



УДК 66.069.833-042.55(048.83)

И.О. Микулёнок, д-р техн. наук (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»)
E-mail: i.mikulionok@gmail.com

Классификация встроенных сепараторов массообменных колонн (обзор патентов)

Эффективность работы массообменных колонн — насадочных, тарельчатых, распыливающих, пленочных — зависит не только от взаимодействия фаз в контактной части колонн, но и от степени разделения фаз на выходе колонного аппарата. При этом отделение капель жидкости от потока лёгкой фазы (газа, пара, газопаровой смеси; далее — газа) осуществляется с при-

менением специальных устройств — сепараторов (брызгоуловителей, каплеотделителей, каплеотбойников) [1–4], обеспечивающих не только очистку газовой фазы, но и предотвращение необратимых потерь жидкости (воды в градирнях, а также абсорбента при сбросе очищенных в абсорбере газов в атмосферу).

Наиболее востребованными устройствами для отделения капель

жидкости от отводимого из массообменной колонны газового потока являются встроенные (в полости верхней части корпуса колонны либо ее крышки) сепараторы, в отличие от более универсальных выносных сепараторов, размещаемых за пределами колонны (например, пат. № RU2250796C1, № RU2536991C1).

В массообменных колоннах также используются многие конструкции сепараторов, разработанных для выпарных аппаратов (трубчатых аппаратов непрерывного действия как с естественной, так и с принудительной циркуляцией выпариваемого раствора).

Анализ конструктивного исполнения встроенных сепараторов массообменных колонн позволяет предложить их укрупненную классификацию (рис. 1).

По степени отделения капель из общего газового потока — моносе-параторы, обеспечивающие улавливание капель жидкости из газового потока в целом и применяемые в качестве общего сепаратора большинства насадочных, тарельчатых и распыливающих колонных аппаратов, и полисепараторы — совокупность одинаковых элементов, устанавливаемых на выходе газа из одного или нескольких контактных элементов (над вертикальными трубками или листами пленочных массообменных колонн [2, 4]).

По механизму отделения капель из общего потока легкой фазы — сепараторы, принцип действия которых основан на использовании гравитационных, инерционных, центробежных сил, на отделении

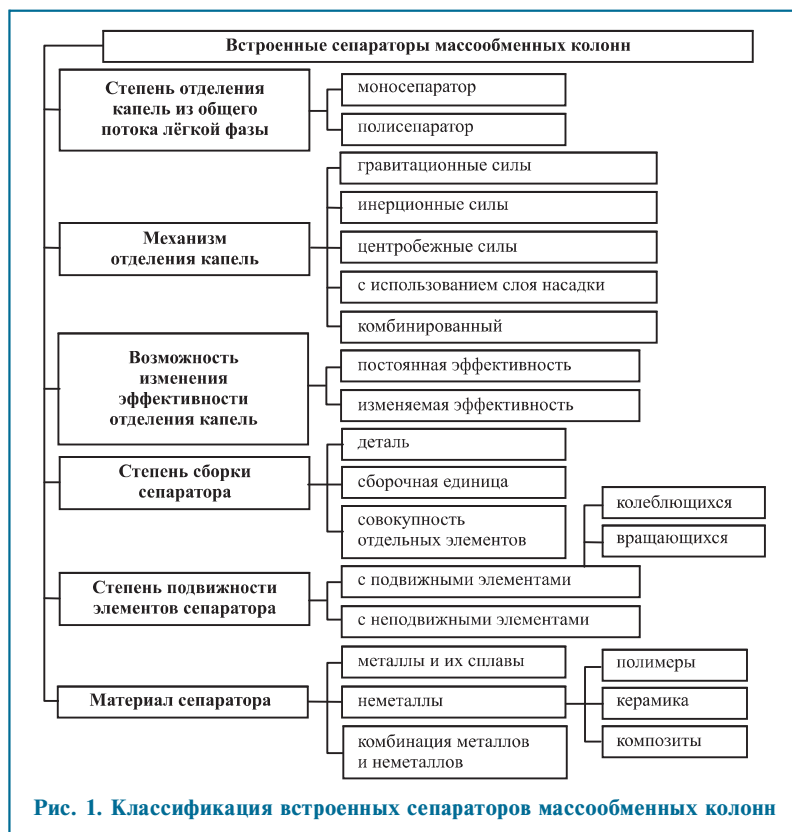


Рис. 1. Классификация встроенных сепараторов массообменных колонн

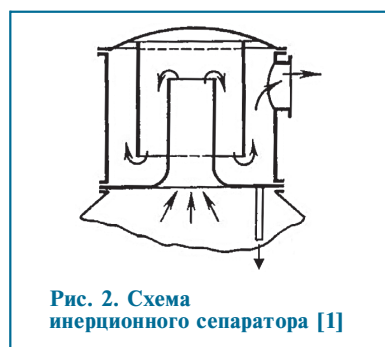
с использованием слоя насадки, а также сепараторы комбинированного действия.

