

Благодаря ряду преимуществ перед другими методами газоочистки (высокая селективность и эффективность процесса, возможность применения для рекуперации, для промышленной и санитарной очистки газа и воздуха, высокая степень десорбции, отсутствие изменения свойств адсорбента и поглощаемого компонента, возможность автоматизации процесса и другие достоинства) физическая адсорбция широко применяется в химической технологии и многих других отраслях промышленности. Пористые адсорбенты характеризуются величинами истинной, кажущейся и насыпной (гравиметрической) плотности. Истинная плотность – масса единицы объема слоя адсорбента минус объем всех пор. Величина истинной плотности ρ_i может быть определена по формуле: $\rho_i = m_{\text{сл}} / (V_{\text{сл1}} - V_2)$, (1) где $m_{\text{сл}}$ – масса единицы объема слоя адсорбента; $V_{\text{сл1}}$ – объем слоя адсорбента с учетом пор; V_2 – объем внешних и внутренних пор. Кажущаяся плотность ρ_k – масса единицы объема гранул адсорбента $m_{\text{град}}$, отнесенная к сумме объемов гранул и внутренних пор (пористости); значение ρ_k можно определить по формуле: $\rho_k = m_{\text{град}} / (V_{\text{гр1}} + V_{\text{в2}})$, (2) где $V_{\text{гр1}}$ – объем гранул адсорбента; $V_{\text{в2}}$ – объем внутренних пор адсорбента. Насыпная плотность ρ_n – масса единицы объема слоя адсорбента, свободно насыпанного в емкость. В насыпную плотность входит кажущаяся плотность плюс промежуточное пространство (воздушные прослойки) между гранулами адсорбента. Величину ρ_n можно определить по формуле: $\rho_n = m_{\text{сл}} / (V_{\text{сл1}} + V_2)$, (3) Для характеристики адсорбента применяют понятие порозности (пористости) слоя адсорбента $\varepsilon_{\text{сл}}$, которую можно определить из соотношения насыпной и кажущейся плотностей: $\varepsilon_{\text{сл}} = 1 - (\rho_n / \rho_k)$, (4) Основным параметром, определяющим скорость диффузии молекул адсорбтива, является коэффициент пористости гранул адсорбента $\varepsilon_{\text{гр}}$, зависящую от кажущейся и истинной плотностей: $\varepsilon_{\text{гр}} = 1 - (\rho_k / \rho_i)$, (5) Для пористых адсорбентов характерно два значения пространства (пустоты) снаружи и внутри гранул (зерен): поры между гранулами, которые обычно называют порозностью и поры в гранулах (микро-, мезо-, макропоры). Размер пор (диаметр и длина) обуславливают внутреннюю пористость зерен адсорбента. В формулах 1 и 3 имеется в виду внутренняя пористость гранул и порозность слоя адсорбента, в формуле 2 – только внутренняя пористость гранул. Величину порозности определяют в основном три параметра гранул адсорбента: размер, форма, способ укладки (упаковки) гранул в объеме адсорбента. Процесс непосредственной адсорбции (без учета стадий десорбции и регенерации сорбента) суммируется из трех последовательно осуществляемых и технологически взаимосвязанных стадий (этапов): - массоперенос молекул газа к поверхности твердого адсорбента; - диффузия молекул газа во внутренние поры адсорбента (определяется коэффициентом диффузии); - адсорбция молекул в порах. Скорость переноса адсорбтива к поверхности адсорбента $\Pi_{\text{ад}}$ может быть определена по уравнению: $\Pi_{\text{ад}} = k_m (S \cdot V / \rho_n) (p - p_{\text{ад}})$, [2] (6) где k_m – коэффициент массопереноса (газ-

адсорбент); S – площадь внешней поверхности адсорбента; V – объем пустот (порозности) между гранулами; ρ_n – насыпная плотность адсорбента; p и $p_{ад}$ – парциальное давление поглощаемого компонента в объеме газа и на поверхности адсорбента (движущая сила адсорбции). В свою очередь коэффициент массопереноса k_m может быть определен по следующей зависимости: $k_m = 1,82 \cdot u \cdot [(d_{э} \cdot u \cdot V \cdot \rho) / \mu] - 0,51 [\mu / (\rho \cdot k_d)] - 0,67$, [2] (7) где u – средняя линейная скорость газа; $d_{э}$ – эквивалентный диаметр гранулы (гранулы промышленных адсорбентов обычно не шаровидной формы, поэтому используют понятие эквивалентного диаметра гранулы $d_{э}$); величину $d_{э}$ можно определить по эмпирической формуле: $d_{э} = 6 / S_v$, (8) где S_v – удельная поверхность единицы объема гранул, равная частному от деления величины поверхности гранул на их объем; ρ – плотность газа; μ – вязкость газа; k_d – коэффициент диффузии адсорбируемого газа в порах. Из уравнения 6 видно, что скорость переноса газа из объема к поверхности адсорбента зависит от коэффициента массопереноса, порозности адсорбента и движущей силы переноса. Уравнение 7 показывает зависимость коэффициента массопереноса от скорости газа, от свойств газаносителя и коэффициента диффузии газа в порах. Как правило, в промышленных адсорбентах первые две стадии сорбции – массоперенос из объема газа и диффузия в поры гранул осуществляются с большой скоростью и лимитирующей весь процесс является последняя стадия – адсорбция молекул в порах.