Министерство образования и науки Республики Казахстан

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Биолого-химический факультет

Кафедра химии и химических технологий

# КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Проектирование абсорбционной установки

**Введение**

Абсорбцией называется процесс избирательного поглощения компонентов из газовой или паровой смеси жидким поглотителем, в котором данный компонент растворим. Абсорбция, как правило, означает поглощение газов в объёме жидкости или реже твёрдого тела. Поглощение твёрдым абсорбентом, например, водорода палладием, называют окклюзией. Для процесса поглощения молекул газа или жидкости поверхностью твёрдого тела в русском языке используется термин адсорбция.

На практике абсорбции подвергают не отдельные газы, а газовые смеси, составные части которых поглощаются жидкостью. Эти составные части смеси называют абсорбируемыми компонентами (адсорбат), а непоглощаемые части — инертным газом.

Поглощаемое вещество, ещё находящееся в объёме фазы, называют адсорбтив, поглощённое — адсорбат. В более узком смысле под адсорбцией часто понимают поглощение примеси из газа или жидкости твёрдым веществом — адсорбентом. При этом, как и в общем случае адсорбции, происходит концентрирование примеси на границе раздела адсорбент-жидкость либо адсорбент-газ. Процесс, обратный адсорбции, то есть перенос вещества с поверхности раздела фаз в объём фазы, называется десорбция.

Различают физическую абсорбцию и хемосорбцию. При физической абсорбции растворение газа (пара) не сопровождается химической реакцией. Абсорбция протекает до тех пор, пока парциальное давление поглощаемого компонента в газовой (паровой) фазе остаётся выше равновесного давления над раствором. При хемосорбции (абсорбции, сопровождаемой химической реакцией) поглощаемый компонент вступает в необратимую химическую реакцию с поглотителем и образует химическое соединение.

Протекание абсорбционных процессов характеризуется их статикой и кинетикой. Статика абсорбции, т. е. равновесие между жидкой и газовой фазами, определяет состояние, которое устанавливается при весьма продолжительном соприкосновении фаз. Кинетика абсорбции определяется движущей силой процесса, т. е. степенью отклонения системы от состояния равновесия, свойствами поглотителя, компонента и инертного газа, а также способом соприкосновения фаз. Всякое плотное тело сгущает довольно значительно прилегающие непосредственно к его поверхности частицы окружающего его газообразного вещества. Если такое тело пористо, как например древесный уголь или губчатая платина, то это уплотнение газов имеет место и по всей внутренней поверхности его пор, а тем самым, следовательно, и в гораздо более высокой степени. Вот наглядный пример этого: если взять кусок свежепрокалённого древесного угля, бросить его в бутылку, содержащую углекислый или другой газ, и закрыв её сейчас же пальцем опустить отверстием вниз в ртутную ванну, то мы вскоре увидим, что ртуть поднимается и входит в бутылку; это прямо доказывает, что уголь поглотил углекислоту или иначе наступило уплотнение, абсорбция газа. При всяком уплотнении выделяется тепло; поэтому, если уголь растереть в порошок, что, например, практикуется при фабрикации пороха, и оставить лежать в куче, то от происходящего здесь поглощения воздуха масса так нагревается, что может произойти самовоспламенение. На этом именно согревании, зависящем от абсорбции, основано устройство платиновой горелки Дёберейнера. Находящийся там кусок губчатой платины уплотняет так сильно кислород воздуха и направленную на него струю водорода, что сам постепенно начинает накаливаться и наконец воспламеняет водород. Вещества, которые абсорбируют — поглощают из воздуха водяной пар, сгущают его тоже в себе, образуя воду, и от этого становятся влажными, как, например, нечистая поваренная соль, поташ, хлористый кальций и т. п. Такие тела зовутся гигроскопическими. Абсорбция газов пористыми телами была впервые замечена и изучена почти одновременно Фонтаном и Шееле в 1777 г., а затем подвергалось исследованию многими физиками, а особенно Соссюра в 1813 г. Последний, как на самых жадных поглотителей, указывает на буковый уголь и пемзу (морская пенка). Один объём такого угля при атмосферном давлении в 724 мил. поглотил 90 объёмов аммиака, 85 — хлористого водорода, 25 — углекислоты, 9,42 — кислорода; пемза при таком же сравнении оказала немного менее поглотительной способности, но во всяком случае это тоже один из лучших абсорбентов. Чем легче газ сгущается в жидкость, тем сильнее он поглощается. При малом наружном давлении и при нагревании — уменьшается количество поглощаемого газа. Чем мельче поры поглотителя, т. е. чем он плотнее, тем большею, в общем, он обладает поглотительной способностью; слишком однако же мелкие поры, как напр. графита, не благоприятствуют абсорбции. Органически уголь поглощает не только газы, но и мелкие твёрдые и жидкие тела, а потому и употребляется для обесцвечивания сахара, очистки алкоголя и т. д. Вследствие абсорбции всякое плотное тело окружено слоем уплотнённых паров и газов. Эта причина, по Вайделю, может служить для объяснения открытого Мозером в 1842 г. любопытного явления так называемых потовых картин, то есть получаемых при дыхании на стекло. А именно, если приложить клише или какой-нибудь рельефный рисунок к полированной стеклянной плоскости, затем, отняв её, подышать на это место, то на стекле получается довольно точный снимок рисунка. Это происходит от того, что при лежании на стекле клише газы близ поверхности стекла распределились неравномерно, в зависимости от нанесённого на клише рельефного рисунка, а потому и водяные пары, при дыхании на это место, распределяются тоже в таком порядке, а охладившись и осев, и воспроизводят данный рисунок. Но если нагреть предварительно стекло или клише, и рассеять таким образом уплотнённый близ них слой газов, то уже таких потовых рисунков получить нельзя.