Самыми простыми, но и наименее эффективными являются гравитационные сепараторы, конструктивно оформляемые в виде свободного пространства корпуса колонны над ее контактной частью [4]. Высота сепарационного пространства обычно составляет не менее одного-полутора диаметров корпуса колонны (в его верхней части).

В массообменных колонных аппаратах наиболее распространены инерционные сепараторы без подвижных частей, простой конструкции, отличающиеся небольшим гидравлическим сопротивлением. Принцип их действия основан на многократном изменении направления и скорости газа.

В а. с. № SU697137A1 простейший инерционный сепаратор выполнен в виде горизонтально расположенного выпуклого вверх диска. Достоинство конструкции — низкая материалоемкость.

Инерционный сепаратор выполнен в виде вертикального патрубка, соосно установленного внутри перевернутого цилиндрического стакана (рис. 2) [1]. Достоинства сепаратора — высокая эффективность и простота конструкции.



Инерционный сепаратор выполнен в виде пакета эквидистантно установленных вертикальных гофрированных листов с горизонтальными гофрами [1]. Радиус гофра составляет 6...12 мм, шаг расположения листов — 5...10 мм, высота пакета не превышает 0,15...0,18 м.

Многократным изменением направления движения газа и большой поверхностью контакта листов обеспечивается интенсивная коалесценция капель жидкости с образованием струй и пленок, свободно стекающих с пластин в контактную часть колонны. Достоинства сепаратора — достаточно высокая эффективность, низкое гидравлическое сопротивление (до 0,5 кПа).

В а. с. № SU1111797A1 в инерционном сепараторе установлен пакет вертикальных гофрированных полых листов с горизонтальными или вертикальными гофрами, в стенках листов выполнены отверстия или щели (расположенные вдоль гофра). При волнообразном движении газа между листами выделенные из газа капли жидкости через отверстия или щели попадают в полости листов, из которых направляются в коллектор, после чего выделенная из газового потока жидкость возвращается в контактную часть аппарата.

В заявке № EP2272579A1 в инерционном сепараторе установлен пакет вертикальных гофрированных листов с горизонтальными гофрами, на которых выполнены дискретные «карманы» для улавливания и отвода жидкости.

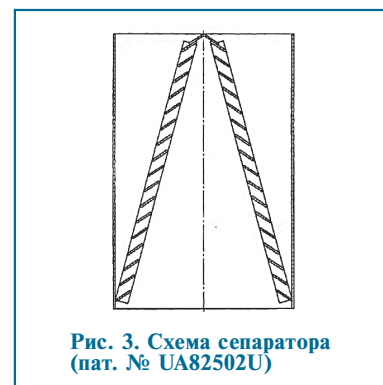
В пат. № UA60782A в инерционном сепараторе эквидистантно установлен пакет вертикальных гофрированных листов с горизонтальными гофрами, во впадинах которых уложен волокнистый материал. Выделенные из газового потока капли жидкости удерживаются волокнистым материалом, из которого удаляются под действием капиллярных сил в горизонтальном направлении и возвращаются в контактную часть колонны.

В пат. № UA40567U в более простом инерционном сепараторе эквидистантно установлен пакет вертикальных гофрированных листов с вертикальными гофрами, во впадинах которых выполнены продольные пазы. Выделенные из газового потока капли жидкости удерживаются в пазах впадин гофров и постепенно стекают в контактную часть колонны.

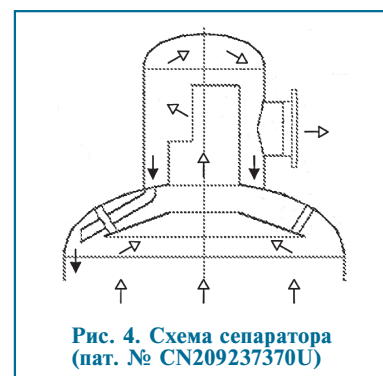
В пат. № CN209735618U инерционный сепаратор — в виде набора расположенных в горизонтальной

плоскости и перекрывающих друг друга уголков, направленных вершинами в одну сторону. Недостатки конструкции — низкие технологичность и ремонтпригодность из-за значительного числа уголков различной длины (при установке сепаратора в цилиндрической колонне).

