

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ (ГФУ) Валиуллин И.И. (Российская Федерация) Email: Valiullin635@scientifictext.ru

Валиуллин Ильмир Ильгизович - студент магистратуры,
кафедра технологических машин и оборудования, факультет заочного обучения,
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Республика Башкортостан

Аннотация: статья посвящена созданию и изучению новых контактных компонентов, выработке теоретических подходов с целью определения массообменных характеристик промышленных насадочных колонн, а также применению технических решений, которые связаны с модернизацией промышленных установок разделения. Для выполнения поставленной задачи исследуются математические и теоретические сведения о процессе разделения углеродной смеси посредством численного эксперимента, разрабатывается конструкция регулярной насадки для колонного оборудования, выполняется в виде расчетных уравнений обобщение полученных результатов.

Ключевые слова: ректификация, эффективность, регулярная насадка, газофракционирующая установка, гидродинамические свойства.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF COLUMN EQUIPMENT (GFU) Valiullin I.I. (Russian Federation)

Valiullin Ilmir Ilgizovich – Student of Magistracy,
DEPARTMENT OF TECHNOLOGICAL MACHINES AND EQUIPMENT, FACULTY CORRESPONDENCE,
UFA STATE OIL UNIVERSITY, UFA, REPUBLIC BASHKORTOSTAN

Abstract: the article is devoted to the creation and study of new contact components, the development of theoretical approaches to determine mass transfer characteristics of industrial Packed columns and the use of technical solutions that are associated with the modernization of the industrial installations division. For the task studied mathematics and theoretical data on process of separation of carbon compounds, by means of numerical experiment, developed the design of regular packing for column equipment, made in the form of the estimated equations are generalizations of the results obtained.

Keywords: rectification, efficiency, structured packing, gas fractionation unit, the hydrodynamic properties.

УДК 66.048.3-986

Такие природные энергоносители, как газовый конденсат, природный газ, нефть в развитии всего народного хозяйства имеют существенное значение. В последние десять лет большая необходимость в продуктах нефтепереработки повлекла за собой стремительный рост нефтехимической индустрии. На сегодняшний день поднимается актуальный вопрос о понижении энергозатрат, расширении ассортиментного ряда выпускаемой продукции, повышении ее качества [5, 19].

Чтобы решить эти вопросы, необходимо повысить эффективность производимых процессов совершенствования посредством имеющихся и разработки наиболее эффективных методик для разделения и утилизации углеводородного сырья, промышленных технологий, функционирующего технологического оборудования.

В 90-х годах быстрое изменение форм собственности и развитие рыночных отношений в промышленности повлекли за собой коренное изменение общепринятых схем создания сырьевых ресурсов в нефтехимической промышленности и связей среди предприятий, резкое повышение стоимости основной массы продуктов по причине изменившихся условий при формировании их себестоимости. Ключевое влияние на такие процессы в перечисленных отраслях индустрии оказало повышение в себестоимости части сырьевых и энергетических ресурсов [22]. Ввиду этого производительность и режимы функционирования технологических установок по разделению смесей на ЗСК на сегодняшний день имеют отличие от проектных. Подобные факторы поднимают требования к средствам контроля, к работе автоматизированного управления и колонных массообменных аппаратов.

Главный технологический процесс по разделению смесей на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии заключается в ректификации, которую можно охарактеризовать большой сложностью, металлоемкостью и энергоемкостью конструкций массообменных аппаратов [25].

Изучения процесса ректификации группируются в таких главных направлениях:

1) проведение исследований в сфере статики ректификации, которые направлены на оптимизацию технологических режимов; разработку новых схем и способов ректификации, улучшение термодинамических условий осуществления процессов;

2) изучение фазовых равновесий (жидкость-пар);

3) усовершенствование тепло- и массообменного оборудования, которое предусматривает

удешевление и интенсификацию аппаратов для осуществления процессов разделения;

4) создание математических моделей технологических процессов массо- и теплообмена в ректификационном колонном оборудовании, которые предусматривают рост точности проектных решений [3, 6, 16, 17].

Изучение и усовершенствование процессов по разделению в газо- и нефтепереработке предполагает обширное использование новейших достижений в практике и теории во всех отмеченных выше направлениях.

