
РАЗДЕЛ II

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.674.6:532.546.001.57

Н. А. Антонова, Ю. Е. Домашенко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

В статье приведены результаты анализа математических моделей фильтрующих материалов, рассматриваемых с позиции зернистой среды, и определены параметры отклонения от них фильтрующей загрузки на основе горелых пород терриконов. Для исследования разрабатываемого пористого материала предлагается модель, которая представляет собой совокупность твердых частиц материала наполнителя, называемую скелетом, и разветвленную сеть пустот – поровое пространство. Решая предложенные уравнения, можно найти оптимальное значение толщины пленки связующего и рассчитать его требуемое количество для изготовления фильтроэлемента с заданными параметрами и наоборот, задавшись требуемым диаметром поры и толщиной пленки, можно подобрать состав загрузки, обеспечивающий приемлемое соотношение экономической эффективности и степени очистки. После уточнения выявленных в результате анализа недостатков полученная модель может быть использована для определения оптимального состава фильтрующего материала и получения уравнения фильтрации.

Ключевые слова: математическое моделирование, фильтрация, система капельного орошения, фильтрующие элементы, уравнение фильтрации.

Быстрые темпы развития капельного орошения объясняются высокой экономической эффективностью при минимальной нагрузке на агроландшафты, в частности на почвенные характеристики возделываемых угодий. Одним из недостатков систем капельного орошения являются высокие требования к качеству оросительной воды за счет маленьких (1-2 мм) выходных отверстий капельниц [1], поэтому обязательным элементом системы являются зернистые фильтры, степень очистки которых зависит от качественного состава оросительной воды. Чаще всего существует необходимость снизить содержание взвешенных веществ в природной воде, следовательно, загрузка фильтра представлена кварцевым песком.

Целью данной работы является теоретическое изучение моделей пористых материалов и их использование для поиска оптимального состава альтернативной фильтрующей загрузки на основе горелых пород терриконов.

Сыпучесть и динамичность частиц используемой в настоящее время фильтрующей загрузки усложняет промывку и снижает грязеемкость фильтрующего материала, что приводит к частым остановкам, заменам загрузки и, как следствие, дополнительным экономическим затратам. В качестве альтернативы песчаной загрузке можно выделить полимербетонные фильтрующие блоки, которые изготавливаются на основе отходов горнодобывающей промышленности и полимерных связующих.

Для исследования разрабатываемого пористого материала предлагается модель, которая представляет собой совокупность твердых частиц материала наполнителя, называемую скелетом, и разветвленную сеть пустот – поровое пространство (рисунок 1).

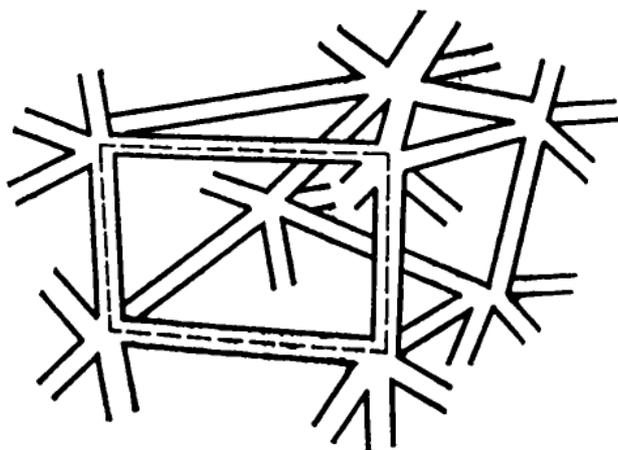


Рисунок 1 – Модель порового пространства идеального полимербетона

Данная решетка является наиболее универсальной и достаточно упрощенной для дальнейших математических расчетов. Существует также более упрощенная кубическая решетка, которая служит основой в исследованиях О. С. Ксенжека при описании капиллярного равновесия, а также более сложная модель псевдорешеток (ветвящаяся модель) [2]. Последняя используется в основном для наглядного представления связей, а не для математического исследования, так как в ее основе лежит допущение, что часть капилляров не имеет

замкнутых циклов в поровом пространстве, что приводит некоторые расчеты к нерешаемым задачам.

