

Анализ результатов численных исследований показал, что в течение всей зоны плавления в случае ее постоянной высоты движение полимера практически отсутствует по высоте канала и является незначительным по ширине канала. В то же время наблюдается заметная неравномерность распределения скоростей в сечениях вдоль канала. Таким образом, происходит конвективный теплообмен вдоль канала червяка, который не учитывается многими существующими моделями процесса плавления полимеров.

Список литературы

1. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. Пер. с англ. М.: Химия, 1984. 632 с. 2. Tadmor Zehev, Gogos Costas G. Principles of polymer processing. A John Wiley & Sons, Inc., 2006. 964 с. 3. Maddock В.Н. A visual analysis of flow and mix-

ing in extruder screws // The soc. of plast. engs. J. 1959. Vol. 15, № 5. P. 383–389. 4. Street L.F. Plastifying extrusion // Intern. plast. eng. 1961. Vol. 1. № 6. P. 289–296. 5. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1977. 461 с. 6. Chung С.И. A new theory for single-screw extrusion. Part 1 // Modern plast, 1968. Vol. 45. № 13. P. 178–198. 7. Donovan R.C. A theoretical melting model for plasticating extruders // Polym. eng. a. sci. 1971. Vol. 11, № 3. P. 247–257. 8. Edmondson I.R., Fenner R.T. Melting of thermoplastics in single screw extruders // Polymer. 1975. Vol. 16. № 1. P. 49–56. 9. Shapiro J., Halmos A.L., Pearson J.R.A. Melting in single screw extruders. Part 1: The mathematical model // Polymer. 1976. Vol. 17. № 10. P. 905–918. 10. Басов Н.И., Володин И.Н., Казанков Ю.В. и др. Гидродинамика и теплообмен при плавлении в винтовом канале шнекового аппарата // Теор. осн. хим. технол. 1983. Т. 17, № 1. С. 72–78. 11. Труфанова Н.М., Щербинин А.Г., Янков В.И. Плавление полимеров в экструдерах. Москва. Ижевск: Ин-

ститут компьютерных исследований. Регулярная и хаотическая динамика, 2009. 335 с. 12. Сахаров А.С., Колосов А.Е., Сокольский А.Л., Сивецкий В.И. Моделирование процесса смешения полимерных композиций в экструзионном смесителе барьерного типа // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 12. С. 3–7. 13. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х томах: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 384 с. 14. Метод конечных элементов в механике твердых тел. /под общ. ред. А.С. Сахарова и И. Альтенбаха. К.: Вища школа, 1982. 480 с. 15. Киричевский В.В., Сахаров А.С. Нелинейные задачи термомеханики конструкций из слабосжимаемых эластомеров. К.: Будівельник, 1992. 216 с. 16. Сахаров О.С., Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Сивецкий В.. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості. К.: ТОВ «Поліграф Консалтинг», 2006. 156 с.

С.К. Чуракова, канд. техн. наук, К.Ф. Богатых, Г.М. Сидоров, доктора техн. наук (Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия).

E-mail: churakovack@rambler.ru;

Р.Н. Резяпов (Санкт-Петербургская электротехническая компания, Россия)

Внедрение перекрестноточных каплеуловителей с целью интенсификации работы массообменных аппаратов

Увеличение пропускной способности массообменных аппаратов на действующих крупнотоннажных установках лимитируется повышенным уносом жидкости потоком газа с контактных устройств барботажного или пленочного типа [1, 2]. Для улавливания из потока паров мелких капель жидкости, унесенных после отделения паровой фазы в узле ввода сырья, используются каплеуловители (каплеотбойники), устанавливаемые после штуцера ввода сырья или в зоне питания колонны.

При первичной сепарации фаз в зоне ввода сырья от функционирования каплеуловителей зависят степень уноса капель жидкой фазы сырья в укрепляющую секцию ректификационных аппаратов и организация стока уловленных капель жидкой фазы в отгонную секцию колонны. Все расчеты ректифика-

ционных процессов проводятся в статическом режиме: предполагается, что весь пар поступает в укрепляющую секцию колонны, а вся жидкость — в отгонную секцию колонны. В реальных условиях существенное влияние оказывает гидродинамическая составляющая двухфазного потока сырья на процесс разделения неоднородных систем *пар—жидкость*, определяющая результат работы каплеуловителей и более сложных систем ввода сырья (зоны питания колонн). Однако информации по методам организации ввода сырья и первичной сепарации двухфазных потоков недостаточно, поэтому рассмотрим конструкции каплеуловителей с различными способами организации движения фаз.

