

УДК 62-97/-98

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАЗОВ В БИОФИЛЬТРАХ

*Криволапов И.П., ст. преподаватель кафедры механизации производства и безопасности технологических процессов, к.т.н.  
Горшенин В.И., д.т.н., профессор кафедры тракторов и сельскохозяйственных машин  
Хромов А.О., магистрант кафедры тракторов и сельскохозяйственных машин  
ФГБОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет», Мичуринск, Россия*

**Ключевые слова:** Биологический фильтр, адсорбция, диффузия.

*Работа посвящена анализу процесса адсорбции пористым фильтрующим материалом биологического фильтра и определяет параметры влияющие на ее эффективность.*

Основным элементом биологического фильтра для очистки газов является фильтрующий материал, который может быть представлен моделью вязкопластического тела, состоящего из твердого скелета в виде пространственной волокнистой системы, полужидкого и газообразного вещества, заполняющего пространство между твердыми элементами.

Эффективная работа биологического фильтра основана на взаимодействии ряда процессов, дополняющих друг друга, и создании оптимальных условий для развития микроорганизмов.

Биологическая фильтрация газов включает процессы массопереноса, сорбции и биологического разложения [1, 2] и в общем виде может быть выражена уравнением

$$q_{\text{вых}} = q_{\text{вх}} - (q_{\text{адс}} + q_{\text{абс}} + q_{\text{био}}), \quad (1)$$

где  $q_{\text{вых}}$  – общее количество вещества, оставшееся после его прохождения через материал биофильтра, моль;  $q_{\text{вх}}$  – количество вещества поступающего в биофильтр, моль;  $q_{\text{адс}}$ ,  $q_{\text{абс}}$ ,  $q_{\text{био}}$  – количество вещества, поглощаемое в процессе адсорбции, абсорбции и микробиологического разложения, соответственно, моль.

Таким образом, все процессы протекающие в биологическом фильтре можно разделить на сорбционные (абсорбционные и адсорбционные) и микробиологические.

Одним из наиболее важных факторов, определяющим результат действия сорбционного процесса является скорость сорбции, а ее связь со структурой фильтрующего материала и условиями, в которых протекает сорбционный процесс, определяется кинетикой сорбции [2, 4, 6].

Механизм процесса адсорбции газов, пористым фильтрующим материалом, представляется следующим образом. Газы, с начальной концентрацией  $c$  поглощаемого вещества, поступают в фильтрующий

материал высотой  $V_m^{adc}$ , рисунок 1а, по мере движения через материал, газы частично поглощаются и их концентрация снижается рисунок 1б.

Количество вещества, поглощаемого в процессе адсорбции, определяется из выражения [1, 2]

$$q_{adc} = a_d \cdot J V_m^{adc} \tau_{фил}^{adc}, \quad (2)$$

где  $a_d$  – удельная площадь поверхности диффузии,  $m^{-1}$ ;  $J$  – плотность

диффузионного потока, моль/ $m^2 \cdot c$ ;  $V_m^{adc}$  – объем фильтрующего мате-

риала, используемого как адсорбента,  $m^3$ ;  $\tau_{фил}^{adc}$  – время контакта газа с порами фильтрующего материала, с.

Удельная площадь поверхности диффузии  $a_d$ , которая зависит от пористости фильтрующего материала и размера его частиц, определяется по формуле

$$a_d = \frac{3(1-m)}{R\varphi}, \quad (3)$$

где  $\varphi$  – отношение эквивалентной площади поверхности сферы к ее фактической площади;  $R$  – эквивалентный радиус сферы, м.

Таким образом, удельная площадь поверхности диффузии зависит от пористости фильтрующего материала и размера его частиц. С увеличением пористости и размера частиц данный показатель снижается.

Газы в фильтрующем материале, при постоянной температуре, способны диффундировать из области с большей концентрацией в область, где она меньше, следовательно, внутри фильтрующего материала возникает поток газа, пропорциональный градиенту концентрации в данном направлении [4]. Этот процесс характеризует величина плотности диффузионного потока, которая представляет собой значение количества вещества переносимого путем диффузии в единицу времени через единицу площади поверхности в направлении максимального градиента

концентрации  $\frac{\partial c}{\partial h_m^{radc}}$ .

Данная величина может быть определена в соответствии с законом Фика по формуле [7]

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial h_m^{radc}}, \quad (4)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии,  $m^2/c$ .

В виду того, что в пористой структуре газы движутся в свободных полостях – поровых каналах, расстояние, которое преодолевают молекулы газа, больше высоты фильтрующего материала, тогда выражение (4) запишется в виде

$$J = -D_{II} f_c \frac{\partial c}{\partial h_m^{radc}}, \quad (5)$$

где  $D_{II}$  – коэффициент диффузии газов в порах фильтрующего материала,

$m^2/c$ ;  $f_c$  - площадь поперечного сечения диффузионного потока на едини-

це сечения материала  $m^2/m^2$ ;  $h_m^{radc}$  – истинная длина поровых каналов, м.