Фильтрующая загрузка, изготовленная на основе горелых пород терриконов и полимерного связующего, может быть представлена в качестве идеального полимербетона со следующими начальными допущениями [3]:

- все частицы имеют сферическую форму;
- радиусы сфер равны, R ;
- толщина пленки полимерного связующего, покрывающего каждую частицу, одинакова и равна δ ;
- образующиеся поровые каналы цилиндрической формы и не имеют тупиков.

Схема модели представлена на рисунке 2, на котором показано соединение частиц твердого вещества на плоскости при условии обеспечения плотной упаковки зерен заполнителя (гексагональное уплотнение по Слихтеру) [4].

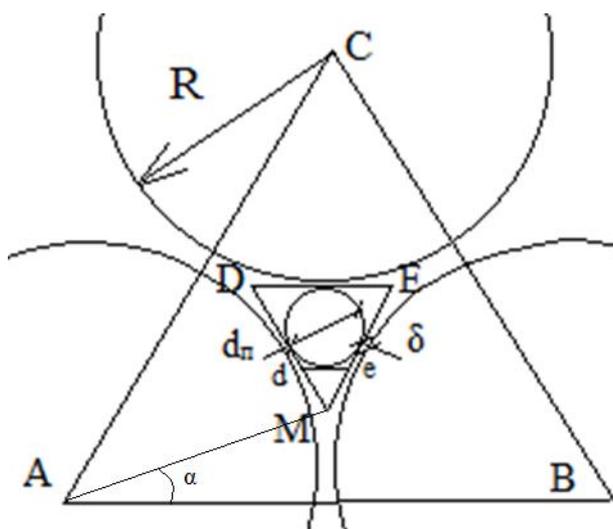


Рисунок 2 – Модель порового пространства идеального полимербетона

За искомую величину примем диаметр поры $d_{\text{п}}$, образующейся при соединении частиц радиусом R . С одной стороны мы имеем равносторонний треугольник DEM со стороной $l = DM$, описанный вокруг окружности диаметром $d_{\text{п}}$, с другой – равносторонний шестиугольник со стороной $l' = de$, вписанная окружность которого имеет диаметр $d_{\text{п}}$. Проводя геометрические преобразования, основанные на подобии треугольников ACB и DEM и задавшись равенством (1):

$$\delta = \bar{\delta} \cdot R, \quad (1)$$

где $\bar{\delta}$ – относительная толщина пленки, мм,
получим уравнения:

$$l=3,456 \cdot R \cdot (0,1533 - \bar{\delta}); \quad (2)$$

$$l'=1,315 \cdot R \cdot \bar{\delta} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{5\bar{\delta}}{9}}{(1 + \bar{\delta}) \cdot \sin \alpha \cdot \arccos \left(\frac{1}{1 + \bar{\delta}} \right)}}. \quad (3)$$

Решая уравнения (2) и (3) как систему относительно параметра $\bar{\delta}$, варьируя значения R , можно найти оптимальное значение толщины пленки связующего и рассчитать его требуемое количество для изготовления фильтроэлемента с заданными параметрами, и наоборот, задавшись требуемым диаметром поры и толщиной пленки, можно подобрать состав загрузки, обеспечивающий приемлемое соотношение экономической эффективности и степени очистки.

Представленная модель имеет ряд допущений, которые существенно отличаются от реальной характеристики структуры предлагаемой фильтрующей загрузки. С целью получения точных результатов и построения действительного уравнения фильтрации существующую модель идеального полимербетона необходимо доработать. Основными допущениями, которые могут существенно изменить конечные уравнения, являются приведение всех частиц к сферической форме и рассмотрение состава загрузки как монодисперсного.

Список использованных источников

1 Воеводина, Л. А. Тенденции развития и перспективы применения капельного орошения [Электронный ресурс] / Л. А. Воеводина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 3(07). – 13 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=113&id=119>.

2 Хейфец, Л. И. Многофазные процессы в пористых средах / Л. И. Хейфец, А. В. Неймарк. – М.: Химия, 1982. – 320 с.

3 Корневский, В. И. Расчет пористой полимербетонной перегородки / В. И. Корневский, И. В. Лебедева, А. В. Коновалов. – Ростов-н/Д.: Ростовская-на-Дону государственная академия строительства, 1997. – 58 с.

4 Лейбензон, Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде / Л. С. Лейбензон. – М.: Ростехиздат, 1953. – 457 с.