Кроме твёрдых тел поглощать могут и жидкости, особенно если их смешать вместе в каком-нибудь сосуде. 1 объём воды может при 15° С и 744 мил. давления растворить в себе, абсорбировать 1/50 объёма атмосферного воздуха, 1 объём углекислоты, 43 объёма сернистого газа и 727 объёмов аммиака. Объём газа, который про 0° С и 760 мил. барометрического давления поглощается единицею объёма жидкости, называется коэффициентом поглощения газа для этой жидкости. Коэффициент этот для различных газов и различных жидкостей — различен. Чем выше наружное давление и ниже температура, тем больше растворяется в жидкости газа, тем больше коэффициент поглощения. Твёрдые и жидкие тела абсорбируют в данное время различные количества газов, а потому и можно вычислить количества поглощаемого газа для каждой отдельной жидкости. Изучение абсорбции газов жидкостями начато было Анри (1803) и затем двинуто дальше Соссюром (1813) и В. Бунзеном («Gasometrische Methoden», Брауншвейг, 1857, 2 изд., 1877). — Причина абсорбции состоит во взаимном притяжении молекул тел абсорбирующего и абсорбируемого.

Абсорбция — процесс избирательного поглощения компонентов газовой смеси жидким поглотителем (абсорбентом). Процесс абсорбции происходит в том случае, когда парциальное давление извлекаемого компонента в газовой смеси выше, чем в жидком абсорбенте, вступающем в контакт с этим газом, т.е. для протекания абсорбции необходимо, чтобы газ и абсорбент не находились в состоянии равновесия. Различие в парциальном давлении извлекаемого компонента в газе и жидкости является той движущей силой, под действием которой происходит поглощение (абсорбция) данного компонента жидкой фазой из газовой фазы. Чем больше эта движущая сила, тем интенсивнее переходит этот компонент из газовой фазы в жидкую.

По своей природе различают два вида абсорбции: физическую, при которой извлечение компонентов из газа происходит благодаря их растворимости в абсорбентах и химическую (хемосорбцию), основанную на химическом взаимодействии извлекаемых компонентов с активной частью абсорбента. Скорость физической абсорбции определяется диффузионными процессами, скорость хемосорбции зависит от скорости диффузии и химической реакции.

Поглощение компонентов газовой смеси при абсорбции сопровождается выделением тепла, величина которого пропорциональна массе и теплоте растворения qA поглощенных компонентов.

Процесс абсорбции обратимый, поэтому он используется не только для получения растворов газов в жидкостях, но и для разделения газовых смесей. При этом после поглощения одного или нескольких компонентов газа из газовой смеси необходимо произвести выделение из абсорбента поглощенных компонентов, т.е. десорбцию.

При выборе абсорбента учитывают состав разделяемого газа, давление и температуру процесса, производительность установки. Выбор абсорбента определяется также его селективностью, поглотительной способностью, коррозионной активностью, стоимостью, токсичностью и другими факторами.

В нефтяной и газовой промышленности процесс абсорбции применяется для разделения, осушки и очистки углеводородных газов. Из природных и попутных нефтяных газов путем абсорбции извлекают этан, пропан, бутан и компоненты бензина; абсорбцию применяют для очистки природных газов от кислых компонентов — сероводорода, используемого для производства серы, диоксида углерода, серооксида углерода, сероуглерода, тиолов (меркаптанов) и т.п.; с помощью абсорбции также разделяют газы пиролиза и каталитического крекинга и осуществляют санитарную очистку газов от вредных примесей.

В качестве абсорбентов при разделении углеводородных газов используют бензиновые или керосиновые фракции, а в последние годы и газовый конденсат, при осушке — диэтиленгликоль (ДЭГ) и триэтиленгликоль (ТЭГ). Для абсорбционной очистки газов от кислых компонентов применяют N-метил-2-пирролидон, гликоли, пропиленкарбонат, трибутилфосфат, метанол; в качестве химического поглотителя используются моно- и диэтаноламины.

В отличие от ректификации процесс абсорбции протекает в основном однонаправленно, т.е. абсорбент можно считать практически нелетучим. В случае абсорбции многокомпонентной газовой смеси на некоторой ее стадии отдельные компоненты могут вытесняться другими поглощаемыми компонентами. В результате наряду с процессом абсорбции будет протекать процесс частичной десорбции некоторых компонентов, что приведет к распределению компонентов между газовой и жидкой фазами, обусловленному обоими указанными процессами.

Абсорбция (десорбция) – диффузионный процесс, в котором участвуют две фазы: газовая и жидкая. Движущей силой процесса абсорбции (десорбции) является разность парциальных давлений поглощаемого компонента в газовой и жидкой фазах, который стремится перейти в ту фазу, где его концентрация меньше, чем это требуется по условию равновесия.

Обозначим парциальное давление поглощаемого компонента в газовой фазе через рг, а парциальное давление того же компонента в газовой фазе, находящейся в равновесии с абсорбентом, через рр. Если рг > рр, то компонент газа переходит в жидкость, т.е. протекает процесс абсорбции (рис. VI-1, а). Если рг < рр, то поглощенные компоненты газа переходят из абсорбента в газовую фазу, т.е. осуществляется процесс десорбции.

