

**ПОРИСТОСТЬ, КАК ОСНОВНОЙ ПОКАЗАТЕЛЬ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ
ФИЛЬТРАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКОГО
МАТЕРИАЛА**

Новикова Виктория Сергеевна

студент

Мичуринский государственный аграрный университет,

Сергеев Олег Вадимович

студент

Мичуринский государственный аграрный университет,

Криволапов Иван Павлович

кандидат технических наук, доцент

Мичуринский государственный аграрный университет,

Колдин Михаил Сергеевич

кандидат технических наук, доцент

Мичуринский государственный аграрный университет,

г. Мичуринск, Россия

e-mail: ivan0068@bk.ru

Аннотация: В статье рассматриваются теоретические взаимосвязи основных параметров, влияющих на процесс движения жидкостных и газовых компонентов в структуре пористого органического материала биологического фильтра.

Ключевые слова: пористость, фильтрация, диффузия, фильтрующий слой.

Проникновение жидкости в пористом материале биологического фильтра зависит от значительного количества факторов, обуславливающих его структуру и физико-механические свойства.

Впервые проблема массопереноса в пористой среде в середине XIX в. была описана в работах французского инженера Г. Дарси, который опубликовал теоретическую работу с анализом экспериментальных данных и выводом известного соотношения между скоростью течения жидкости и градиентом давления (или напора) в проницаемой среде, названного впоследствии его именем [1].

Большой вклад в формирование современной теории фильтрации в насыщенной пористой среде был сделан благодаря исследованиям С. Эргуна, В.И. Аравина и С.Н. Нумерова, В.Н. Николаевского, А. Е. Шейдеггера, Д.А. Эфроса, Р. Коллинза, В.М. Ентова, П.Я. Полубариновой–Кочиной, Ф.А. Дюллиена, М.И. Швидлера и многих других отечественных и зарубежных ученых [2].

В настоящее время в гидро- и термодинамике пористой среды различные потоки часто выражают феноменологически с помощью линейных уравнений вида:

$$J = k \times X, \quad (1)$$

где J — интенсивность соответствующего потока; k — коэффициент переноса массы или энергии в данном потоке; X — обобщенная движущая сила, вызывающая перенос.

Следует заметить, что выразить математически фильтрационный или диффузионный поток так, чтобы формулы отражали реальное перемещение частиц по поровому пространству крайне затруднительно. С этой точки зрения формулы вида (1) описывают процессы переноса как единое движение фиктивной сплошной среды через некоторое пространство, занимаемое в действительности пористой средой. Однако необходимо помнить, что уравнение данного вида описывает модельную картину, основанную на гипотезе сплошной среды и имеющую вполне определенные ограничения.

Гидравлические сопротивления во время движения жидкости в пористой среде пропорциональны скорости потока и вязкости жидкостей. Эти сопротивления аналогичны сопротивлению трения при движении жидкости в трубах. Но в отличие от движения жидкости в трубах характер ее течения в микронеоднородной пористой среде имеет свои особенности [1-4].

Если представить фильтрующий слой в виде параллелепипеда, рисунок 1, стороны которого параллельны осям координат и имеют длину dx , dy , dz , то соответственно количество вещества q , диффундирующее в единицу времени через грань $dx dy$, на входе в фильтрующий слой, определяется следующим выражением [4-6]

$$q_{\text{вход}} = dx dy \left(P_z - \frac{\partial P_z}{\partial z} dz \right) \quad (2)$$

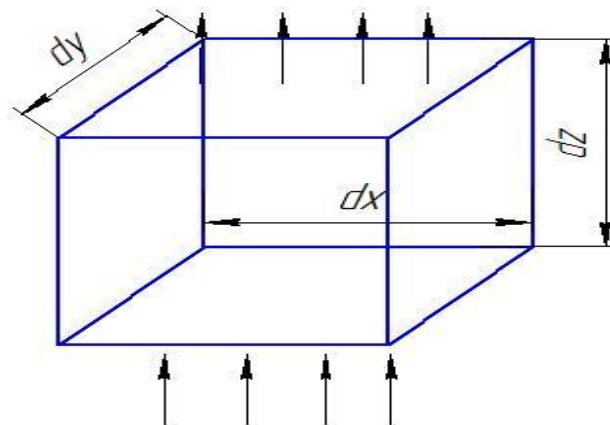


Рисунок 1 – Диффузия газовых выбросов через фильтрующий слой

Соответственно на выходе количество вещества определяется выражением 3 [2]:

$$q_{\text{выход}} = dx dy \left(P_z + \frac{\partial P_z}{\partial z} dz \right) \quad (3)$$