В последнее время для повышения эффективности и производительности на многочисленных предприятиях, которые используют массообменное оборудование, заменяют тарельчатые контактные устройства новейшими насадочными элементами. Ввиду того, что расчеты колонн с насадками носят полуэмпирический характер, в особенности в процессе разделения многокомпонентных смесей, злободневной задачей считается создание и изучение новых контактных компонентов, выработка теоретических подходов с целью определить массообменные характеристики промышленных насадочных колонн, а также принятие технических решений, которые связаны с модернизацией промышленных установок разделения [14, 24, 33].

ГФУ предназначается для осуществления технологического процесса, который включает в себя 3 последовательных этапа [15]:

- 1) заключается в выделении пропан-бутановой фракции из ШФЛУ;
- 2) состоит в выделении изопентана из тяжелой части ШФЛУ, другими словами фракции C_5 и выше;
- 3) заключается в разделении на бутановую и пропановую фракции пропан-бутановой фракции.

ГФУ предназначается, чтобы из нефтезаводских газов получить углеводородные фракции высокой чистоты или индивидуальные легкие углеводороды. Согласно типу перерабатываемого исходного сырья, газодифракционирующие установки подразделяются на ГФУ непредельных и ГФУ предельных газов [30].

На НПЗ России имеются установки газоразделения таких типов: газодифракционирующие, конденсационно-ректификационные и абсорбционно-газодифракционирующие (АГФУ). В АГФУ совмещается предварительное разделение газов на тяжелую и легкую части при помощи абсорбционного метода с дальнейшим осуществлением их ректификации; конденсационно-ректификационный метод состоит в полной или частичной конденсации газовых смесей с дальнейшим осуществлением ректификации конденсатов [32].

В случае необходимости продукты могут подвергаться дополнительной очистке от меркаптанов при помощи раствора щелочи.

Мощность ГФУ составляет 200-1000 тыс. т/год.

Расходные показатели для ГФУ предельных газов (на 1 т исходного сырья) [11]:

- вода оборотная, m^3 20-30.
- электроэнергия, кВт*ч 57.
- пар водяной, Гкал 0,7.

На ГФУ сырье поступает в жидком (головки стабилизации) и газообразном виде. На ГФУ непредельных газов подаются с установок каталитического и термического крекинга, коксования, на ГФУ предельных газов - с установок гидрокрекинга, каталитического риформинга, первичной перегонки [30].

Выполнены разработка и исследование высокоэффективных насадок для усовершенствования ректификационных колонн.

По результатам зарубежного и отечественного опыта замены устаревших тарелок высокоэффективными контактными устройствами установлено, что можно достичь значительного увеличения производительности, степени переработки углеводородного сырья, обеспечить повышение качества моторных и котельных топлив, понизить энергозатраты [1, 23].

Одним из значительных ограничений в широком введении зарубежных насадок считается высокая их стоимость. Вследствие этого предлагается новая регулярная насадка для усовершенствования промышленных колонн ЗСК [10, 34].

Регулярная насадка является набором гофрированных листов, имеющих перекрестное расположение гофров в расположенных рядом листах, с выступами, выполненными на поверхности листов. Выступы располагаются горизонтальными рядами, причем расстояние между выступами в рядах меньше, чем расстояние среди рядов (рис. 1). На поверхности пластин имеются в виде выпуклостей фигурные шероховатости [7, 34].

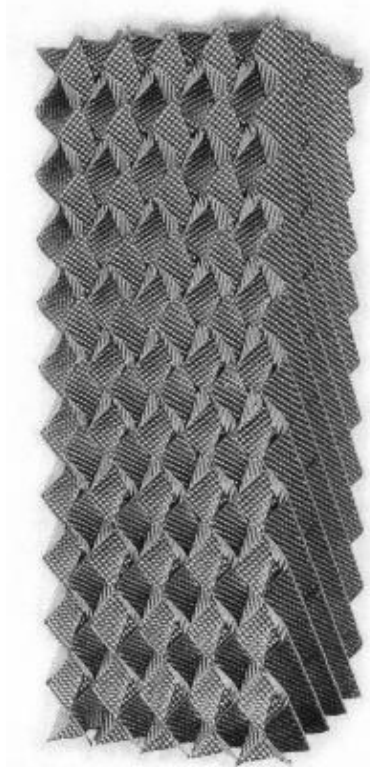


Рис. 1. Пакет пластин насадки

Когда пленка жидкости проходит через горизонтальные ряды выступов ее толщина выравнивается благодаря воздействию поверхностных сил, которые возникают между расположенными рядом выступами, что приводит к увеличению эффективности функционирования насадки [21].

