропорции, неизменным составом и технологическими параметрами;

- холодильник/нагреватель используется для отвода/подвода тепловой энергии от технологических потоков/подвода к ним.

Отдельно стоит рассмотреть характеристики состава сырьевых потоков вакуумного блока: мазута, газов разложения, вакуумных дистиллятов и др. В расчетных средах состав нефтепродуктов представляют в виде псевдокомпонентов, выкипающих в определенном интервале температур. Чем меньше диапазон кипения каждого псевдокомпонента, тем выше точность задания состава многокомпонентной смеси и больше соответствия модельной смеси фактическому нефтепродукту⁷.

Для формирования состава нефтепродукта в виде псевдокомпонентов необходима кривая истинных температур кипения (ИТК), которая получается путем разгонки исследуемого нефтепродукта на специальном аппарате, например АРН-2. Также кривая ИТК может быть построена после определения состава нефтепродукта с помощью хроматографа. Однако процесс получения кривой ИТК затруднительный и долгий, особенно для темных нефтепродуктов. Поэтому для мазута обычно проводят более простую кривую однократного испарения (ОИ), которая, однако, имеет меньшую точность показателей.

Данные кривой ИТК особенно важны для характеристики мазута, направляемого на вакуумную перегонку. По данным ИТК определяется потенциальное содержание целевых дистиллятов в мазуте, производится разбивка мазута на целевые фракции (определяются начало и конец кипения каждой фракции). Фактическое начало и конец кипения вакуумных дистиллятов будут отличаться от заданных на ИТК мазута. Это происходит из-за наложения фракций друг на друга при ректификации в вакуумной колонне: начало кипения будет выше, а конец кипения будет ниже заданных на ИТК мазута. Степень наложения определяется разделительной способностью (эффективностью) внутренних устройств. Современные насадочные устройства вакуумных колонн обеспечивают наложение не более 10 °С. Следует отметить, что свойства псевдокомпонентов, полученные в различных программных модулях или расчетных средах, могут отличаться друг от друга. Это может привести к ошибкам в дальнейших расчетах, особенно при использовании различных расчетных

сред (ChemCad, Pro-II, HYSYS)⁷. Для предотвращения возможных расчётных ошибок, помимо состава смеси псевдокомпонентов, из программного модуля также необходимо вывести свойства полученных псевдокомпонентов, таких как молекулярный вес, плотность, температура кипения⁸.

Разработан способ вакуумирования аппаратов колонного типа при перегонке остатков переработки нефти. Разработана принципиальная технологическая схема установки (рис. 1), в которой реализуется предлагаемый способ создания вакуума. Установка, в которой осуществляется предлагаемый способ, содержит в качестве структурных элементов в максимальном варианте аппарат **1** (например, конденсационно-холодильную систему вакуумной колонны для перегонки мазута в присутствии водяного пара с выводом водяного конденсата), насосно-эжекторную вакуумсоздающую систему, включающую эжектор **2**, сепаратор **3**, низконапорный насос **4**, холодильник **5**, фильтр **6**, высоконапорный насос **7**, систему обновления рабочей жидкости, включающую насос **8** для откачки распитки, подогреватель **9**, атмосферную колонну **10** с контактными устройствами **11**, систему циркуляционного орошения **12** с соответствующей зоной **13** с контактными устройствами, дополнительную зону отпарки распитки с контактными устройствами **14**, боковую отпарную секцию (стриппинг) или гидроциклонно-сепараторный модуль **15**.

Установка содержит также трубопроводную обвязку для ввода исходных и вывода конечных продуктов, транспортирования промежуточных продуктов между ее структурными элементами и другими установками.

В качестве атмосферной колонны для иллюстрации способа взята основная ректификационная колонна процесса висбрекинга.

Способ иллюстрируется также тремя расчетными примерами, выполненными при сопоставимых условиях применительно к созданию вакуума в конденсационно-холодильной системе для охлаждения парогазовой смеси с верха вакуумной колонны при перегонке мазута.

Пример **1** относится к прототипу и включает приведенные на принципиальной технологической схеме структурные элементы установки с соответствующей трубопроводной обвязкой, за исключением обозначенных пунктирными линиями. Пример **2** относится к предлагаемому способу и отличается от примера **1** вовлечением в схему подогревателя-теплообменника **9** для нагрева распитки. Пример **3** также относится к предлагаемому способу и отличается от примера **2** вовлечением в технологическую схему стриппинга **15** с подачей водяного пара.

