

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. – М.: Химия, 1978. – 424 с.
2. Гольдберг Д.О. Контроль производства масел и парафинов. – М.: Химия, 1964. – 246 с.
3. Акимов В.С., Гольдберг Д.О., Ефремова М.И. Влияние содержания ацетона в растворителе на процесс депарафинизации. В Кн.: Сернистые нефти и продукты их переработки. – М.: Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. – С. 112.

УДК 66.021

Лалетин Виктор Игоревич,
магистрант ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: laletin.95@mail.ru

Андреев Матвей Викторович,
аспирант кафедры МАХП,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: balchug@mail.ru

Бальчугов Алексей Валерьевич,
д.т.н., доцент, профессор кафедры МАХП
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
проректор по научной работе,
email: balchug@mail.ru

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА НА ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Laletin V.I., Andreenko M.V., Balchugov A.V.

IMPACT OF THE DESIGN OF THE CONTACT DEVICE ON HYDRAULIC RESISTANCE OF RECTIFICATION COLUMN

Аннотация. Показано, что использование новой высокоэффективной ударно-распылительной регулярной насадки вместо прямооточных клапанных тарелок в ректификационной колонне выделения изопентановой фракции позволит существенно снизить гидравлическое сопротивление и энергетические затраты на проведение процесса. Низкое гидравлическое сопротивление ударно-распылительной насадки объясняется ее конструктивными особенностями: регулярной компоновкой, высоким свободным сечением, низким количеством удерживаемой жидкости.

Ключевые слова: ректификационная колонна, гидравлическое сопротивление, энергетические затраты, клапанные тарелки, ударно-распылительная насадка.

Abstract. It is shown that the use of a new highly efficient shock-spray regular packing instead of direct-flow valve plates in the distillation column for the separation of the isopentane fraction will significantly reduce the hydraulic resistance and energy costs. The low hydraulic resistance of the shock-spray packing is explained by its design features: regular layout, high free cross section, low amount of retained fluid.

Keywords: distillation column, hydraulic resistance, energy costs, valve plates, shock-spray packing.

На установке каталитического риформинга лёгкой прямогонной нефти существует проблема высоких энергетических затрат на обогрев испарителя кубовой части ректификационной колонны выделения изопентановой фракции (колонна К-102). Колонна К-

102 предназначена для разделения смесового сырья на изопентановую фракцию и фракцию C_5-C_6 (сырье реакторного блока). В качестве сырья в колонну К-102 подаются фракция 30 – 70 °С из колонны К-1 блока разделения прямогонных бензиновых фрак-

ций; пентановая фракция с установки ГФУ; легкий риформат из колонны К-3 блока разделения стабильного риформата установки; рецикл пентановой фракции из колонны К-103.

Колонна К-102 представляет собой тарельчатый аппарат с клапанными тарелками диаметром 3 м, высота колонны 50 м. Причиной высоких энергетических затрат является большое гидравлическое сопротивление (43 кПа) прямооточных клапанных тарелок ($n = 82$). Расход греющего пара составляет 24,46 кг/с при производительности колонны по сырью 59 т/ч. Предлагается с целью снижения гидравлического сопротивления колонны заменить клапанные тарелки на ударно-распылительную насадку, описанную в работе [1].

На рисунке 1 приведена схема работы слоя ударно-распылительной насадки. Новая насадка состоит из вертикальных гофрированных листов (1) и (2). На листе (1) имеются горизонтальные полки (3), а на сгибах гофра листа (2) – щелевидные отверстия. Лист (2) имеет перфорацию, площадь свободного сечения листа (2) составляет 22 %. Ударно-распылительная насадка в собранном виде образует горизонтальные ромбовидные каналы (ступени контакта), как показано на рисунке 1, и вертикальные каналы сложной формы для прохождения газовой (паровой) и жидкой фаз.

Жидкость, стекающая сверху вниз по насадке, частично заполняет нижнюю часть ромбовидных каналов, как показано на рисунке 1. Она выполняет роль гидрозатвора, препятствующего попаданию газовой (паровой) фазы из нижней ступени в верхнюю ступень через нижнюю щель. Многочисленные струи жидкости истекают с плоских площадок (3), подхватываются потоком газа (пара) и распыляются. Газ (пар) поднимается снизу вверх по слою насадки и диспергирует струи жидкости. Взаимодействие газовой и жидкой фаз происходит следующим образом. Сначала при истечении с плоской площадки (3) струи жидкости и газа (пара) движутся прямооточно, контактируя друг с другом на горизонтальной плоскости. Затем происходит удар струй о противоположную стенку насадки, струи газа (пара) и жидкости интенсивно перемешиваются, в результате чего происходит тонкое диспергирование фаз. Ударно-распылительный способ контакта фаз обеспечивает увеличение интенсивности

массопереноса при абсорбции и ректификации, а также способствует повышению эффективности работы ударно-распылительной насадки при разделении смесей.