Так как между выступами в вертикальном направлении расстояние больше горизонтального, воздействие поверхностных сил вертикальной направленности будет проявляться в меньшей мере, другими словами не будет нарушать соответствующего норме распределения жидкости. Имеющиеся на поверхности компоненты выпуклости содействуют волнообразованию и наилучшей турбулизации в жидкостной пленке.

При одинаковых со схожими насадками внешних размерах предложенная насадка обладает наилучшей смачиваемостью, если толщина листового материала одинаковая - наибольшей жесткостью при сдавливании весом вышерасположенного слоя [4, 34].

Довольно простая конструкция насадки дает возможность изготавливать ее способом проката, что понижает себестоимость ее изготовления.

Характеристики насадочных компонентов IRG приводятся ниже.

Масса 1 м³ 160 кг.

Удельный свободный объем 0,98 м³/м³.

Удельная поверхность 162 м²/м³.

Угол наклона гофра 30°.

Высота гофра 15 мм.

Листовая сталь марки 08X18H10T 0,25 мм применяется в качестве материала для изготовления насадки.

Подобное конструктивное исполнение дает возможность обеспечить в аппарате значительный свободный объем насадки и однородное распределение поверхности пленки по разрезу аппарата. Новая разработка упорядоченной насадки получила название IRG (Ingechim Regular Gofr), что обозначает регулярная гофрированная насадка ИВЦ «Инжехим» [2, 34].

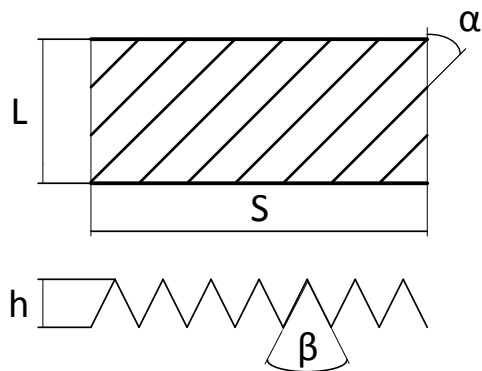


Рис. 2. Геометрическая схема регулярной гофрированной насадки IRG:

h - высота гофры, мм. β - угол в основании гофра, град. α - угол к вертикальной оси аппарата, град. L - высота насадки, мм. S - ширина полотна насадки, мм

В аппарате с насадкой взаимодействие фаз осуществляется таким образом: поднимаясь по аппарату, газовая фаза проходит сквозь слой насадки и вступает в контакт с жидкостью, стекающей как пленка, которая распределяется по поверхности насадки. Газовая фаза, проходя по вертикальным каналам, которые образованы гофрами, взаимодействует с пленкой жидкости. Подается жидкость сверху на слой насадки и боковой поверхностью гофров стекает [12, 13].

Чтобы рассчитать процессы разделения смесей в промышленных колоннах с новой насадкой определялись такие характеристики: коэффициент продольного перемешивания, гидравлическое сопротивление, удерживающая способность, которые требуются с целью расчета высоты эквивалентной теоретической ступени (ВЭТС) и с целью расчетов согласно диффузионной модели структуры потока.

По результатам анализа полученных итогов сделаны такие выводы:

- ♦ при пленочном режиме перепад давления находится в слабой зависимости от расхода жидкости;
- ♦ режим подвисяния будет начинаться при скорости газа свыше 2.2-2.3 м/с;
- ♦ новая насадка обладает обширным выбором рабочих скоростей по жидкой и газовой фазам в условиях пленочного режима.

Данная насадка имеет несколько лучшие массообменные и гидравлические характеристики, нежели похожие на нее по размерам распространенные насадки. Насадка IRG можно рекомендовать для применения в процессе проектирования и усовершенствования колонного оборудования в газовой, нефтеперерабатывающей, химической, и прочих отраслях индустрии [12,13].

