**Мембранные разделительные модули**

Для осуществления разделительного процесса должны быть организованы потоки исходной смеси, пермеата (фильтрата) и транзита (концентрата). Конструкции промышленных установок оказалось удобнее компоновать отдельными стандартными модулями из мембранных элементов, которые компактны и взаимозаменяемы. Большие разделительные аппараты и установки состоят, таким образом, из модулей, совокупность которых обеспечивает разделение исходного потока смеси.

Модули имеют разнообразную конструкцию, основными из которых являются: плоскорамные, рулонные и половолоконные.

Организация потоков в плоскорамном модуле и типичная конструкция модуля с плоскими мембранными элементами показана в приложении. В корпусе аппарата на трубчатом коллекторе герметично закреплены мембранные плоские элементы. Во фланцах находятся отверстия для ввода исходной смеси и отвода транзита (концентрата) соответственно. Между элементами параллельно расположены проставки, изготовленные из отрезков проволоки, сваренных в местах пересечения под углом 600, или же из ткани. Концы элементов утоплены в стенку из кремнийорганической смолы, полиуретана, эпоксидной или любой полимеризующейся смолы. Мембранный элемент (см. приложение) имеет пористую опору с полупроницаемой мембраной на противоположных концах. В центре элемента предусмотрено отверстие под коллектор. На мембранный элемент преимущественно круглой формы нанесена на концах по периферии смолистая масса для его герметизации. Это позволяет еще на стадии сборки, до введения элемента в корпус, проверить характеристики каждого элемента и герметичность их соединения со стенкой.

Рабочая поверхность мембранного элемента в сборе составляет 70%, остальная часть загерметизирована в стенке. Вариантом конструкции является мембранный элемент, сохраняющий все конструктивные единицы, но имеющий по периферии элемента два диаметрально противоположных скоса.

Модуль работает следующим образом: разделяемая смесь вводится через отверстие и далее последовательно проходит секции мембранного элемента в направлениях, указанных стрелками. При этом часть смеси проникает через мембрану и отводится из модуля через коллектор (пермеат, фильтрат). Непроникшая часть смеси (транзит, концентрат) выводится из модуля через отверстие. Данную конструкцию модуля с плоскими мембранными элементами можно считать базовой.

**Рулонный модуль.**

Мембранная упаковка разделительного модуля рулонного типа (приложение) состоит из гибких ленточных элементов. Основной элемент представляет собой непрерывную полосу проницаемой мембраны. Элемент, являющийся опорой для мембраны и служащий для разделения потоков, выполнен в виде гибкой пластмассовой ленты. Продольные каналы предназначены для подвода перерабатываемой смеси, а поперечные – для отвода пермеата (фильтрата). Мембрана вместе с гибкой опорой наматывается на перфорированную трубу.

Мембранная рулонная упаковка помещается в корпус (приложение), в котором может быть размещено несколько таких упаковок.

Модули рулонного типа отличаются простотой изготовления. Их общим недостатком является сложность коллектирования потоков.

Модули из полых волокон представляют наибольший интерес по сравнению с мембранными модулями других видов, так как с их помощью можно создавать разделяющую поверхность 30 тыс. м2 в 1м3 половолоконной упаковки для разделения газовых смесей. Применение в качестве мембранных элементов полых волокон обеспечивает наибольшую удельную поверхность мембран в единице объема модуля, что способствует созданию компактных и высокопроизводительных аппаратов.

Конструкция половолоконных разделительных модулей развивается в двух направлениях:

безопорная укладка волокон в корпусе;

укладка волокон на опорную трубу, которая служит также распределителем потоков смеси.

Вертикальный вариант модуля с безопорной укладкой полых волокон может содержать до 1 млн. волокон в зависимости от их толщины и требуемой производительности модуля. Один конец каждого волокна в пучке заделан в трубной решетке, и каналы полых волокон сообщаются с нижним (выходным) штуцером. Трубная решетка (заделка) пучка полых волокон может формоваться заливкой герметизирующего материала вокруг пучка или путем пропитки концов волокон герметизирующим материалом в процессе компоновки полых волокон с образованием пучка. В качестве герметизирующихся материалов используются отвержденные жидкие составы полимеров (эпоксидные смолы, уретаны и т.д.), припои, клеи, воски.