С точки зрения организации контакта фаз на данный момент

существуют противоточные, перекрестноточные и перекрестно-противоточные каплеуловители [3], которые чаще всего изготавливают либо из плетеных сеток, либо из просечно-вытяжных листов.

Перекрестноточно-противоточные каплеуловители [2] до 1960-х годов изготавливались в виде пакетов из уголков 50×50 мм, развернутых последовательно на 90°, с зазорами 10...15 см между слоями. Улавливание капель осуществлялось в них за счет сцепления (прилипания) капель вязкой жидкости со стенками уголков и многократного поворота потока пара на 90...180° (инерционное разделение неоднородных систем путем локального перекрестного тока при общем противотоке по аппарату). Уловленная капельная жидкость собиралась в уголках (расположенных

створом вверх) и по ним стекала с одного из торцов каплеуловителя (пакеты устанавливались с уклоном). Недостатки таких каплеуловителей: большая металлоемкость; малая эффективность улавливания (до 80 % капель) вследствие малой удельной поверхности ($20 \text{ м}^2/\text{м}^3$); большое гидравлическое сопротивление проходу паров (1...2 кПа); закоксовывание щелей [2].

В середине 1960-х годов была разработана конструкция сетчатых горизонтальных противоточных каплеуловителей — многослойный пакет (толщина 100...120 мм) плотно уложенной рукавной сетки чулочной вязки (из коррозионностойкой стальной проволоки диаметром 0,2 мм). Вследствие большой удельной поверхности проволоки (до $250 \text{ м}^2/\text{м}^3$) только за счет сцепления обеспечивается эффективность улавливания капель 98...99 %. Гидравлическое сопротивление таких каплеуловителей не превышает 0,4 кПа, что особенно важно для вакуумных колонн.

В противоточном горизонтальном каплеуловителе (рис. 1, а) пакеты сетки укладываются на горизонтальный несущий каркас 8. Паровой поток пересекает его вертикально; уловленные капли стекают по пакету вниз, укрупняются (коалесцируют) и падают вниз (в отгонную секцию)

навстречу поднимающемуся потоку паров (противоточная организация движения потоков пара и жидкости). Недостаток такого устройства — поток пара препятствует стоку капель из каплеуловителя, и внутри пакета возможно создание режима барботажа пара и уловленной жидкости, что приводит к закоксовыванию застаивающейся в пакете жидкости и нарушению работы колонны.

Для исключения этого недостатка позднее были разработаны перекрестноточные каплеуловители (см. рис. 1, б) [2, 4], в которых пакеты устанавливаются под углом 60° с опорой на сборные желоба. Уловленная жидкость стекает через торцы пакетов в желоба, а пары пересекают поток жидкости под углом 90° или меньше (перекрестноточная организация движения фаз пара и жидкости). Из желобов жидкость по сточным трубам направляется на тарелку отгонной части. В другом варианте перекрестноточного каплеуловителя (см. рис. 1, в) [2] на общем стальном полотне тарелки вокруг отверстия пакеты установлены кольцевые пакеты 3, закрытые сверху крышками. Пары в этом случае пересекают пакет горизонтально, а уловленная жидкость стекает по ним вертикально на по-

лотно тарелки и далее — в отгонную секцию колонны (траектории движения жидкости и пара различны).