Чем больше величина рг – рр, тем интенсивнее осуществляется переход компонента из газовой фазы в жидкую. При приближении системы к состоянию равновесия движущая сила уменьшается, и скорость перехода компонента из газовой фазы в жидкую замедляется.

Поскольку парциальное давление компонента пропорционально его концентрации, то движущая сила процесса абсорбции или десорбции может быть выражена также через разность концентраций компонента в газовой

Dу = y – ур или жидкой фазе Dх = хр – х.

Количество вещества М, поглощаемого в единицу времени при абсорбции или выделяемого при десорбции, прямо пропорционально поверхности контакта газовой и жидкой фаз F, движущей силе процесса и коэффициенту пропорциональности К, зависящему от гидродинамического режима процесса и физико-химических свойств системы.

Уравнение массопередачи при абсорбции можно записать в виде:

M = Kp F (pг – pp) = Ky F (y – yp) = Kx F (xp – x) (VI. 1) или

Kp (pг – pp) = Ky (y – yp) = Kx (xp – x).

Коэффициент К называется коэффициентом массопередачи при абсорбции и характеризует массу вещества, переданную в единицу времени через единицу поверхности контакта фаз при движущей силе, равной единице.

Единица измерения величины К зависит от единиц измерения составляющих, входящих в уравнение (VI.1). Так, например, если измерять массу поглощенного компонента в кг/ч, поверхность контакта фаз в м2, а движущую силу процесса абсорбции в МПа, то из уравнения (VI.1) получим единицу измерения К в кг/(м2 Ч МПа Ч ч).

Рис. VI-1. Схема переноса компонентов при контакте газа с абсорбентом

Для проведения процесса абсорбции применяют абсорбционные установки, основным элементом которых являются абсорбционные аппараты.

Абсорбционные аппараты классифицируются в зависимости от технологического назначения, давления и вида внутреннего устройства, обеспечивающего контакт газа (пара) и жидкости.

По технологическому назначению абсорбционные аппараты подразделяются на аппараты установок осушки, очистки газа, газораспределения и т. д.

В зависимости от внутреннего устройства различают тарельчатые, насадочные, распылительные, роторные (механические), поверхностные и каскадные абсорберы. Наиболее широко распространены тарельчатые и насадочные аппараты.

В зависимости от применяемого давления аппараты подразделяются на вакуумные, атмосферные и работающие под давлением выше атмосферного.

При выборе типа аппарата следует учитывать технологические требования к процессу и его экономические показатели.

Плёночные аппараты, к которым относятся также абсорберы с регулярной насадкой, незаменимы при проведении процесса в условиях разложения, поскольку их гидравлическое сопротивление самое низкое. Плёночные и насадочные колонны предпочтительнее также для обработки коррозионных сред и пенящихся жидкостей.

Тарельчатые колонны удобны для крупнотоннажных производств при относительно малых расходах жидкости, недостаточных для равномерного смачивания насадки, а также для процессов, сопровождающихся колебаниями температуры, так как периодическое расширение и сжатие корпуса может разрушить хрупкую насадку. На тарелках проще установить змеевики для подвода и отвода теплоты. Тарельчатые колонны также применяются при обработке потоков с твёрдыми примесями или при выделении твёрдого осадка.

Адсорбция — всеобщее и повсеместное явление, имеющее место всегда и везде, где есть поверхность раздела между фазами. Наибольшее практическое значение имеет адсорбция поверхностно-активных веществ и адсорбция примесей из газа либо жидкости специальными высокоэффективными адсорбентами. В качестве адсорбентов могут выступать разнообразные материалы с высокой удельной поверхностью: пористый углерод (наиболее распространённая форма — активированный уголь), силикагели, цеолиты а также некоторые другие группы природных минералов и синтетических веществ.

Адсорбция (особенно хемосорбция) играет также важное значение в гетерогенном катализе. Области применения абсорбционных процессов в промышленности весьма обширны: получение готового продукта путем поглощения газа жидкостью; разделение газовых смесей на компоненты; очистка газов от вредных примесей; улавливание газовых компонентов из газовых выбросов.

Основная сложность при проектировании абсорберов заключается в правильном выборе расчетных закономерностей для определения кинетических коэффициентов из большего труда различных, порой противоречивых, зависимостей, представленных в технической литературе. Расчеты по этим уравнениям, обычно справедливы для частных случаев приводят зачастую к различающимся, а иногда к заведомо неверным результатам. Рекомендуемые здесь уравнения выбраны после тщательного анализа и сравнительных расчетов в широком интервале переменных, проверки адекватности расчетных данных опытным, полученным на реальных системах.

На сегодняшний день абсорбция занимает одно из почетнейших мест в промышленном мире.

**1 Физико-химические основы процесса**

В процессе абсорбции содержание газа в растворе зависит от свойств газа и жидкости, температуры, давления и состава газовой фазы.

В результате растворения в жидкости бинарной газовой смеси (распределяемый компонент А, носитель В) взаимодействуют две фазы (Ф = 2), число компонентов равно трем (К = 3) и, согласно правилу фаз, число степеней свободы системы равно трем.