Верхний конец каждого волокна заделывается так же, как и в трубчатой решетке, за исключением того, что каналы полых волокон не сообщаются через заглушку (заперты). Данное уплотнение может свободно перемещаться в продольном направлении и собственно массой обеспечивает продольное уплотнение пучка волокон на 0,5%. Наружный диаметр волокон составляет 150 – 800 мкм, А толщина стенки волокон зависит от прочностных характеристик материала и может составлять 50–300 мкм. Эффективная длина полых волокон может варьироваться в широких пределах от 0,2 до 20 м.

Ввод исходного потока высокого давления осуществляется через питательный штуцер вблизи днища с внешней стороны волокон, поскольку полое полимерное волокно обычно лучше противостоит давлению сжатия, чем внутреннего расширения. Поток смеси распределяется радиально в направлении от питательной зоны и поднимается вдоль оси, обтекая полые волокна. Компоненты, проникшие через мембрану (пермеат), проходят вниз по полости внутри волокон, противотоком к течению исходной смеси. Поток (транзит), который не проникает через мембраны, выходит из модуля сверху при давлении, почти равном давлению в питающем потоке.

Разработаны также варианты горизонтального модуля, в которых для плотного продольного прилегания пучка волокон к внутренней поверхности корпуса между заглушкой и днищем устанавливается неупругая вставка или пружина.

**Модуль с укладкой волокон на опорную трубу.**

Конструкция мембранного половолоконного модуля с укладкой волокон на опорную трубу (см. приложение) состоит из корпуса, половолоконной упаковки на опорной перфорированной трубе, штуцеров, уплотнителей, клеевых блоков, крышек и уплотнительных колец. Такая конструкция позволяет работать разделителю, как в горизонтальном, так и в вертикальном положении, при подаче исходной смеси как внутрь, так и снаружи волокон (см. приложение). Для подачи снаружи волокон исходную смесь направляют в перфорированную трубу, откуда она подается в межволоконное пространство. Проникая внутрь волокон и обогащаясь легкопроникающим компонентом, смесь выходит через патрубок верней и нижней крышек модуля. Непроникшая смесь, обедненная легкопроникающим компонентом. Отводится через боковой патрубок.

**Типовые схемы соединения разделительных модулей**

Параллельное и последовательное соединения модулей

Выпускаемые промышленные мембранные модули включают ряд типоразмеров, и обычно установки мембранного разделения состоят из нескольких модулей. Поэтому выбор оптимальной схемы соединения модулей является важной задачей при проектировании. Способ соединения модулей зависит от требований к конечному продукту, характеристик исходного потока смеси ее давления и других факторов.

При параллельном соединении модулей возможно отключение любого из них без изменения условий работы других модулей, поскольку смесь поступает из одного коллектора, и все модули находятся в одинаковых условиях. Однако даже небольшое отличие модулей по гидравлическому сопротивлению вызывает снижение степени извлечения и чистоты целевого компонента.

При последовательном соединении модулей получают несколько продуктов различной чистоты, при этом модули, установленные в конце технологической линии, работают с более низким коэффициентом полезного действия.

**Каскадные схемы.**

Применение параллельно-последовательной схемы подключения модулей позволяет достичь высокой степени извлечения и чистоты целевого продукта в широком интервале нагрузок. Для достижения высокой чистоты по проникшему или не проникшему сквозь мембрану продукту используют каскадные схемы соединения модулей. Более эффективными являются каскадные схемы с рециркуляцией обедненных целевым компонентом потоков. В таких каскадных схемах эффективность работы системы зависит не только от КПД отдельной ступени, который определяется материалом мембраны и способом организации потоков в модуле, но и в значительной степени от направления материальных потоков между разделительными ступенями.