В настоящее время предлагаются новые конструкции горизонтальных каплеуловителей, в том числе и перекрестно-противоточного типа [5–8] — каплеулавливающие кассеты с расположенными в них кольцевыми насадками (с особым способом укладки по сечению колонны) и насадками регулярного типа (из секций зигзагообразно расположенной сетки с системой желобов для улучшения дренажа жидкости в отгонную секцию колонны; для улучшения стока жидкости предусмотрен небольшой наклон к горизонту). Секционный горизонтальный каплеуловитель данной конструкции, по сравнению с перекрестноточной конструкцией [4] (см. рис. 1, б), имеет меньшую высоту, большую механическую прочность и ряд других преимуществ. В рассмотренных конструкциях [5, 6] организуется локальный перекрестный ток в отбойном устройстве, но принцип общего противотока при организации движения фаз по аппарату сохраняется вследствие расположения каплеуловителей горизонтально (либо под незначительным уклоном) в сечении колонны. Эти конструкции могут обеспечивать высокую степень

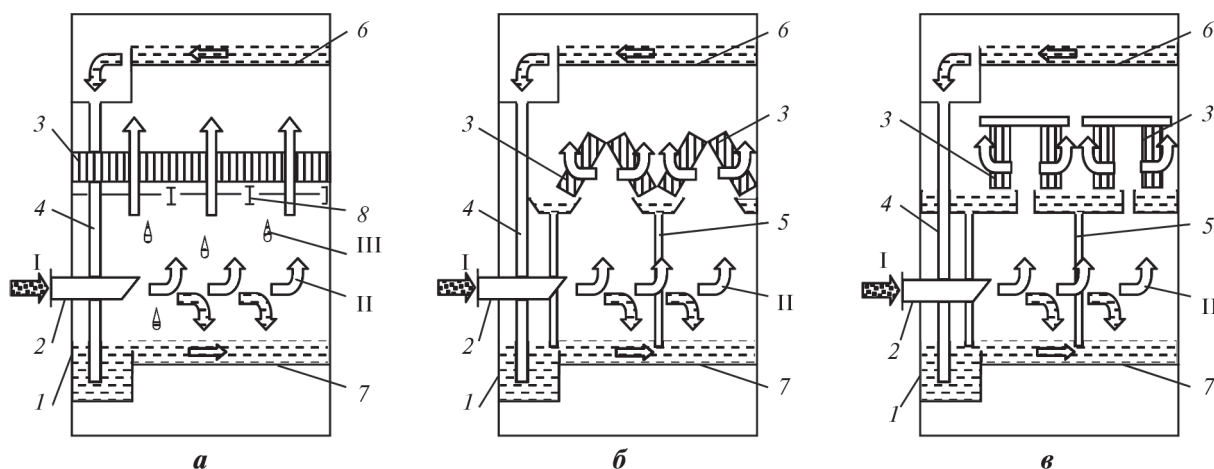


Рис. 1. Варианты (а, б, в) конструкций каплеуловителей:

1 — корпус колонны; 2 — патрубки ввода парожидкостного сырья; 3 — каплеулавливающие сетчатые пакеты; 4 — переливные трубы; 5 — сливы уловленной жидкости; 6, 7 — нижние тарелки укрепляющей и верхние тарелки отгонной частей колонны; 8 — опоры каплеуловителя; I — сырье; II — паровая фаза сырья; III — капли уловленной жидкости



улавливания при скоростях выше 1,8 м/с [1], предельно допустимых для противоточных горизонтальных сетчатых каплеуловителей. При значительном повышении производительности аппарата по сырью их эксплуатационные характеристики по степени улавливания и перепаду давления ухудшаются, так как в них не снижается скорость прохода пара за счет увеличения сечения (основной принцип инерционных уловителей), так как предельно возможное сечение для них — это поперечное сечение колонны. Кроме того, следует отметить, что применение конструкций каплеуловителей, базирующихся на насадках регулярного типа (из сетки и просечно-вытяжного листа) предпочтительнее.

Важное преимущество перекрестноточных каплеуловителей перед горизонтальными противоточными и перекрестноточно-противоточными каплеуловителями — интенсификация процесса разделения при повышении производительности. В перекрестноточных каплеуловителях возможно значительное увеличение площади сепарации фаз, обеспечивающее снижение линейной скорости потока газа (инерционные методы разделения); возможно регулирование перепада давления; лучшие условия для организации стока жидкости на ниже расположенный уровень. Поэтому в данной статье более детально обсуждаются результаты разработки и внедрения перекрестноточных каплеуловителей конструкции первоначально разработанной в Уфимском государственном нефтяном техническом университете [9–16].