В системе газ – жидкость переменными являются температура, давление и концентрации в обеих фазах. Таким образом, в состоянии равновесия при постоянных значениях температуры и общего давления зависимость между парциальным давлением газа (или его концентрацией) и составом жидкой фазы однозначна. Данная зависимость выражается через закон Генри, согласно которому парциальное давление растворенного газа пропорционально его мольной доле в растворе или растворимость газа (поглощаемого компонента) в жидкости при данной температуре пропорциональна его парциальному давлению над жидкостью:

Значения коэффициента Генри для данного газа зависят от природы поглотителя и газа и от температуры, но не зависят от общего давления в системе.

Для идеальных растворов на диаграмме зависимость равновесных концентраций от давления изображается прямой, имеющей наклон, равный коэффициенту Генри. С повышением температуры увеличивается значение коэффициента Генри и соответственно уменьшается растворимость газа в жидкости. Таким образом, растворимость газа в жидкости увеличивается с повышением давления и снижением температуры.

Когда в равновесии с жидкостью находится смесь газов, закону Генри может следовать каждый из компонентов смеси в отдельности.

Закон Генри применим к растворам газов, критические температуры которых выше температуры раствора, и справедлив только для идеальных растворов. Поэтому он с достаточной точностью применим лишь к сильно разбавленным реальным растворам, приближающимся по свойствам к идеальным, то есть соблюдается при малых концентрациях растворенного газа или при его малой растворимости. Для хорошо растворимых газов, при больших концентрациях их в растворе, растворимость меньше, чем следует из закона Генри. Для систем, не подчиняющихся этому закону, линия равновесия представляет собой кривую, которую строят обычно по опытным данным.

**2 Устройство абсорбционных аппаратов**

Абсорберы - аппараты, в которых осуществляются абсорбционные процессы. Подобно другим процессам массопередачи, абсорбция протекает на поверхности раздела фаз. Поэтому абсорберы должны иметь развитую поверхность соприкосновения между жидкостью и газом. По способу образования этой поверхности абсорберы условно разделяются на следующие 4 группы:

– поверхностные и пленочные;

– насадочные;

– барботажные (тарельчатые);

– распыливающие.

Поверхностные абсорберы. Эти абсорберы используют для поглощения хорошо растворимых газов. В указанных аппаратах газ проходит над поверхностью неподвижной или медленно движущейся жидкости. Так как поверхность соприкосновения в таких абсорберах мала, то устанавливают несколько последовательно соединенных аппаратов, в которых газ и жидкость движутся противотоком друг к другу. Для того, чтобы жидкость перемещалась по абсорберам самотеком, каждый последующий по ходу жидкости аппарат располагают несколько ниже предыдущего. Для отвода тепла, выделяющегося при абсорбции, в аппаратах устанавливают змеевики, охлаждаемые водой или другим охлаждающим агентом, либо помещают абсорберы в сосуды с проточной водой.

Пленочные абсорберы. Эти аппараты более эффективны и компактны, чем поверхностные абсорберы. В пленочных абсорберах поверхностью контакта фаз является поверхность текущей пленки жидкости. Различают следующие разновидности аппаратов данного типа: трубчатые абсорберы, абсорберы с плоско – параллельной или листовой насадкой, абсорберы с восходящим движением пленки жидкости.

Насадочные абсорберы. Одним из наиболее распространенных абсорберов поверхностного типа является насадочный колонный аппарат. Он отличается простотой устройства и пригодностью к работе с агрессивными средами. Его применение допустимо как в тех случаях, когда массообмен контролируется диффузионным сопротивлением жидкой фазы, так и тогда, когда решающим является сопротивление газовой фазы. Насадочные абсорберы представляют собой колонны, загруженные насадкой – твердыми телами различной формы; при наличии насадки увеличивается поверхность соприкосновения газа и жидкости. В насадочной колонне насадка укладывается на опорные решетки, имеющие отверстия или щели для прохождения газа и стока жидкости. Последняя с помощью распределителя равномерно орошает насадочные тела и стекает вниз. В насадочной колонне жидкость течет по элементу насадки в виде тонкой пленки, поэтому поверхностью контакта фаз является в основном смоченная поверхность насадки, и насадочные аппараты можно рассматривать как разновидность пленочных. Однако в последних пленочное течение жидкости происходит по всей высоте аппарата, а в насадочных абсорберах – только по высоте элемента насадки.

Барботажные (тарельчатые) абсорберы. Тарельчатые абсорберы представляют собой вертикальные колонны, внутри которых размещены горизонтальные перегородки – тарелки. С помощью тарелок осуществляется направленное движение фаз и многократное взаимодействие жидкости и газа. В барботажных абсорберах газ выходит из большого числа отверстий и барботируется через слой жидкости либо в виде отдельных пузырьков (при малых скоростях газа), либо в виде струй (при повышенных скоростях газа), переходящих все же в поток пузырьков на некотором расстоянии от точки истечения газа. В результате образуется газожидкостная (гетерогенная) система нижняя часть, которой состоит из слоя жидкости с распределенными в ней газовыми пузырьками, средняя – из слоя ячеистой пены, а верхняя – из зоны брызг, возникающих при разрыве оболочек уходящих газовых пузырей. Высоты этих слоев изменяются со скоростью газа; с ее возрастанием уменьшается нижний слой и увеличивается средний (в пределах зависящих от физических свойств жидкости).