В пат. № UA82502U инерционный сепаратор — в виде двух сходящихся кверху пакетов наклонных пластин (рис. 3). Недостатки — такие же, как в предыдущей конструкции. Кроме того, применение сепаратора существенно увеличивает высоту колонны.



В пат. № CN209237370U инерционный сепаратор — в виде закрепленных на эллиптической крышке двух соосных перевернутых стаканов, внутренний стакан выполнен с вырезом, обращенным в противоположную сторону от горизонтального штуцера для отвода газовой фазы (рис. 4). При этом в верхней части днища сепаратора



закреплена тарелка в виде усеченного конуса для предварительного отделения крупных капель.

В пат. № RU2363520C1 в центробежном прямоточном сепараторе последовательно расположены завихритель потока (в виде кольцевого диффузора с винтовыми лопатками), перфорированная труба и выпрямитель потока (в виде кольцевого конфузора). Снаружи перфорированной трубы расположены продольные сепарирующие лопатки, образующие кольцевой цилиндр для отделения капель жидкости.

Основной недостаток центробежных сепараторов — достаточно высокое гидравлическое сопротивление (до 0,01 МПа).

В пат. № RU2065317C1 сепаратор комбинированного действия выполнен в виде совокупности уложенных друг на друга пористых никелевых пластин, расположенных под углом к продольной вертикальной оси колонны, не меньшим угла стекания жидкости (рис. 5). Улавливание жидкости основано как на действии инерционных сил, так и на контакте капель со стенками пор пластин, коалесценции капель и их удалении под действием силы тяжести (стекании) в контактную часть колонны. Недостаток конструкции — повышенная скорость газа в верхней части пространства под сепаратором (между «приподнятой» частью сепаратора и корпусом колонны), поэтому не исключен проскок капель жидкости через пакет пористых пластин.

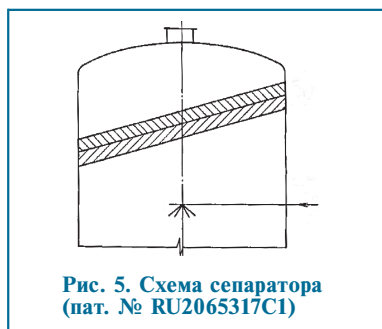


Рис. 5. Схема сепаратора (пат. № RU2065317C1)

По возможности изменения эффективности отделения капель — сепараторы постоянной эффектив-

ности и сепараторы регулируемой эффективности.

В пат. № UA40974U сепаратор содержит пакет эквидистантно установленных вертикальных гофрированных листов с вертикальными гофрами, листы стянуты резьбовыми шпильками с дистанционными втулками. Изменением длины втулок можно регулировать ширину каналов между листами, а значит — и эффективность отделения капель жидкости, что расширяет технологические возможности сепаратора.

В пат. № GB1053777A в сепараторе установлены (друг над другом) несколько горизонтальных перфорированных листов с прямолинейными гофрами треугольного поперечного сечения (рис. 6). Изменением числа листов (при этом соседние листы располагают под прямым углом относительно друг друга) также можно регулировать эффективность отделения капель жидкости.



Рис. 6. Схема сепаратора (пат. № GB1053777A)

По степени сборки сепаратора — сепараторы в виде детали, сборочной единицы, а также в виде совокупности отдельных элементов (например, слоя кускового материала).

Простейший по конструкции сепаратор выполнен в виде одной детали — круглого горизонтального диска, расположенного перед штуцером для вывода газового потока из колонны [4].

В пат. № CN2176179Y сепаратор — в виде свернутой (в форме диска) гофрированной ленты, гофры ленты (треугольного поперечного сечения) наклонены к вертикали под углом 30...45°. В сепараторе могут быть установлены (друг над другом) аналогичные диски, при этом

гофры соседних дисков наклонены в противоположные стороны. Достоинства конструкции — высокая эффективность разделения фаз, технологичность и компактность.

В пат. № CN205095810U гофры аналогичного сепаратора выполнены S-образными (с наклонными центральными и вертикальными концевыми участками) для снижения гидравлического сопротивления устройства (рис. 7).

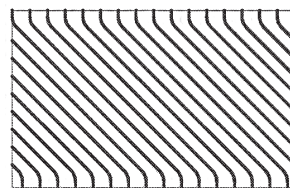


Рис. 7. Фрагмент развертки ленты дискового сепаратора (пат. № CN205095810U)

В пат. № UA110928U сепаратор насадочной массообменной колонны — в виде провальной тарелки с размещенным на ней слоем элементов насадки (нерегулярной или регулярной). Достоинства конструкции — использование в качестве сепаратора элементов насадки, аналогичных элементам контактной части массообменного аппарата, а также создание в аппарате дополнительной контактной зоны (хотя и менее эффективной).