Как видно из табл. 1, остаточное давление в аппарате в примере **2** снижается с 7.5 (пример **1**) до 6.4 кПа (на 12%), а в примере **3** – до 6.0 кПа (на 25%). Это становится возможным благодаря сни-

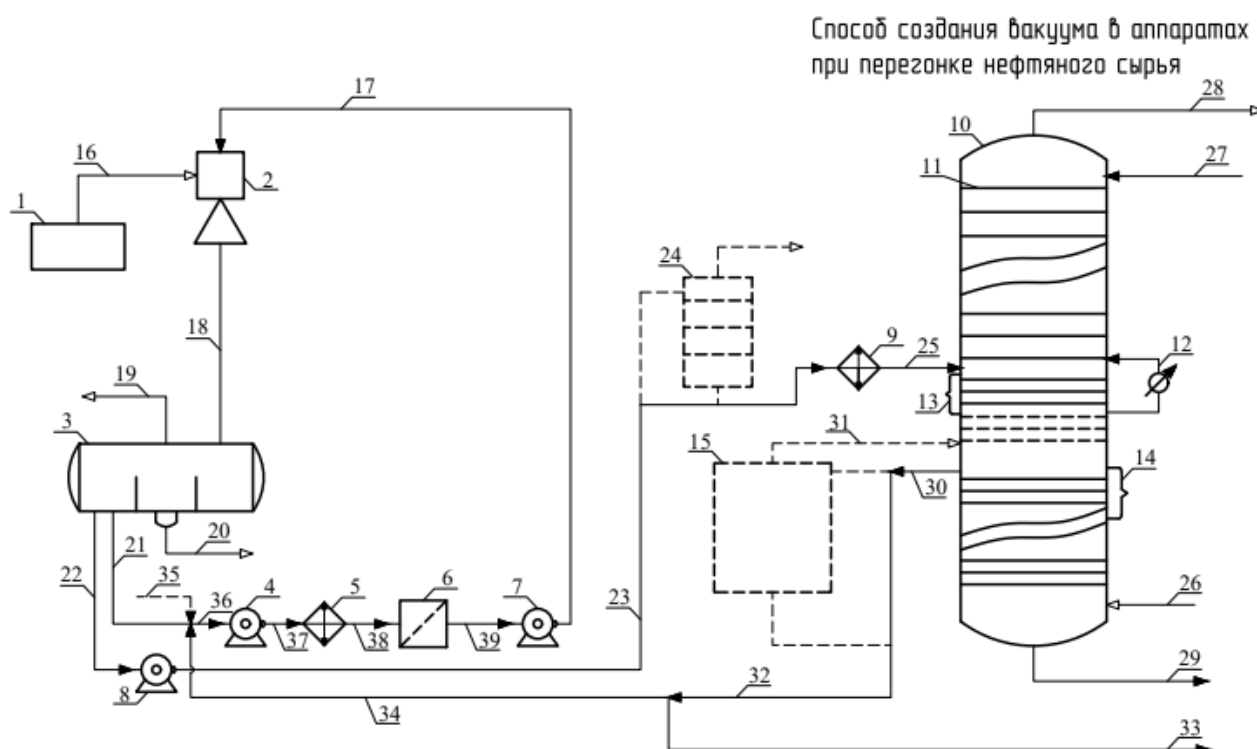


Рис. 1. Способ создания вакуума в аппаратах при перегонке нефтяного сырья

Основные показатели процесса

Наименование и размерность показателя	Значение показателя		
	Прототип	Предлагаемый способ	
	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Давление (абс.), кПа:			
– аппарат 1	7.5	6.4	6.0
– сепаратор 6	0.12	0.12	0.12
– высоконапорный насос 35	6.5	6.5	6.5
– верх колонны 15	0.52	0.52	0.52
– низ колонны 15	0.54	0.54	0.54
Температура, °С:			
– аппарат 1	30	30	30
– сепаратор 6	60	60	60
– подогреватель 13	60	200	200
– циркуляционное орошение 17 (ввод)	181	181	181
– циркуляционное орошение 17 (вывод)	244	290	290
– верх колонны 15	113	162	163
– низ колонны 15	353	356	356
– сырье 18 колонны 15	381	381	381
Расходы потоков, т/ч:			
– парогазовая смесь 2 из аппарата	1.75	1.75	1.75
– рабочая жидкость 4	415	415	415
– распитка 9	55.0	55.0	55.0
– подпитка 27	55.0	55.0	55.0
– сырье 18 колонны	49.2	49.2	49.2
– циркуляционное орошение	10.0	10.0	10.0
– водяной пар в стриппинг 23	0	0	0.3
Содержание низкокипящих компонентов в подпитке 27 , % об.	9.7	3.1	0.6
Количество тарелок в колонне 15 (шт):			
– в зоне циркуляционного орошения	3	3	3
– выше зоны циркуляционного орошения	17	17	17
– ниже зоны циркуляционного орошения	10	10	10
Итого:	30	30	30

жению содержания низкокипящих компонентов в подпитке с 9.7 (пример **1**) до 3.1% об. в примере **2** и до 0.6% об. в примере **3**. В свою очередь, такое снижение достигается за счет нагрева подпитки до отпарки в зоне циркуляционного орошения атмосферной колонны и дополнительной отпарки в стриппинге.