Структуру газожидкостного слоя можно охарактеризовать его высотой, газосодержанием и размером газовых пузырьков. При истечении газа из одиночного затопленного отверстия с определенным диаметром, скорость которого ниже известного предела образуются одиночные свободно всплывающие пузырьки, диаметр которых, в рассматриваемом режиме, не зависит от расхода газа. Заметим, однако, что при интенсивном истечении газа образуются пузырьки различных размеров, которые при подъеме обычно деформируются, приобретая эллипсоидальную и полусферическую форму. Кроме того, газовые пузырьки имеют вертикальную траекторию движения (иногда даже спиральную).

Уровень жидкости при ее движении вдоль барботажной тарелки на пути от входа до перетока понижается на некоторую величину, вследствие гидравлического сопротивления. Это приводит к неравномерному распределению газового потока по сечению абсорбера; большие количества газа будут проходить там, где высота слоя жидкости меньше.

Площадь живого сечения переточного устройства (трубы, сегмента) определяется по объемному расходу жидкости и ее скорости, принимаемой во избежании захвата газа не выше 0,10 – 0,12 м/с.

Тарельчатые колонны удобны для крупнотоннажных производств при относительно малых расходах жидкости, недостаточных для равномерного смачивания насадки, а также для процессов, сопровождающихся колебаниями температуры, так как периодическое расширение и сжатие корпуса может разрушить хрупкую насадку. На тарелках проще установить змеевики для подвода и отвода теплоты. Тарельчатые колонны также применяются при обработке потоков с твердыми примесями или при выделении твердого осадка.

По способу слива жидкости с тарелок барботажные абсорберы можно подразделить на колонны с тарелками со сливными устройствами и без них.

Тарельчатые колонны со сливными устройствами. В этих колоннах перелив жидкости с тарелки на тарелку осуществляется при помощи специальных устройств – сливных трубок, карманов и др. Нижние концы трубок погружены в стакан на нижерасположенных тарелках и образуют гидравлические затворы, исключающие возможность прохождения газа через сливное устройство.

К тарелкам со сливными устройствами относятся: ситчатые, колпачковые, клапанные, балластные и пластинчатые.

Гидродинамические режимы работы тарелок. В зависимости от скорости газа и плотности орошения различают три основных гидродинамических режима работы барботажных тарелок: пузырьковый, пенный, струйный, или инжекционный. Эти режимы отличаются структурой барботажного слоя, которая в основном определяет его гидравлическое сопротивление и высоту, а также поверхность контакта фаз.

Пузырьковый режим. Наблюдается при небольших скоростях газа, когда он движется сквозь слой жидкости в виде отдельных пузырьков. Поверхность контакта фаз на тарелке невелика.

Пенный режим. С увеличением расхода газа выходящие из отверстия и прорези отдельные пузырьки сливаются в сплошную струю, которая на определенном расстоянии от места истечения разрушается вследствие сопротивления барботажного слоя с образованием большого количества пузырьков. При этом на тарелке возникает газожидкостная дисперсная система – пена, которая является нестабильной и разрушается сразу же после прекращения подачи газа. В указанном режиме контактирование газа и жидкости происходит на поверхности пузырьков и струй газа, а также на поверхности капель жидкости, которые в большом количестве образуются над барботажным слоем при выходе пузырьков газа из барботажного слоя и разрушении их оболочек.

Струйный (инжекционный) режим. При дальнейшем увеличении скорости газа длина газовых струй увеличивается, и они выходят на поверхность барботажного слоя, не разрушаясь и образуя большое количество крупных брызг. Поверхность контакта фаз в условиях такого гидродинамического режима резко снижается.

*Ситчатые тарелки*. Газ проходит сквозь отверстия тарелки и распределяется в жидкости в виде мелких струек и пузырьков. Газ должен двигаться с определенной скоростью и иметь давление, достаточное для того, чтобы преодолеть давление слоя жидкости на тарелке и предотвратить стекание жидкости через отверстия тарелки. Ситчатые тарелки отличаются простотой устройства, легкостью монтажа, осмотра и ремонта. Гидравлическое сопротивление этих тарелок невелико. Ситчатые тарелки устойчиво работают в широком интервале скоростей газа, причем в определенном диапазоне нагрузок по газу и жидкости эти тарелки обладают высокой эффективностью. Вместе с тем ситчатые тарелки чувствительны к загрязнениям и осадкам, которые забивают отверстия тарелок. В случае внезапного прекращения поступления газа или значительного снижения его давления с ситчатых тарелок сливается вся жидкость, и для возобновления процесса требуется вновь запускать колонну. Разновидностью абсорберов с ситчатыми тарелками являются пенные абсорберы.

*Колпачковые тарелки*. Газ барботирует через жидкость, выходя из прорезей колпачков, расположенных на каждой тарелке. В прорезях газ дробится на мелкие струйки, которые на выходе из прорези почти сразу поднимаются вверх и, проходя через слои жидкости на тарелке, сливаются друг с другом (рисунок 1).

Рисунок 1 – Колонна с колпачковыми тарелками

1 – тарелка; 2 – патрубки; 3 – колпачки; 4 – переливные трубы

В колонне с колпачковыми тарелками находятся тарелки 1, с патрубками 2, закрытые сверху колпачками 3. Нижние края колпачков снабжены зубцами или прорезями в виде узких вертикальных щелей. Жидкость перетекает с тарелки на тарелку через переливные трубы 4. Уровень жидкости на тарелке соответствует высоте, на которую верхние концы переливных труб выступают над тарелкой. Чтобы жидкость перетекала только по переливным трубам, а не через патрубки 2, верхние концы патрубков должны быть выше уровня жидкости. Нижние края колпачков погружены в жидкость так, чтобы уровень жидкости был выше верха прорезей.