В процессе усовершенствования промышленных колонн самым эффективным считается комбинированное размещение секций с регулярной насадкой.

Далее описывается численный способ исследования регулярной гофрированной насадки IRG (РГН). Приобретенные итоги обобщены как уравнения, удобные в процессе инженерных расчетов. Изучен характер воздействия геометрических характеристик на гидродинамические свойства насадки [20].

Для однофазового течения несжимаемой жидкости (в условиях данного эксперимента воздух можно рассматривать как несжимаемую жидкость), уравнение движения абсолютной среды, не учитывая влияния силы тяжести, будет выглядеть следующим образом [8, 18]:

$$\sum_j \frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0$$

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho \sum_j \frac{\partial (U_i U_j)}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \rho \sum_j \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] \quad (1)$$

Здесь U_j - элементы вектора средней скорости, $\overline{u_i u_j}$ - усредненное произведение элементов

пульсационной скорости. Для ламинарного режима течения $\overline{u_i u_j} = 0$. Для режима турбулентности

$\overline{u_i u_j}$ в данном уравнении замещается выражением, действующим в соответствии с гипотезой турбулентной вязкости [18, 26]:

$$\overline{-\rho u_i u_j} = \mu_T \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho K \frac{2\delta_{ij}}{3}, \quad (2)$$

где K считается удельной кинетической энергией турбулентности; а

$\mu_T = \rho \nu_t$ - коэффициентом турбулентной вязкости, привязанный к гидродинамическим условиям турбулентной модели, самая распространенная среди них модель $K-\epsilon$ замыкание.

Все численные эксперименты были проведены по такой схеме: Была выбрана геометрия насадки, которая принята из условия, что все 3 характерных параметра независимо изменяются.

На рис. 3 представлена зависимость гидравлического сопротивления насадки IRG от угла α

В результате обработки воздействия угла α на гидравлическое сопротивление насадки, была получена такая зависимость [9, 27]:

$$F(\alpha) = 13,5e^{2,77*\alpha}, \quad (3)$$

причем $0^\circ < \alpha < 90^\circ$

При обрабатывании данных по воздействию угла β на гидравлическое сопротивление насадки, получаем следующую зависимость [27]:

$$F(\beta) = \beta^{-0,726}, \quad (4)$$

причем $0^\circ < \beta < 180^\circ$

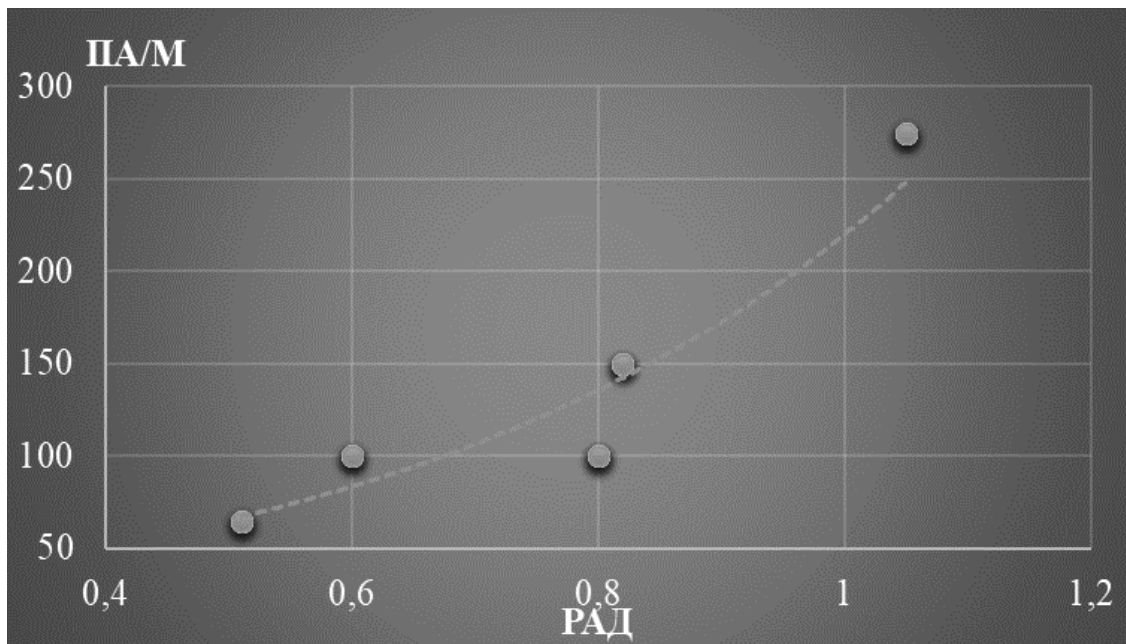


Рис. 3. Зависимость гидравлического сопротивления насадки IRG от угла α

На рис. 4 мы видим, что при уменьшении угла β резко возрастает гидравлическое сопротивление насадки. Его рост обусловлен увеличением геометрической поверхности насадки и ухудшением ее обтекаемости.

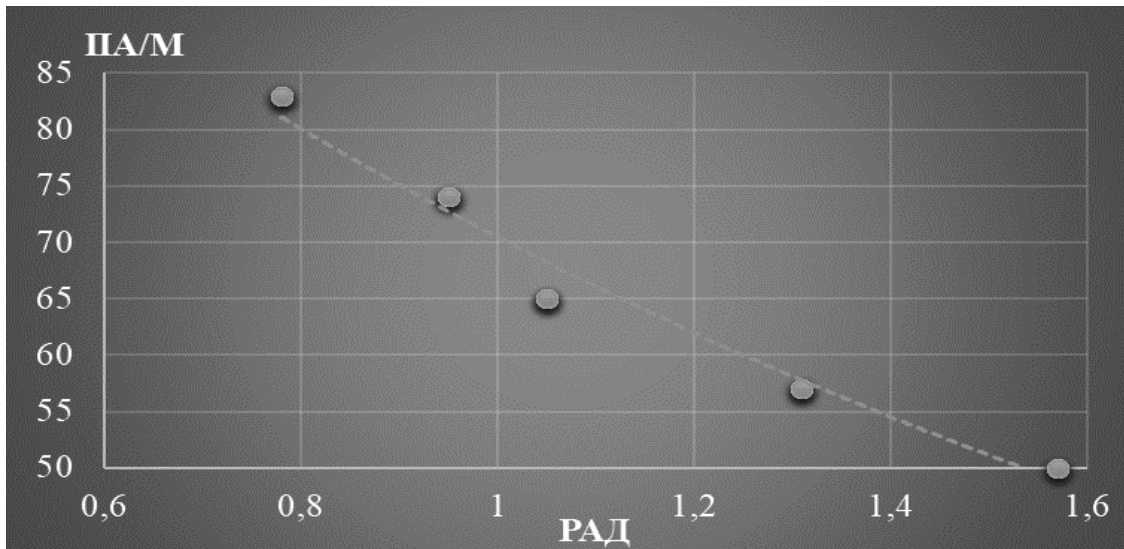


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления насадки IRG от угла β

Обработав результаты воздействия высоты гофры на гидравлическое сопротивление насадки, получаем следующую зависимость [29]:

$$F\left(\frac{h}{S}\right) = 178.4 - \left(40.3 * \frac{h}{S}\right)^{6.28}, \quad (5)$$

где $H = h/S$;

S - длина ламели, м., причем $L \ll S$ или

$$h/S \ll 0.5(\operatorname{ctg}\beta/2). \quad (6)$$

Исходя из графика 5, делаем выводы о том, что при увеличении гофры, гидравлическое сопротивление насадки резко уменьшается за счет уменьшения ее геометрической поверхности. Однако по результатам эксперимента видно, что существуют некоторые зависимости. К примеру, при увеличении высоты гофры совместно с ростом угла α , происходит увеличение гидравлического сопротивления. Этот факт объясняется тем, что при уменьшении геометрической поверхности насадки, поток газа преодолевает высоту гофры в вертикальном направлении, поэтому необходимо проводить совместный анализ воздействия геометрических характеристик для насадки IRG на гидравлическое сопротивление ее насадок.