Истинная длина каналов определяется с учетом коэффициента их извилистости в соответствии с формулой [7]

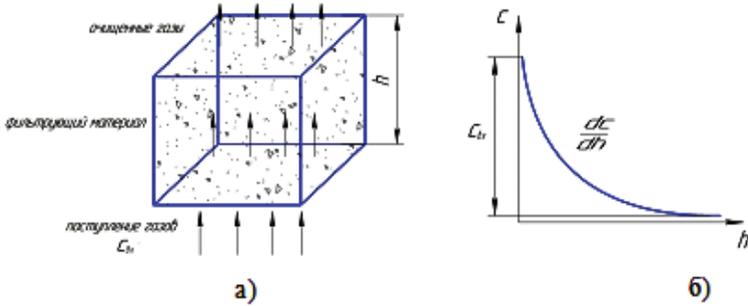


Рисунок 1 – Зависимость изменения концентрации газа от высоты фильтрующего материала в процессе адсорбции

$$h_{\text{м}}^{\text{адс}} = k h_{\text{м}}^{\text{адс}}, \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент извилистости пор, характеризующий увеличение длины пор по сравнению с высотой пористого материала, для тела образованного сферическими частицами одного диаметра коэффициент извилистости пор меняется от 1,065 до 1,0 при изменении пористости от 0,259 до 0,476 [2, 3].

Коэффициент диффузии газов в порах  $D_{\text{п}}$  определяется согласно выражению

$$D_{\text{п}} = \frac{D_0 m}{2} \left( 1 - \exp\left(-2\bar{r}\bar{u}/3D_0\right) \right), \quad (7)$$

где  $\bar{r}$  – средний радиус пор, м;  $\bar{u}$  – средняя скорость движения молекулы, м/с;  $D_0$  – коэффициент диффузии газа при давлении  $P_0 = 0,1$  МПа, температуре  $T_0 = 273$  К.

При изменении температуры и давления, коэффициент диффузии газа определяется по формуле [5]

$$D = D_0 \frac{P_0}{P} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1,75}. \quad (8)$$

Таким образом, подставляя выражения (3), (5), (7), в выражение (2) получаем

$$\frac{3(1-m)}{R\varphi} \left( - \left( D_0 \frac{P_0}{P} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1.75} \frac{m}{2} \left( 1 - \exp \left( - \frac{2ru}{3} \left( D_0 \frac{P_0}{P} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1.75} \right) \right) \right) \right) \right) \frac{m}{k} \frac{\partial c}{\partial t} V_{\text{м}}^{\text{св}} \tau_{\text{фил}}^{\text{св}} \quad (9)$$

Следовательно, эффективность очистки, как критерия оптимизации параметров биофильтра, в значительной степени зависит от плотности диффузионного потока, объема фильтрующего материала, его влажности, температуры, времени фильтрации, концентрации входящих газов и удельной площади поверхности.

### Библиографический список:

1. John, C. Manual biofilter design software [Текст] /John C. Crittenden, James R. Mihelcic, Hebi L. Michigan// Technological University 1400 Townsend Drive Houghton, MI 49931, p.105-109.
2. Белов, С.В. Пористые проницаемые материалы [Текст] / Под ред. Белова С.В. Справ. изд. – М.: Металлургия, 1987. – 335 с.
3. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н.Б. Варгафтик – М.: государственное изд-во физико-математической литературы «Физматгиз», 1963. – 708 с.
4. Грег, С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость [Текст] / С. Грег, К. Синг. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
5. Куприн, В.П. Адсорбция органических соединений на твердой поверхности [Текст] / В.П. Куприн, А.Б. Щербаков – К.: Научная мысль, 1996. – 162 с.
6. Рамм, В.М. Адсорбция газов [Текст] / В.М. Рамм, изд. 2-е, переработ. и доп. – М.: «Химия», 1976. – 656 с.
7. Тимофеев, Д.П. Кинетика адсорбции [Текст] / Д.П. Тимофеев - М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 253 с.
8. Чураев, Н.В. Физикохимия процессов массопереноса в пористых телах [Текст] / Н.В. Чураев. – М.: Химия, 1990. – 272 с.

### THEORETICAL STUDY OF ADSORPTION PROCESSES ABSORPTION OF GASES IN BIOFILTERS

*Krivolapov I.P., Gorshenin V.I., Hromov A.O.,*

**Key words:** *biological filter, adsorption, diffusion.*

*The paper analyzes the process of adsorption of porous filter material of the biological filter and defines the parameters affecting its efficiency.*