Газ проходит по патрубкам 2 в пространство под колпачками и выходит через отверстие между зубцами или через прорези в колпачках, барботируется в слой жидкости.

Чтобы газ не попадал в переливные трубы и не препятствовал, таким образом, нормальному перетоку жидкости с тарелки на тарелку, нижние концы переливных труб опущены под уровень жидкости. Благодаря этому создается гидрозатвор, предотвращающий прохождение газа через переливные трубы.

Колпачковые тарелки менее чувствительны к загрязнениям, чем колонны с ситчатыми тарелками, и отличаются более высоким интервалом устойчивой работы колонны с колпачковыми тарелками. Колпачковые тарелки устойчиво работают при значительных изменениях нагрузок по газу и жидкости. К их недостаткам следует отнести сложность устройства и высокую стоимость, низкие предельные нагрузки по газу, относительно высокое гидравлическое сопротивление, трудность очистки. Для нормальной работы колпачковых тарелок необходимо, чтобы все прорези в колпачках были открыты для равномерного прохода газа. Это условие достигается при скорости движения газа больше чем 0,6 м/с.

Клапанные тарелки. Принцип действия состоит в том, что свободно лежащий над отверстием в тарелке круглый клапан с изменением расхода газа своим весом автоматически регулирует величину площади зазора между клапаном и плоскостью тарелки для прохода газа и тем самым поддерживает постоянной скорость газа при его истечении в барботажный слой. При этом с увеличением скорости газа в колонне гидравлическое сопротивление клапанной тарелки увеличивается незначительно.

Балластные тарелки. Отличаются по устройству от клапанных тем, что в них между легким круглым клапаном и кронштейном-ограничителем установлен на коротких стойках, опирающихся на тарелку, более тяжелый, чем клапан, балласт. Клапан начинает подниматься при небольших скоростях газа. С дальнейшим увеличением скорости газа клапан упирается в балласт и затем поднимается вместе с ним. Балластные тарелки отличаются более равномерной работой и полным отсутствием провала жидкости во всем интервале скоростей газа.

Достоинства клапанных и балластных тарелок: сравнительно высокая пропускная способность по газу и гидродинамическая устойчивость, постоянная и высокая эффективность в широком интервале нагрузок по газу. Последнее достоинство является особенностью клапанных и балластных тарелок по сравнению с тарелками других конструкций. К недостаткам этих тарелок следует отнести их повышенное гидравлическое сопротивление, обусловленное весом клапана или балласта.

Пластинчатые тарелки. Эти тарелки, в отличие от тарелок, рассмотренных выше, работают при одноправленном движении фаз, то есть каждая ступень работает по принципу прямотока, что позволяет резко повысить нагрузки по газу и жидкости, в то время как колонна в целом работает с противотоком фаз. Достоинства пластинчатых тарелок: низкое гидравлическое сопротивление, возможность работы с загрязненными жидкостями, низкий расход металла при их изготовлении. Недостатки: трудность отвода и подвода тепла, снижение эффективности при небольших расходах жидкости.

**3 Описание процесса в технологической системе**

Бинарная газовая смесь с температурой 160(поток 4,9) подается турбокомпрессорами в теплообменник 9, где охлаждается до температуры 35 . Охлажденная смесь подается газодувкой 8 в нижнюю часть абсорбера 6, где равномерно распределяется по сечению колонны и поступает на контактные элементы (насадку). Абсорбент подается в верхнюю часть колонны центробежным насосом 4 из сборника 3. В колонне осуществляется противоточное взаимодействие газа и жидкости. Очищенный газ выходит из колонны в атмосферу. Абсорбент стекает через гидрозатвор в сборник 7, откуда насосом 5 отправляется на дальнейшую переработку. Для охлаждения газа в холодильник из градирни 2 подается насосом 1 вода, которая после холодильника возвращается на охлаждение в градирню. Схема автоматизирована. Цель системы автоматического регулирования определяется назначением процесса: очистка газа, поступающего в абсорбер или получение готового продукта. В данной работе рассматривается первая задача, в соответствии с которой основными регулируемыми параметрами являются: концентрация извлекаемого компонента в газовой смеси на выходе из абсорбера; температура газовой смеси, поступающей на абсорбцию; уровень жидкости в абсорбере.

В большинстве случаев расход газовой смеси определяется технологическим режимом, то есть абсорбционная установка должна переработать весь поступающий поток газа. Поэтому, например, при увеличении количества подаваемой в абсорбер газовой смеси возрастает концентрация извлекаемого компонента в газовой смеси на выходе из абсорбера. При помощи регулятора концентрации увеличивается подача абсорбента в абсорбер, что обеспечивает стабилизацию концентрации компонента в газовой смеси на выходе из абсорбера. Для оптимизации процесса абсорбции поддерживается низкая температура газовой смеси, поступающей в абсорбер, путем изменения расхода охлаждающей воды, подаваемой в холодильник газа 9. Уровень жидкости в колонне стабилизируется путем изменения отбора жидкости из неё. Системой автоматизации предусмотрена стабилизация уровней жидкости в сборниках. В процессе абсорбции при помощи КИП контролируются расходы, температуры, давления технологических потоков.

**4. Технологический расчет**

**4.1 Построение кривой равновесия и рабочей линии процесса**

Для определения числа теоретических единиц переноса необходимо в системе координат построить рабочую линию и линию равновесия.