Таким образом, предложенный способ позволяет создавать более глубокий вакуум в аппарате при перегонке нефтяного сырья с использованием насосно-эжекторной вакуумсоздающей системы и циркулирующей рабочей жидкости.

В ходе работы над проектом «Низкоуглеродная технология создания вакуума» получены результаты технологического и аппаратного обследования вакуумных блоков шести установок АВТ российских НПЗ, оснащенных одноступенчатыми гидроэжекторными вакуумсоздающими системами. Представлен расчетный анализ полученных данных, а также результаты исследований, проведенных на экспериментальном стенде. Определено влияние основных параметров на эффективность работы гидроэжекторных систем.

Литература

1. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
2. Ахметов С. А., Ишмияров М. Х., Веревкин А. П., Докучаев Е. С., Малышев Ю. М. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа. – М.: Химия, 2005. – 736 с.
3. Ахметов С. А. Лекции по технологии глубокой переработки нефти в моторные топлива. – СПб.: Недра, 2007. – 312 с.
4. Осипов Э. В., Поникаров С. И., Сайрутдинов Ф. М., Теляков Э. Ш. Системное моделирование установок вакуумной ректификации // Вестник СГТУ. – 2012. – №1 (64), вып. 2. – С.215-220.

References

1. Kafarov V. V. *Metody kibernetiki v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Methods of cybernetics in chemistry and chemical technology]. Moscow, Khimiya Publ., 1985, 448 p.
2. Akhmetov S. A., Ishmiyarov M. H., Verevkin A. P., Dokuchaev E. S., Malyshev Yu. M. *Tekhnologiya, ekonomika i avtomatizatsiya protsessov pererabotki nefti i gaza* [Technology, economics and automation of oil and gas refining processes]. Moscow, Khimiya Publ., 2005, 736 p.
3. Akhmetov S. A. *Leksii po tekhnologii glubokoy pererabotki nefti v motornye topliva* [Lectures on the technology of deep oil refining into motor fuels]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2007, 312 p.

5. Рудин М. Г., Сомов В. Е., Лебедской-Тамбиев М. А. Карманный справочник нефтепереработчика. – СПб.: Химиздат, 2017. – 336 с.
6. Худович И. М. Современные системы автоматизированного моделирования химико-технологических процессов в нефтепереработке и нефтехимии. – Новополюк: Полоцкий государственный университет, 2008. – 110 с.
7. Зиятдинов Н. Н., Емельянов В. М. Исследование и проектирование химико-технологических процессов с применением моделирующей системы ChemCad. – Казань: Казанский государственный технологический университет, 2003. – 23 с.
8. Агибалова Н. Н. Технология и установки переработки нефти и газа. Свойства нефти и нефтепродуктов. – М.: Лань, 2022. – 227с.
4. Osipov E. V., Ponikarov S. I., Sayrutdinov F. M., Telyakov E.Sh. *Sistemnoe modelirovanie ustanovok vakuumnoy rektifikatsii* [System modeling of vacuum rectification installations]. Vestnik SGTU [Bulletin of SSTU], 2012, no.1(64), is.2, pp.215-220.
5. Rudin M. G., Somov V. E., Lebedskoj-Tambiev M. A. *Karmannyi spravochnik neftepererabotchika* [Pocket guide of an oil refiner]. St. Petersburg, Khimizdat Publ., 2017, 336 p.
6. Khudovich I. M. *Sovremennye sistemy avtomatizirovannogo modelirovaniya khimiko-tekhnologicheskikh protsessov v neftepererabotke i neftekhimii* [Modern systems of automated modeling of chemical and technological processes in oil refining and petrochemistry]. Novopolotsk PGU Publ., 2008, 110 p.
7. Ziyatdinov N. N., Emel'yanov V. M. *Issledovanie i proektirovanie khimiko-tekhnologicheskikh protsessov s primeneniem modeliruyushchey sistemy ChemCad* [Research and design of chemical and technological processes using the ChemCad modeling system]. Kazan, KGTU Publ., 2003, 23 p.
8. Agibalova N. N. *Tekhnologiya i ustanovki pererabotki nefti i gaza. Svoystva nefti i nefteproduktov* [Technology and installations of oil and gas refining. Properties of oil and petroleum products]. Moskow, Lan Publ., 2022, 227 p.