Обобщив данные численного моделирования, приобретаем уравнение с откорректированными числовыми параметрами [28,31]:

$$\Delta P = A\beta^{-0.726} * e^{2.77\alpha} * (1 - (17.65H)^{6.28}) * Re^{-0.22} \frac{\rho \varpi^2}{2}, \quad (7)$$

где A считается коэффициентом, который численно равняется 66, определение проводится опытным способом;

β - считается углом при вершине гофров, рад.;

α - углом наклона гофров по отношению к вертикальной оси аппарата, рад.;

$H = h/S$

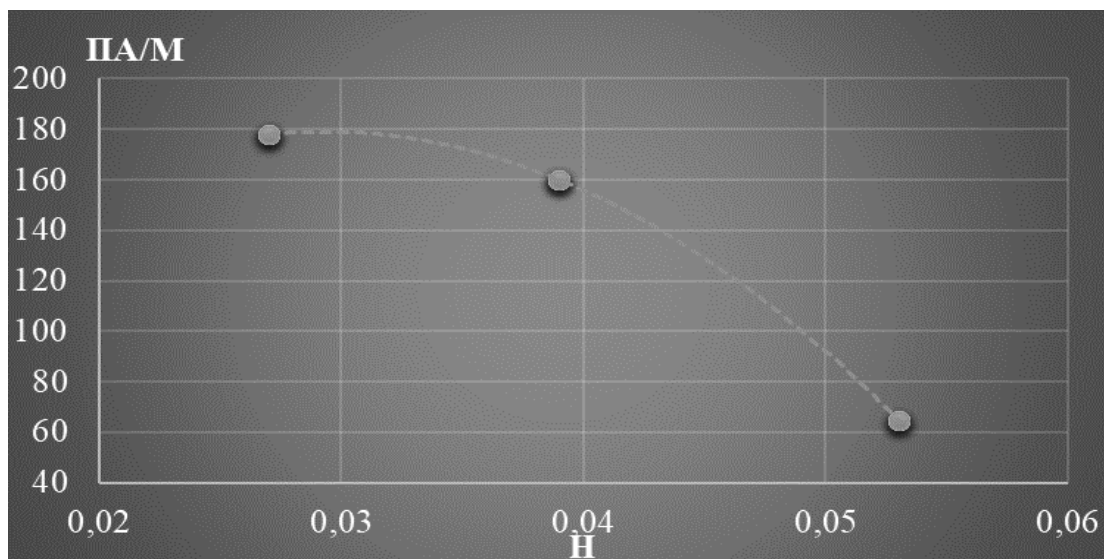


Рис. 5. Зависимость гидравлического сопротивления насадки IRG от высоты гофра

В результате выполнена разработка вариантов усовершенствования колонных аппаратов газофракционирующей установки (ГФУ).

Рассматривается процесс по разделению ШФЛУ, который осуществляется на работающей ГФУ.

Проведено изучение температурных режимов изопентановой колонны и дебутанизатора. Установлено, что изменение параметров процесса предоставляет возможность производства изопентановой фракции марки А с одновременным снижением флегмового числа с 14,43 до 13 (не проводя реконструкцию колонны).

Было установлено, что замена имеющихся клапанных тарелок изопентановой колонны и дебутанизатора регулярной насадкой (рис. 1) дает возможность получить изопентановую фракцию марки А в соответствии с ТУ 38.101494-79 и снизить флегмовые числа. При этом на 50% возрастает производительность колонн [34].

Высота изопентановой колонны дает возможность сформировать 12 секций с насадкой с высотой по 3,65 м. При ВЭТГ 0,55 м слой насадки высотой 3,65 м даст 6,65 теоретических тарелок, а 12 секций - около 80 теоретических тарелок.

По результатам приведенных исследований предпочтен режим процесса по разделению ШФЛУ, который обеспечивает производство изопентановой фракции марки А в соответствии с ТУ 38.101494-79. Как результат рынок сбыта готовой продукции расширяется, а экономическая производительность процесса повышается.

Основные результаты и выводы

Повышение эффективности разделения газовых и жидких смесей касается важнейших проблем, которые связаны с увеличением производительности промышленных установок, а также с разработкой энерго- и ресурсосберегающих технологий для всевозможных отраслей промышленности и решения некоторых экологических задач. Большое значение при этом имеет не только разработка новых высокоэффективных массоплощадных аппаратов, но и реконструкция действующих в настоящее время технологических установок.