По начальным и конечным концентрациям поглощаемого газа и поглотителя строим рабочую линию, т.е. прямую, которая проходит через точки с координатами (, ) и (,). Она расположена выше линии равновесия, т.к. при абсорбции содержание компонента в газовой фазе выше равновесного.

Выразим начальную и найдем конечную концентрации газовой фазы в единицах массовой концентрации; для этого переведём мольные доли в массовые, воспользовавшись формулой (2.1).

 (2.1),

 масс долей

Используя формулу (2.2), переведём массовые доли в относительные массовые доли.

 (2.2),

 относит масс долей

По формуле (2.3) определим концентрацию газа на выходе из абсорбера колонны.

 (2.3),

 относит масс долей

Для построения кривой равновесия задаём значения “” так, чтобы принятые значения включали в заданный интервал и . Значения указаны в таблице 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| y1 | y2 | y3 | y4 | y5 | y6 | y7 |
| 0.120 | 0.103 | 0.086 | 0.069 | 0.052 | 0.035 | 0.018 |

Для каждого принятого значения “” принимаем температуру (в зависимости от температуры в абсорбере). Данные указаны в таблице 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, оС | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| Eатм | 482,894 | 544,736 | 602,210 | 676,315 | 744,736 | 815,789 | 886,842 |

Пользуясь формулой (2.4) определяем для каждого значения “” парциальное давление компонента в парах над жидкостью.

 (2.4),

 атм

 атм

 атм

 атм

 атм

атм

 атм

Для каждого значения “” (концентрация компонента в газовой смеси) определим равновесное значение “” (концентрация компонента в поглотителе). Для определения используем формулу (2.5).

 (2.5),

 относит масс долей

 относит масс долей

 относит масс долей

 относит масс долей

 относит масс долей

 относит масс долей

По значения “” и “” строим линию равновесия.

В зависимости от степени поглощения газа поглотителем строим рабочую линию. Используя значения , , и . Значения и определим по формулам (2.6) и (2.7).

 (2.6),

 (2.7),

 относит масс долей

 относит масс долей

Доводим конечную концентрацию до 3,510-6

Из графика определяем, что количество тарелок в колонне равно 20.

**4.2 Материальный баланс**

Определим секундный расход газа, воспользовавшись формулой (2.8).

 (2.8),



По формуле (2.9) определим массовый расход газа.

ρг (2.9),

Используя формулу (2.10) определим плотность газа.

ρг = ρв = (2.10),

ρг

Определим расход поглотителя по формулу (2.11).

 (2.11),

Используя формулу (2.12) определим объёмный расход поглотителя.

 (2.12),



**4.3 Тепловой баланс**

Процесс абсорбции сопровождается выделением тепла.

Определим температуру газа на выходе из абсорбера, вычислив её по формуле (2.13).

 (2.13),

Определим теплоту растворения газа в воде по формуле (2.14)

 (2.14),

Из справочника находим значение



 оС

 оС

Так как разница между теплотой газа на входе и выходе незначительна, то, предусматривать отвод тепла нет необходимости.

**4.4 Конструктивный расчет**

Определим диаметр колонны по формуле (3.1)

 (3.1),

Воспользовавшись формулой (3.2) найдём оптимальную скорость газа в колонне.

 (3.2),





Из ряда стандартных диаметров принимаем диаметр колонны, равный 2200мм.

Уточним скорость газа.

Определим высоту колонны, вычислив её по формуле (3.3).

 (3.3),

при D = 2400 из справочника выписываем значения:

Высоту тарельчатой части колонны определим, используя формулу (3.4).

 (3.4),





**4.5 Подбор стандартных конструктивных элементов**

**4.5.1 Подбор крышки и днища**

Внутренний диаметр равен 2400 м

Высота борта равна 50 мм

Высота эллиптической части равна 600 мм

Внутренняя поверхность равна 6,63 м2

Внутренняя емкость равна 2,037 м3

Толщина стенки равна20 мм

Масса равна 1058 кг

**4.5.2 Подбор тарелок**

В барботажные абсорберах поверхность соприкосновения фаз развивается потоками газа, распределяющегося в жидкости в виде пузырьков и струек. Такое движение газа, называемое барботажем, осуществляется в тарельчатых колоннах с колпачковыми, ситчатыми или провальными тарелками.

Особенностью тарельчатых колонн является ступенчатый характер проводимого в них процесса – газ и жидкость последовательно соприкасаются на отдельных ступенях (тарелках) аппарата.

В зависимости от диаметра колонные аппараты изготовляют с тарелками различных типов. В колонну диаметром 2400 мм можно установить колпачковые тарелки типа ТСК-1.

Технические характеристики колпачковых тарелок типа ТСК-1 при диаметре, равном 2400 мм.

Свободное сечение колонны – 4,52 м2

Длина линии барботажа – 52,8 м

Периметр слива – 1,775 м

Свободное сечение тарелки – 0,557 м2

Относительная площадь для дохода паров – 12,3%

Масса - 240,8 кг

**4.6 Расчет штуцеров**

Подсоединение трубопроводов к сосудам и аппаратам осуществляется с помощью вводных труб или штуцеров. Штуцерные соединения могут быть разъемными (резьбовыми, фланцевыми, сальниковыми) и неразъемными (сварными, паяными, клеевыми). Наиболее распространены разъемные соединения с помощью фланцевых штуцеров. Стальные фланцевые штуцера представляют собой короткие куски труб с приваренными к ним фланцами либо с фланцами, удерживающимися на отбортовке, либо с фланцами, откованными за одно со штуцером. В зависимости от толщины стенок патрубки штуцеров могут быть тонкостенными и толстостенными. Типы штуцеров зависят от номинального (условного) давления и температуры среды.