В пат. № RU2440172C2 сепаратор — в виде нескольких ярусов элементов регулярной насадки, под каждым ярусом расположен сборник выделенной из газового потока жидкости, соединенный с общим коллектором для возврата жидкости в контактную часть колонны.

По степени подвижности элементов сепаратора — сепараторы с неподвижными элементами и с подвижными элементами.

В пат. № RU2473376C2 сепаратор массообменной колонны с подвижной (колеблющейся) насадкой выполнен в виде перфорированной конической оболочки с перфорированным днищем. Внутри оболочки размещены меньшие (по размеру) элементы насадки, чем элементы

насадки контактной части колонны. Над конической оболочкой смонтировано орошающее устройство. Недостаток сепаратора (в связи с расположением оросительного устройства на выходе газового потока из конической оболочки) — не исключается унос капель жидкости из колонны.

В пат. № RU2658037C1 вдоль вертикальной оси сепаратора последовательно расположены завихритель, конический рассекающий газового потока, приводной ротор, конический каплесборник. Недостатки устройства — вращающийся ротор и расход энергии на его вращение.

По материалу сепаратора — металлические, неметаллические и комбинированные сепараторы.

Наиболее распространены металлические сепараторы (листовые, сеточные, а также изготовленные в виде объемных конструкций).

Применяются также сепараторы из полимерных материалов. При подборе качественного состава и количественного состава композиционных материалов [5], а также

метода переработки материалов в изделия [6, 7], возможно изготовление сепараторов, обеспечивающих разделение самых разнообразных неоднородных смесей.

В пат. № FR 2035507A5 сепаратор выполнен из пористой керамики.

В пат. № DE 2308076A1 сепаратор — в виде набора сеток, выполненных из стальной проволоки, переплетенной с полимерными или стеклянными нитями.

От работы сепаратора, несмотря на вспомогательную функцию в процессе массопередачи, зависит эффективность массообменной колонны в целом. Поэтому поиск новых эффективных конструкций сепараторов продолжается, чему в немалой степени способствуют успехи в создании новых материалов, а также возможности высокопроизводительной вычислительной техники.

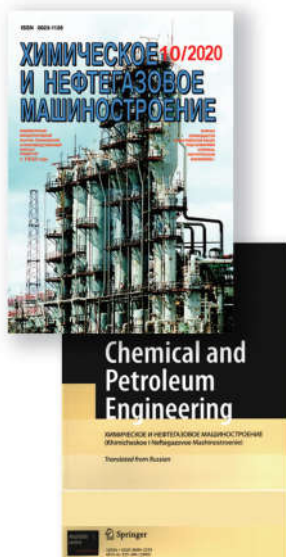
Список литературы

1. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В 2-х кн. М.: Химия. 1981.

812 с. 2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2-х кн. Ч. 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия. 1995. 368 с. 3. Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. Контактные элементы массообменных колонн. Киев: ИСХО. 1993. 440 с. 4. Микулёнок И.О. Механические, гидромеханические и массообменные процессы и оборудование химической технологии. Киев: НТУУ «КПИ». 2014. 340 с. 5. Микулёнок И.О. Классификация термопластических композиционных материалов и их наполнителей // Пластические массы. 2012. № 9. С. 29—38. 6. Mikulyonok I.O. Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. V. 51. N. 1—2. P. 14—19. 7. Mikulyonok I.O. Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. V. 48. N. 11—12. P. 658—661.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Выписывайте и читайте ежемесячный журнал
ХИМИЧЕСКОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
Подписку можно оформить в любом почтовом отделении
или через редакцию с любого месяца и на любой срок



Индекс журнала:

71042 — по каталогу Агентства «Роспечать»

38589 — по объединенному каталогу «Пресса России»

Стоимость подписки:

На 1 месяц.....1300 руб.

На 6 месяцев7800 руб.

На 12 месяцев.....15600 руб.

Стоимость электронной версии:

1 страница.....50 руб.

1 номер.....500 руб.

12 номеров.....5000 руб.

Журнал переводится на английский язык и переиздается под названием **Chemical and Petroleum Engineering**

Телефон редакции: 8 (915) 339-37-61

E-mail: himnef@mospolytech.ru

Сайт: <http://himnef.ru>