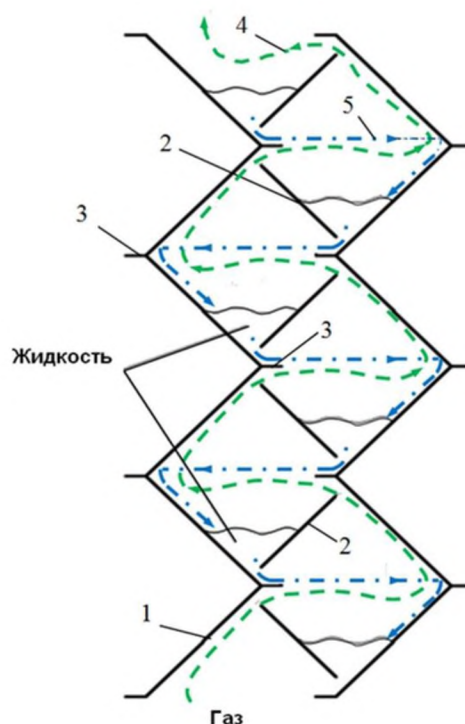


Рисунок 1 – Схема работы ударно-распылительной насадки: 1, 2 – листы; 3 – горизонтальная площадка; 4 – поток газа (пара); 5 – поток жидкости.

Из описания принципа действия насадки можно заключить, что в новой ударно-распылительной насадке контакт газа (пара) и жидкости происходит не на поверхности тел, образующих слой насадки, как, например, на кольцах Рашига, а в объеме слоя насадки, в пустотах, образованных стенками насадки. Также из рисунка 1 видно, что в каждой ступени слоя насадки осуществляется прямооток газовой и жидкой фаз, а в аппарате в целом – противоток фаз. Это позволяет сделать вывод, что ударно-распылительная насадка является промежуточным звеном между тарельчатыми и насадочными контактными устройствами. С тарельчатыми устройствами ее сближает наличие гидрозатвора, образуемого жидкостью в нижней части ромбовидных каналов. Необходимо отметить, что эта жидкость одновременно принимает участие в массообмене. С насадочными устройствами новую ударно-распылительную насадку объединяет наличие непрерыв-

ного контакта газа (пара) и жидкости и отсутствие межступенчатого пространства для отделения образующихся брызг от газа.

В соответствии с литературными данными [2], гидравлическое сопротивление ударно-распылительной насадки существенно ниже сопротивления других известных насадок в широком диапазоне приведенных скоростей газа (пара), что объясняется конструктивными особенностями насадки. С целью проведения реконструкции ректификационной колонны выполнен расчет высоты, диаметра и гидравлического сопротивления колонного аппарата с применением ударно-распылительной насадки.

Диаметр верхней части колонны:

$$D_B = \sqrt{4V_B^B / \pi w_B} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,983}{3,14 \cdot 1,426}} = 2,85 \text{ м},$$

где V_B^B – объемный расход пара в верхней части колонны, $\text{м}^3/\text{с}$; w_B – скорость пара в верхней части колонны, $\text{м}/\text{с}$.

Диаметр нижней части колонны:

$$D_H = \sqrt{4V_H^H / \pi w_H} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,855}{3,14 \cdot 1,3}} = 3,1 \text{ м},$$

где V_H^H – объемный расход пара в нижней части колонны, $\text{м}^3/\text{с}$; w_H – скорость пара в нижней части колонны, $\text{м}/\text{с}$.

Принимаем диаметр верхней и нижней частей колонны $D_K = 3 \text{ м}$.

Рабочая скорость пара в колонне:

$$W_K^B = \frac{4V_B^B}{\pi D_K^2} = \frac{4 \cdot 8,983}{3,14 \cdot 3^2} = 1,27 \text{ м}/\text{с},$$

$$W_K^H = \frac{4V_H^H}{\pi D_K^2} = \frac{4 \cdot 9,855}{3,14 \cdot 3^2} = 1,39 \text{ м}/\text{с}.$$

Плотность орошения в верхней и нижней частях колонны:

$$U_B = \frac{4V_B^B}{\pi D_K^2} = \frac{4 \cdot 0,01944}{3,14 \cdot 3^2} = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

$$U_H = \frac{4V_H^H}{\pi D_K^2} = \frac{4 \cdot 0,02675}{3,14 \cdot 3^2} = 3,78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Высота слоя ударно-распылительной насадки в верхней части колонны:

$$H_B = h_{OG}^B N_{OG}^B = 10,46 \cdot 1,8 \approx 19 \text{ м},$$

где h_{OG}^B – высота единицы переноса в верхней части колонны, м ; N_{OG}^B – число единиц переноса в верхней части колонны.