Для решения таких задач эффективным инструментом считается совокупность методов математического и физического моделирования, которые позволяют реализовывать предпроектные работы с наименьшими затратами материальных средств и времени.

В предоставленной работе решаются некоторые задачи, которые имеют отношение к повышению эффективности функционирующих установок по разделению углеводородных смесей. Также были рассмотрены варианты модернизации ректификационных колонных аппаратов и научно – технических методик, которые нацелены и на увеличение качества разделения смесей, и на рост производительности и понижение энергозатрат на единицу выпускаемой продукции. Благодаря повышению качества расширяется ассортиментный ряд выпускаемых котельных и моторных топлив, изопентана и прочих смесей.

Как инструмент для решения назначенных задач в представленной работе рассматриваются математические модели структуры потоков по газовой и жидкой фазам, где в качестве одних из главных характеристик считаются коэффициенты массоотдачи в матричной форме. На примере применения модели диффузионного пограничного слоя Ландау-Левича показано нахождение матриц коэффициентов массоотдачи. Показаны уравнения, которыми рассчитываются матрицы коэффициентов массоотдачи в

паровой и жидкой фазах в насадочных колоннах с нерегулярной и регулярной насадками.

С целью расчета химических и физических свойств углеводородных смесей рассматривались молекулярно-статистические способы и условия фазового равновесия. Представлено, что с целью практических расчетов применимым считается описание межмолекулярных взаимодействий опираясь на сферически-симметричные потенциалы. Предлагается методика представления условий фазового равновесия углеводородных фракций на базе описания их в качестве псевдоэлементов с молекулярным потенциалом Леннарда-Джонса и установлены параметры данного потенциала в пределах температур кипения от 40 до 360°C.

Чтобы рассчитать матрицы коэффициентов массоотдачи, был получен явная форма системы уравнений с целью расчета матриц коэффициентов многокомпонентной диффузии, которая опирается на базу обоюдных корреляционных функций скоростей молекул. Произведенные расчеты согласуются хорошо с известными опытными данными. Созданные математические модели применяются, чтобы рассчитать ректификационные колонны ЗСК, в которых устаревшие барботажные тарелки подлежат замене высокоэффективными насадками.

В виде новой насадки предлагается регулярная гофрированная насадка, имеющая шероховатую поверхность. Проведено численное исследование воздействия геометрии насадки на ее свойства. Численный эксперимент дает возможность значительного сокращения времени изыскания новых насадок.

Вторая половина представленной работы посвящается расчетам функционирующих промышленных установок по разделению углеводородных смесей, усовершенствованию и разработке новых колонных аппаратов.

Проанализированы варианты модернизации колонн газофракционирующей установки посредством замены тарелок на граничную и созданную регулярную насадку. Продемонстрировано, что это гарантирует и рост качества разделения, и повышение производительности. По некоторым показателям новая насадка считается несколько лучшей зарубежной.

На ГФУ по результатам расчетов определено, что замена клапанных тарелок в изопентановой колонне и дебутанизаторе даст возможность получить изопентановую фракцию марки А по ТУ 38.101494-79 и снизить флегмовые числа. При этом на 50% возрастает производительность колонн.

Список литературы / References

1. Annaratone D. Pressure Vessel Design. - Springer; Softcover reprint of hardcover 1 st ed. 2007 edition (November 10, 2010). 455 p.
2. Chang A-F., Pashikanti K., Liu Y. Refinery Engineering: Integrated Process Modeling and Optimization. Wiley-VCH, 2012. 522 p.
3. Hsu Ch., Robinson P. (eds.) Practical Advances in Petroleum Processing. Springer, 2006. 866 p.
4. Leser GmbH. The engineer handbook of Safety Valves. Edition:10.02.10. Leser GmbH & Co. KG, 2012. 441 p.
5. Liu Jing. Predicting the products of crude oil distillation columns. A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of Master of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical Sciences. School of Chemical Engineering and Analytical Science, 2012. 138 p.
6. Sanden Stefan C.T. A fundamental study of spray drying fluid catalytic cracking catalyst. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2003. 181 p.
7. Sletteb E.S. Separation of Gas from Liquids in Viscous Systems. Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering. June 2009. 140 p.
8. Stewart M., Arnold K. Emulsions and Oil Treating Equipment. Elsevier, 2009. 301 p.
9. Uppaluri R. Refinery Process Design. Lecture notes. Indian Institute of Technology Guwahati, India, Dr. Ramgopal Uppaluri, 2010. 183 p.
10. Zeman J.L. Pressure Vessel Design: The Direct Route. Elsevier Science (June 23, 2006). 324 p.
11. Ахметов С.А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа. Учеб. пособие / Под ред. С.А. Ахметова. СПб.: Недра, 2006. 868 с.
12. Банных О.П. Оборудование для нефтехимических производств. Часть 2. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО, 2015. 44 с.
13. Банных О.П. Оборудование для нефтехимических производств. Часть I. Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2014. 40 с.
14. Башаров М.М., Лаптева Е.А. Модернизация промышленных установок разделения смесей в нефтегазохимическом комплексе. Монография / Под редакцией Лаптева А.Г. Казань: Отечество, 2013. 297 с.
15. Бондаренко Б.И. (ред.). Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. М.: РГУ, 2003. 202 с.