Для улавливания капель раствора щелочи, уносимых потоком пирогаза из барботажного слоя на верхней колпачковой тарелке колонны Т-2301 (внутренний диаметр 3050 мм) щелочной очистки пирогаза на установке производства этилена «ООО Ставролен» применялся противоточный горизонтальный сетчатый каплеуловитель с наружным диаметром меньше диаметра колонны — 2500 мм. В связи с этим линейная скорость потока пирогаза в поперечном сечении каплеуловителя в 1,5 раза

выше, чем в поперечном сечении колонны Т-2301. Расчеты показали, что при проектной производительности колонны Т-2301 достигается предельно допустимое значение линейной скорости потока пирогаза в каплеуловителе, при котором происходит подвисяние жидкости во всем объеме каплеуловителя и резко возрастает гидравлическое сопротивление. При этом наблюдается вторичный унос капель из верхней части каплеуловителя, и не обеспечивается требуемая эффективность (не ниже 99,8 %) по улавливанию капель раствора щелочи.

В связи с задачей повышения выработки этилена на 15 % возник вопрос о конструкции отбойного устройства в колонне Т-2301, обеспечивающего эффективную сепарацию фаз при соответствующем повышении проектного значения расхода пирогаза. Кроме того, по требованию заказчика, новый каплеуловитель должен был располагаться в зауженном сечении колонны на опорных элементах старого сетчатого каплеуловителя. С учетом этих требований была разработана и предложена конструкция перекрестноточного каплеуловителя типа «квадрат», в котором исключается противоточное движение потока пирогаза и уловленной жидкости [10–12].

Конструкция каплеуловителя типа «квадрат» (рис. 2) обеспечивает эффективную сепарацию паро-жидкостного потока за счет увеличения сечения, соответствующего снижению скорости потока и перекрестноточного движения контактирующих фаз в насадочном модуле, предполагающего неоднократное изменение направления движения потока (инерционная сепарация фаз). При этом поток пирогаза движется в горизонтальном направлении через слой регулярной насадки, расположенной в объеме каплеуловителя, представляющего собой полый прямоугольный параллелепипед, квадратного сечения, образуемый четырьмя одинаковыми насадочными модулями с размерами: длина — 1400 мм, высота — 1200 мм, толщина — 400 мм [10, 11]. Газовый поток входит внутрь параллелепипеда, затем выходит через боковые стенки четырех на-



Рис. 2. Перекрестноточный каплеуловитель типа «квадрат»

садочных модулей. Полностью разборная конструкция насадочного модуля состоит из каркаса и насадочных элементов, выполненных из гофрированного просечно-вытяжного стального листа. Каркас крепится болтами к опорным элементам. Насадочный модуль перекрыт сплошным стальным листом в нижней части — по периферии до корпуса колонны, а в верхней — по центру. Крепление перекрытий — болтовыми соединениями к опорным элементам. Отделенная в насадочном модуле жидкость в виде пленок и крупных капель под действием силы тяжести стекает по элементам насадки вниз и отводится в тарман верхней колпачковой тарелки.

Эксплуатационные характеристики горизонтального противоточного и перекрестноточного (типа «квадрат») каплеуловителей для колонны щелочной очистки пирогаза приведены в таблице.

Предлагаемый перекрестноточный каплеуловитель имеет лучшие эксплуатационные характеристики по сравнению с горизонтальным противоточным [12]: на 37 % большее сечение для прохода пирогаза, соответственно меньшую скорость и меньшую паровую нагрузку (F -фактор), в 2 раза большую длину пути пирогаза. Эти факторы позволяют обеспечить более эффективную сепарацию капель щелочи из потока пирогаза.

Перекрестноточный каплеуловитель данной конструкции был изготовлен и смонтирован в колонне Т-2301 дважды: в период планового ремонта (в июле 2004 г.) и после 8 лет





Эксплуатационные характеристики	Противоточный каплеуловитель	Перекрестноточный каплеуловитель
Длина пути газа в каплеуловителе, мм	200	400
Сечение каплеуловителя для прохода газа, м ²	4,9	6,72
Доля сечения каплеуловителя от сечения колонны, %	67,1	92,1
Нагрузка в сечении колонны Т-2301 по газу (<i>F</i> -фактор), Па ^{0,5}	1,77	1,77
Нагрузка в сечении каплеуловителя по газу (<i>F</i> -фактор), Па ^{0,5}	2,64	1,92

успешной эксплуатации (в июле 2012 г.). После пуска колонны в эксплуатацию зафиксированы необходимые эффективность улавливания капель и сепарационная способность в пределах изменения производительности до 115 % от проектных значений.