Изменение количества вещества Δq , диффундирующих в единицу времени через площадь $dx dy$ определяется выражением;

$$\Delta q = dx dy \left(P_z - \frac{\partial P_z}{\partial z} dz \right) - dx dy \left(P_z + \frac{\partial P_z}{\partial z} dz \right) = -4 dx dy dz \frac{\partial P_z}{\partial z} \quad (4)$$

Важной характеристикой фильтрующего слоя среды является пористость (или порозность), равная относительной объемной доле порового пространства в материале. Пористость определяет количество жидкости, которое может содержаться в некотором объеме пористой среды (если жидкость целиком заполняет внутривпоровое пространство) [1, 4, 7]. Если для образца однородного пористого материала объемом V объем пор составляет V_n , то коэффициент пористости этого образца:

$$m = \frac{V_n}{V} = \frac{S_{nop} L}{SL} = \frac{S_{nop}}{S} \quad (5)$$

где n , r - число и радиус пор соответственно.

Если представить поры в виде капилляров цилиндрической формы, то их площадь соответственно составит:

$$S_{nop} = n\pi r^2 \quad (6)$$

Таким образом, выражение 5, преобразуется к виду:

$$m = \frac{n\pi r^2}{S} \quad (7)$$

Пористость почв лежит в диапазоне 0,3...0,7, речного песка - 0,3...0,55, нефтегазоносных пластов, встречающихся на практике - 0,1...0,2 [1, 8].

В случае если известны объем, масса пористого тела и плотность компактного материала, пористость можно определить согласно выражению:

$$\Pi = 1 - \frac{\rho}{\rho_n} \quad (8)$$

Поры в материалах делят на следующие типы [1, 8]:

□ открытые поры (Π_o), сообщающиеся с поверхностями пористого тела и участвующие в фильтрации жидкости или газа при наличии градиента давления;

□ тупиковые (Π_m) частично заполняемые жидкостью, но не влияющие на проницаемость пористого материала;

□ закрытые (Π_3), не сообщающиеся с поверхностью пористого тела и не участвующие в фильтрации жидкости или газа.

Таким образом, общая пористость материала составляет:

$$\Pi = \Pi_o + \Pi_m + \Pi_3 \quad (9)$$

Примером наличия закрытых и тупиковых пор является фильтрация воздуха в биологическом фильтре, в котором часть пор занята водой, удерживаемой в поровом пространстве за счет капиллярных сил, в результате в поровом пространстве формируется единая система пор, связанная с поверхностью пористого тела и проницаемая для внешней среды, поэтому при определении пористости следует различать полную Π_{vo} и эффективную Π_{vs} пористость.

Различие между полной и эффективной пористостью можно охарактеризовать коэффициентом объемной связности:

$$k_{vs} = \frac{\Pi_{vs}}{\Pi_{vo}} \quad (10)$$

Данный показатель принимает значения от $k_{vs}=0$ при полностью изолированной до $k_{vs}=1$ при полностью открытой структуре порового пространства.

Распределение пористости в материале можно определить методом микрофотографий, методом измерения расхода газа при его фильтрации через отдельные участки пористой поверхности, разрезкой материала на отдельные элементы с последующим определением пористости каждого из них и др. методами.

Важной характеристикой пористой среды является показатель просветности $s(n)$, представляющий собой отношение площади просветов S_n в сечении к площади всего сечения S :

$$s(n) = \frac{S_{II}}{S} \quad (11)$$

Величина просветности зависит от того, через какую точку и в каком направлении проводится разрез среды. Поэтому пористость и просветность

являются различными математическими объектами и, хотя между ними, существует связь, обычное отождествление этих понятий является ошибочным, поскольку понятие просветности является более сложным [2].

Показателем, объединяющим в себе площадь пор и объем пористого пространства является удельная поверхность пор, приходящаяся на единицу объема пористой среды.