Диаметр штуцеров рассчитывается по формуле:

Поскольку производительность колонны велика, поэтому для подачи и отвода газового потока предусматриваем по 3 штуцера.

 ,

,

К проектированию согласно для подачи и отвода газовой смеси примем из углеродистой стали наружным диаметром и толщиной стенки

**4.7 Расчет массы аппарата. Подбор опор**

Химические аппараты устанавливают на фундамент чаще всего с помощью опор. Аппараты, работающие в горизонтальном положении, независимо от того, где их монтируют (внутри помещения или вне его), устанавливают на седловых опорах. Аппараты вертикального типа, размещаемы на открытых площадках, оснащают юбочными опорами - цилиндрическими или коническими. Чаще всего юбочные опоры применяют для аппаратов колонного типа. Аппараты, устанавливаемые в помещении, могут монтироваться либо на подвесных лапах, либо на стойках.

Если аппарат устанавливают на полу того или иного этажа, то при соотношении высоты колонны к ее диаметру меньшим 5 используют опорные стойки, которые могут быть вертикальными или наклонными, круглого или некруглого сечения. Опорные стойки круглого сечения применяют, как правило, для аппаратов малых объемов. Чтобы сохранить прочность обечаек и днищ аппаратов при воздействии на них опорных нагрузок, между опорой и элементами аппарата иногда помещают специальную прокладку.

Число опор, определяемое конструктивными соображениями, проверяют расчетным путем: стоек должно быть не менее трех.

Масса колонны рассчитывается по формуле

Масса тарелок рассчитывается по формуле

Масса максимальной загрузки колонны рассчитывается по формуле

Масса максимальной нагрузки на опоры рассчитывается по формуле

Переведем нагрузку в Мега Ньютоны

Химические аппараты устанавливают на фундаменты чаще всего с помощью опор.

Аппараты вертикального типа с соотношением , размещаемые на открытых площадках, оснащают так называемыми юбочными опорами – цилиндрической или конической формы.

Так как соотношение , то мы вынуждены применить в качестве опоры юбочную цилиндрическую.

Юбочные опоры бывают цилиндрические или конические. Чаще всего цилиндрические юбочные опоры применяют для аппаратов колонного типа.

Конструкция юбочных опор позволяет устанавливать вертикальные колонны большой высоты и надежно фиксировать

**Заключение**

В данной работе была спроектирована абсорбционная установка с разработкой тарельчатой колонны для извлечения сероводорода из его смеси с воздухом. Целью проекта является подбор контактных устройств, обеспечивающих непрерывное взаимодействие стекающей вниз жидкости и поднимающегося вверх газа.

Для извлечения сероводорода из его смеси с воздухом в качестве поглотителя была использована вода, так как вода является наиболее выгодным с экономической и химической точки зрения поглотителем.

В ходе проектирования были выполнен технологический расчет, а именно:

– материальный баланс тарельчатой колонны;

– тепловой баланс колонны;

– конструктивный расчет аппарата.

В материальном балансе данной абсорбционной установки был определен расход поглотителя, общий и удельный.

В тепловом балансе в ходе расчетов была найдена температура жидкости на выходе из абсорбера, а также приращение температуры на выходе потока из аппарата, вследствие чего было установлено, что предусматривать отвод тепла нет необходимости.

В конструктивном расчете осуществлен подбор стандартных элементов: выбор днища и крышки, масса которых 842 кг, подбор тарелок (в данном случае колпачковые типа ТСК-Р), расчет штуцеров, диаметр которых 700 и 250мм, рассчитана масса колонны и выбрана опора для неё, определено число реальных тарелок, равное 27. А также определены основные габаритные размеры аппарата: диаметр колонны – 2800 мм, высота цилиндрической части равна 19800 мм.

Курсовой проект включает 2 чертежа: 1 – Технологическая схема установки; 2 – Общий вид аппарата.

**Список использованной литературы**

1 Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок / Л.З. Альперт. – М.: Высшая школа, 1989. – 304 с.

2 Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие для техникумов / Н.И. Гельперин. – М.: Химия, 1981. – 812 с.

3 Доманский И.В. Машины и аппараты химических производств / И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский, В.Н. Соколов: под ред. В.Н. Соколова. – Ленинград: Машиностроение, 1982 г. – 384 с.

4 Захарова А.А. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие для вузов / А.А. Захарова, Л. Т. Бахшиева, Б. П. Кондауров: под ред. А.А Захаровой. – М. : Издательский центр «Академия», 2006 г. – 528 с.

5 Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для техникумов / И. Л. Иоффе. – Ленинград: Химия, 1991. – 351 с.

6 Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский. – М.: Машиностроение, 1963. – 572 с.

7 Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Ленинград: Химия, 1987. – 575 с.

8 Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие для техникумов / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. – М.: Госхимиздат, 1962. – 844 с.

9 Романков П.Г. Процессы и аппараты химической промышленности: учеб. пособие для техникумов / П.Г. Романков, М.И. Курочкина, Ю.Я. Мозжерин. – Ленинград: Химия, 1989. – 560 с.

10 Соколов В.Н. Машины и аппараты химических производств / В.Н. Соколов. – Ленинград: Машиностроение, 1982. – 453 с.