Наиболее сложная проблема — сепарация фаз в зоне ввода сырья вакуумных ректификационных колонн. Рассмотрим опыт разработки и реализации перекрестноточных орошаемых каплеуловителей, установленных в зоне питания вакуумных колонн установок ЭЛОУ-АВТ и АВТ-2 «ОАО Орскнефтеоргсинтез» [10, 13–16].

Первоначально в колонне К-5 установки ЭЛОУ-АВТ был организован типовой двухпоточный тангенциальный ввод сырья на одном уровне навстречу друг другу; при этом соударение потоков со значительной кинетической энергией приводило к капле- и туманообразованию, вторичному захвату мелких витающих капель жидкости и уносу тяжелых темных фракций в укрепляющую часть колонны. В результате чего ухудшались основные характеристики (цвет, коксусемость, фракционный состав) не только широкой масляной фракции, но и масляных дистиллятов, получаемых во второй колонне двухколонного вакуумного блока — колонне К-6. Установкой типового противоточного каплеуловителя из сетчато-вязаного рукава невозможно было обеспечить эффективную сепарацию пара и жидкости в этой зоне, так как каплеуловители данного типа успешно функционируют при скоростях пара до 1,8 м/с [1], а расчетные значения скорости в

этой зоне гораздо выше. Для повышения эффективности сепарации в данных условиях необходимы либо специальные технологические приемы (например, циркуляция затемненного продукта [17–19]), либо изменение конструкции зоны питания. Для предотвращения уноса капель жидкой фазы (мазута) в укрепляющую часть колонны принята конструкция зоны питания с перекрестноточным каплеуловителем типа «двухуровневый квадрат», расположенным в концентрическом стакане диаметром 5,5 м и высотой 2 м, который крепится в верхней части к корпусу колонны (рис. 3). Свободное пространство между стаканом и обечайкой колонны выполняет функцию улиты с тангенциальным вводом потока (гидроциклон для разделения неоднородной системы *пар — жидкость*). Ввод сырья предложено осуществлять двумя потоками с разворотом штуцеров на 90° и 30° соответственно для организации

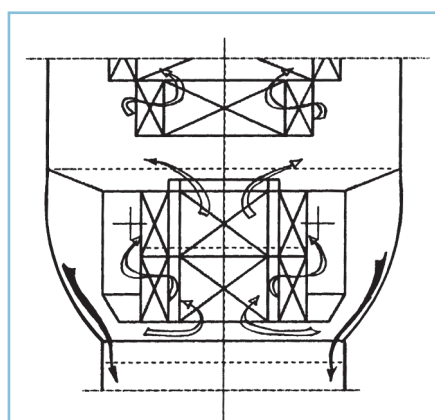


Рис. 3. Перекрестноточный каплеуловитель типа «двухуровневый квадрат» в зоне питания колонны

тангенциальной подачи потоков в одном направлении (рис. 4).

Углеводородная парожидкостная смесь из трубопровода поступает в зону между цилиндром и нижней полусферой корпуса колонны, огибает цилиндр снизу и входит в квадратное окно (3000x3000 мм), образуемое пакетами насадки. Далее углеводородные пары проходят две ступени (высотой 1,3 м каждая) пакетов насадки, выполняющих одновременно роль орошаемых перекрестноточных каплеуловителей, и поступают в укрепляющую часть колонны.