Под удельной поверхностью пор Σ , рассчитанной на единицу объема пористой среды, понимают отношение площади поверхности пустотного пространства пористой среды S_{II} ко всему объему пористой среды V [1]:

$$\Sigma = \frac{S_{II}}{V} \quad (12)$$

Как следует из определения, удельная поверхность пор в отличие от пористости и просветности, которые, по определению, безразмерны, является размерной характеристикой с размерностью m^{-1} .

Для определения фильтрационной способности пористого материала важное значение имеет распределение пор по размерам, это распределение может быть нормальным, согласно формуле [5]:

$$f_i = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)} \exp\left[-(d_{n_i} - d_{n.c.p.})^2 / 2\sigma^2\right] \quad (13)$$

Плотность вероятности распределения f_i и среднеквадратичное отклонение σ определяется соотношениями 14 и 15:

$$f_i = \frac{\Delta V_{n_i}}{\left(\Delta d_{n_i} \sum_1^n \Delta V_{n_i}\right)} \quad (14)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{1}^n (d_{n_i} - d_{n.c.p.})^2 \Delta V_{n_i}}{\sum_{1}^n \Delta V_{n_i}}} \quad (15)$$

при числе интервалов размеров пор $\Delta d_{ni}=n$.

Логарифмически нормальное распределение, определяется соотношением:

$$f_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma} \exp \left[-(\lg d_{n_i} - \lg d_{n.c.p.})^2 / 2 \lg^2 \sigma \right] \quad (16)$$

Распределение пор по размерам используют для определения таких пространственных характеристик, как максимальных и средний размеры пор. Основными методами, используемыми для установления размеров пор являются: вдавливание ртути, вытеснение жидкости из пор, исследование микрофотографий, совместное решение уравнений Дарси и Гагена-Пуазейля.

Список литературы

1. Рабинович, Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович, изд. 3-е, испр. и перераб. – М.: гос. изд-во физ-мат. литературы, 1961. – 408 с.
2. Математическое моделирование пористых структур [Электронный ресурс] / Москалев П.В., Шитов В.В. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
3. Криволапов И.П. Теоретический анализ ключевых этапов процесса биологической фильтрации / В.В. Миронов, И.П. Криволапов // Сб. науч. тр. Всерос. науч. практ. конф. – Мичуринск: Изд-во МичГАУ, 2011. – С.80-83.
4. Белов, С.В. Пористые проницаемые материалы / Под ред. Белова С.В. Справ. изд. – М.: Металлургия, 1987. – 335 с.
5. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. – М., Химия, 1981 – 616 с.
6. Криволапов И.П. Описание основных моделей фильтрации газов в жидкостной пленке биологического фильтра / О.В. Милованов, С.Ю. Щербаков, В.Б. Куденко, А.В. Аксеновский// Сборник научных трудов, посвящен-

ный 85-летию Мичуринского государственного аграрного университета : в IV-х т., том II : Технические науки / под ред. В.А. Бабушкина. – Мичуринск : Изд-во Мичуринского ГАУ, 2016. – С. 27-31

7. Криволапов И.П. Теоретическое исследование адсорбционных процессов поглощения газов в биофильтрах / А.О. Хромов, И.П. Криволапов, В.И. Горшенин // Сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь и наука XXI века» - Ульяновск, 2014 г. – С. 146-150

8. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика: Учебник для вузов Д.В.Штеренлихт, 3-е изд. перераб. и доп. – М.:КолосС, 2007. – 656 с.

THE POROSITY AS THE MAIN INDICATOR DETERMINING THE FILTRATION ABILITY OF ORGANIC MATERIAL

Novikova Victoria Sergeevna

student

Michurinsky State Agrarian University,

Sergeyev Oleg Vadimovich

student

Michurinsky State Agrarian University,

Krivolapov Ivan Pavlovich

candidate of technical sciences, associate professor

Michurinsky State Agrarian University,

Koldin Mikhail Sergeevich

candidate of technical sciences, associate professor

Michurinsky State Agrarian University,

Michurinsk, Russia

e-mail: ivan0068@bk.ru

Abstract: In the article theoretical interrelations of the main parameters influencing the process of movement of liquid and gas components in structure of porous organic material of biological filter are considered.

Key words: sponginess, filtration, diffusion, filtering layer.