16. *Владимиров А.И., Перемячкин В.И.* Ремонт аппаратуры нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебное пособие. Москва. ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. 120 с.
17. *Владимиров А.И., Щелкунов В.А., Круглов С.А.* Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. 227 с.
18. *Гайле А.А., Пекаревский Б.В.* Расчет ректификационных колонн. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2007. 86 с.
19. *Гайле А.А., Сомов В.Е.* Процессы разделения и очистки продуктов переработки нефти и газа. СПб: Государственный технологический институт, 2012. 396 с.
20. *Гуреев А.А., Абызгильдин А.Ю., Капустин В.М., Зацепин В.В.* Разделение водонефтяных эмульсий: Учебное пособие. - М: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. 95 с.
21. *Гусев В.П., Гусева Ж.А., Риффель В.Р.* Перегонка жидкостей, ректификация. Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 62с.
22. *Загидуллин С.Х., Ложкин И.Г., Беляев А.В.* Основное технологическое оборудование нефтеперерабатывающих заводов. Учебное пособие. Пермь: Пермский государственный технический университет, 2010. 117 с.
23. *Лаптев А.Г.* (ред.). Энерго- и ресурсосберегающие технологии и аппараты очистки жидкостей в нефтехимии и энергетике. Под ред. Лаптева А.Г. Казань: Отечество, 2012. 410 с.
24. *Лаптев А.Г., Башаров М.М.* Эффективность теплообмена и разделения гетерогенных сред в аппаратах нефтегазохимического комплекса. Казань: Центр инновационных технологий, 2016. 344 с.
25. *Лаптев А.Г., Минеев Н.Г., Мальковский П.А.* Проектирование и модернизация аппаратов разделения в нефте- и газопереработке. Монография. Казань: Издательство «Печатный двор», 2002. 307 с.
26. *Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Минеев Н.Г.* Основы расчета и модернизация теплообменных установок в нефтехимии. Монография. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 574 с.
27. *Ломова О.С.* Расчет массообменных установок нефтехимической промышленности. Часть 1. Учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. 97 с.
28. *Ломова О.С.* Расчет массообменных установок нефтехимической промышленности. Часть 2. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. 84 с.
29. *Сарданавили А.Г., Львова А.И.* Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2017. 256 с.
30. *Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А.* Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. 4-е изд-е перераб. и доп. Москва. ИЦ РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. 725 с.
31. *Умергаллин Т.Г., Галиаскаров Ф.М.* Методы расчетов основного оборудования нефтепереработки и нефтехимии. Учеб. пособие. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2007. 236 с.
32. *Фарахов М.И., Лаптев А.Г., Афанасьев И.П.* Сепарация дисперсной фазы из жидких углеводородных смесей в нефтепереработке и энергосбережение. Монография. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2005. 134 с.
33. *Хуторянский Ф.М.* Подготовка к переработке стойких высокообводненных ловушечных эмульсий НПЗ. СПб.: Химиздат, 2006. 152 с.
34. *Ясавеев Х.Н., Лаптев А.Г., Фарахов М.И.* Модернизация установок переработки углеводородных смесей. Монография. Казань: Издательство «ФЭН», 2004. 307 с.