Каждый насадочный блок состоит из четырех пакетов насадки, собранных из шатровых элементов, изготовленных из просечно-вытяжного листа и скрепленных дистанционными прокладками. Пакеты расположены в горизонтальном сечении колонны по сторонам вписанного квадрата. Насадочный блок с распределителем представляет собой полифункциональный перекрестноточный контактный модуль с ректификационно-отбойными свойствами, орошаемый жидкостью, стекающей с нижнего блока укрепляющей секции. В данном случае для орошения каплеуловителя не требуется насос, как в случаях принудительной циркуляции затемненного продукта. Расчетная скорость паров в нижнем насадочном блоке зоны питания колонны К-5 — 5,5 м/с, в верхнем блоке — 5 м/с, фактор паровой на-

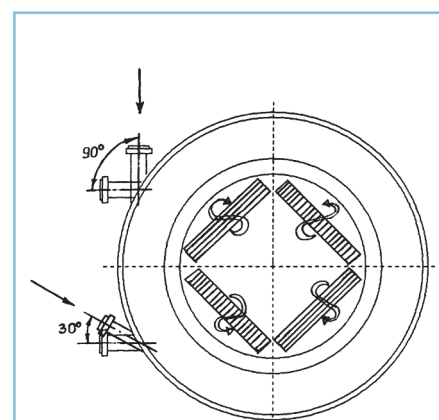


Рис. 4. Поперечное сечение зоны питания с каплеуловителем типа «двухуровневый квадрат»



грузки (F -фактор; $F = w\sqrt{\rho}$) соответственно 3,6 и 3,2 Па^{0,5}.

Для снижения скорости потока мазута в трансферной линии и на входе в колонну до 100 м/с и устранения скачка давления, лимитирующего долю отгона мазута и отбор широкой масляной фракции [20], увеличены диаметр трансферного трубопровода (от 300 до 400 мм) и диаметр штуцеров ввода сырья (от 358 до 500 мм). Чем меньше скорость парожидкостного потока, тем больше время пребывания его в трансферном трубопроводе, и тем ближе составы паровой и жидкой фаз к равновесным, следовательно, более плавно протекает процесс парообразования с поверхности капель жидкой фазы мазута — без интенсивного распыления с образованием «тумана». По данным [20], при снижении массовой скорости до 70...90 кг/(м²·с) перепад давления не превысит 4,5...8 кПа (35...60 мм рт. ст.), что практически устранит резкое снижение давления на входе в вакуумную колонну, позволит обеспечить требуемое испарение мазута (при значительном снижении образования «тумана») и улучшение условий сепарации фаз в зоне питания вакуумной колонны.

В результате реализации предложенного комплекса мероприятий в колонне К-5 установки ЭЛОУ-АВТ отбор широкой масляной фракции был увеличен в 1,3 раза и доведен до 80 % от потенциала при показателе цветности 4,5–5, содержание легких дистиллятных фракций в гудроне снижено от 25 до 7 % (об.). Во второй по ходу вакуумной колонне К-6 соответственно в два раза увеличены отборы вакуумного соляра и веретенного дистиллята, а суммарный отбор целевых масляных дистиллятов от потенциала увеличен на 33 % [10].

Аналогичные положительные результаты получены при реализации перекрестноточного каплеуловителя типа «две полосы» (рис. 5), установленного в зоне питания вакуумной колонны К-4 установки АВТ-2 «ОАО Орскнефтеоргсинтез» [10, 16], рассчитанного и разработанного с учетом рекомендаций [17–20].

Результаты анализа конструкций противоточных и перекрестноточ-

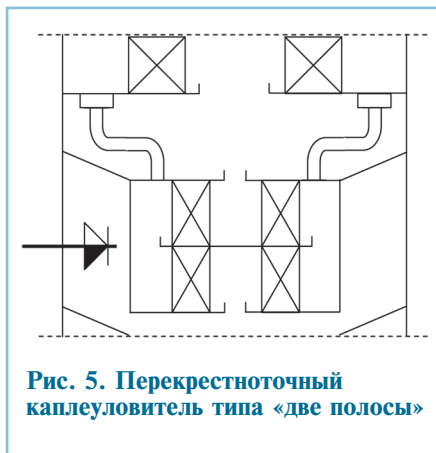


Рис. 5. Перекрестноточный каплеуловитель типа «две полосы»

ных каплеуловителей (отбойников), установленных либо в зоне ввода сырья, либо в зоне питания колонны:

— разработаны и реализованы высокоэффективные конструкции перекрестноточных каплеуловителей для системы *пар — жидкость* орошаемого и неорошаемого типов, значительно расширяющие возможности их эффективной эксплуатации;

— при установке перекрестноточного каплеуловителя за счет увеличения поверхности контакта фаз, снижения скорости потока и улучшения гидродинамической составляющей в массообменных процессах разделения повышается отбор и качество продуктов разделения ректификационных колонн;

— для достижения наилучших результатов сепарации фаз необходим комплексный подход к реконструкции аппарата с учетом особенностей гидродинамики двухфазных потоков в зоне питания колонны.