Высота слоя ударно-распылительной насадки в нижней части колонны:

$$H_H = h_{OG}^H N_{OG}^H = 9,4 \cdot 2,6 \approx 24 \text{ м},$$

где h_{OG}^H – высота единицы переноса в нижней части колонны, м ; N_{OG}^H – число единиц переноса в нижней части колонны.

Гидравлическое сопротивление слоя сухой насадки в верхней и нижней частях колонны:

$$\Delta P_C^B = H_B \cdot 199,8 \cdot W_K^{B,1,744} = 19 \cdot 199,8 \cdot 1,27^{1,744} = 5759 \text{ Па},$$

$$\Delta P_C^H = H_H \cdot 199,8 \cdot W_K^{H,1,744} = 24 \cdot 199,8 \cdot 1,39^{1,744} = 8515 \text{ Па}.$$

Гидравлическое сопротивление орошаемой ударно-распылительной насадки в верхней и нижней частях колонны определим по графику зависимости гидравлического сопротивления насадки от приведенной скорости газа из работы [2]:

$$\Delta P_{OP}^B = 7220 \text{ Па}; \Delta P_{OP}^H = 9360 \text{ Па}.$$

Общее сопротивление орошаемой насадки:

$$\Delta P_{HAC} = \Delta P_{OP}^B + \Delta P_{OP}^H = 7220 + 9360 = 16580 \text{ Па}.$$

Количество слоев насадки в верхней и нижней частях колонны:

$$n_{сл в} = \frac{H_B}{H_{сл}} = \frac{19}{6} \approx 3 \text{ слоя}$$

$$n_{сл н} = \frac{H_H}{H_{сл}} = \frac{24}{6} = 4 \text{ слоя},$$

где $H_{сл}$ – высота одного слоя ударно-распылительной насадки, равная 6 м.

Общая высота ректификационной колонны:

$$H_K = H_{сл} n_{сл} + (n_{сл} - 1) \cdot h_p + h_B + h_H = 6 \cdot 7 + (7 - 1) \cdot 0,4 + 1,4 + 2,5 \approx 48 \text{ м},$$

где h_p – расстояние между слоями насадки, м ; h_B – высота сепарационного пространства над насадкой, м ; h_H – расстояние между днищем колонны и насадкой, м .

Сравнение параметров ректификационной колонны до и после реконструкции приведено в таблице 1.

Из выполненного расчета следует, что колонна с ударно-распылительной насадкой обладает меньшим гидравлическим сопротивлением в сравнении с колонной с клапанными тарелками. В результате уменьшения гидравлического сопротивления снизится температура кипения в кубовой части колонны, что приведет к экономии пара, подаваемого в испаритель.

Низкое гидравлическое сопротивление ударно-распылительной насадки объясняется ее конструктивными особенностями: регулярной компоновкой, высоким свободным сечением, низким количеством удерживаемой жидкости.

Таблица 1 – Параметры ректификационной колонны до и после реконструкции

Параметр	Колонна с клапанными тарелками	Колонна с ударно-распылительной насадкой
Высота колонны, м	50	48
Диаметр колонны, м	3	3
Гидравлическое сопротивление колонны, кПа	43,0	16,58

Таким образом, регулярную ударно-распылительную насадку можно рекомендовать к применению для проведения процесса

абсорбции, как предлагается в работе [2], а также к использованию в ректификационных колоннах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на изобретение РФ № 2602118. Регулярная насадка для тепло- и массообменных процессов / Андреев М.В., Бальчугов А.В., Бадеников А.В., Кузора И.Е. Заявитель и патентообладатель: Ангарский государственный технический университет. Заявка № 2015128428/05 от 13.07.2015. Оpubл.: 10.11.2016. Бюл. № 31.

2. Андреев, М.В. Гидродинамические исследования слоя ударно-распылительной насадки в режиме орошения / Андреев М.В., Бальчугов А.В., Бадеников А.В., Коробочкин В.В. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 12. – С. 116-123.