Список литературы

1. Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. М.: Химия, 1981. 2. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа. М.: Химия, 1999. 3. Чуракова С.К. Сравнительный анализ противоточной и перекрестноточной организации контакта фаз // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18. № 2. С. 39–44. 4. А.с. СССР № 420315, МКИ В 01 D 45/08. Каплеотбойник. 1971. Бюл. № 11. 5. Патент РФ № 2440843, МКИ В 01 J 19/32. Новый способ укладки кольцевой насадки. 2012. Бюл. № 25. 6. Патент РФ № 2179057, МКИ В 01 D 45/08. Секционный каплеотбойник. 2002. Бюл. № 17. 7. Соколов А.С., Пушнов

А.С., Лагуткин М.Г. и др. Разработка новой керамической насадки для абсорбционных аппаратов обладающей большей удельной поверхностью // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2010. V. 18(1) P. 38–44. 8. Петрашова Е.Н., Лагуткин М.Г., Пушнов А.С. и др. Разработка и испытания нового каплеулавливающего устройства // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 4. С. 22–25. 9. Богатых К.Ф., Мнушкин И.А. Изготовление пакетов регулярной насадки из рукавной сетки // Нефтяное и химическое машиностроение. 1987. № 5. С. 16–18. 10. Чуракова С.К. Разработка технологии фракционирования мазута с получением масляных дистиллятов в перекрестноточных насадочных колоннах. Дисс. ... канд. тех. наук. Уфа: УГНТУ. 1994. 11. А.с. СССР № 997762, МКИ В 01 D 53. Насадка для теплообменных аппаратов. 1983. Бюл. № 7. 12. Нестеров И.Д., Богатых К.Ф. Перекрестноточный каплеуловитель для колонны щелочной очистки пирогаза // Матер. VII Междунар. конф. по интенсификации нефтехимических процессов «Нефтехимия-2005». Нижнекамск. 2005. С. 162–163. 13. Патент РФ № 1803172, МКИ В 01 D 53/20. Контактное устройство для ректификационной и абсорбционной колонн. 1993. Бюл. № 11. 14. Патент РФ № 2056163, МКИ В 01 D 53/20. Контактный модуль. 1996. Бюл. № 8. 15. Чуракова С.К., Езунов И.С., Астахов А.Н. и др. Особенности поэтапной реконструкции тарельчатых вакуумных ректификационных колонн в насадочные // Нефтепереработка и нефтехимия. 1995. № 9. С. 16–20. 16. Чуракова С.К., Богатых К.Ф., Езунов И.С. и др. Оценка эффективности работы перекрестноточной насадочной колонны при фракционировании мазута с получением масляных дистиллятов // Нефтепереработка и нефтехимия. 1995. № 9. С. 13–16. 17. Мановян А.К., Сучков Б.А., Одинцов О.К. и др. Влияние рецикла флегмы на процесс ректификации в сложной ректификационной колонне // ХТТМ. 1975. № 3. С. 26–30. 18. Креймер М.Л., Худайдатова Л.Б., Станишевская В.М. и др. Исследование уноса в испарительной зоне вакуумной колонны и работы сетчатого отбойника // Тр. Ин-та Баш НИИ НП. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1975. Вып. 14. С. 55–59. 19. MacClain W. Vacuum tower revamp increases gas oil draw and quality // Chem. Processing. 1985. V. 48. P. 82–83. 20. Худайдатова Л.Б., Креймер М.Л., Станишевская В.И. и др. Исследование движения двухфазных смесей в трансферных трубопроводах вакуумных колонн // Тр. Ин-та Баш НИИ НП. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1975. Вып. 14. С. 60–69.