

Крестин Евгений Александрович,
к.т.н., доцент кафедры
«Теплогазоснабжения и вентиляции»,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет», г. Самара

Елисеев Алексей Евгеньевич,
студент 2 курса, факультет инженерных систем
и природоохранного строительства, направление:
Водоснабжение и водоотведения, группа 23-ФИСПОС-103
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры, Россия, г. Самара

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕЧЕНИЯ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ: ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ ИЛИ ГАЗА В ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ (ВЯЗКОСТЬ, ПОРИСТОСТЬ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ)

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы анализа устойчивости течения в пористых средах, фильтрации жидкости или газа в пористых материалах с учётом некоторых факторов. Представлены теория и методы исследования.

Ключевые слова: течение в пористых средах, метод конечных элементов, уравнение Дарси, лазерная доплеровская анемометрия.

Введение Пористые среды широко распространены в природе и технике. Они находят применение в геологии, нефтегазовой индустрии, фильтрации, строительстве и многих других областях. Устойчивость течения в пористых материалах имеет большое значение для понимания процессов фильтрации жидкостей и газов, а также для оптимизации различных технологических процессов.

Цели и задачи исследования

Цель данного исследования – анализ устойчивости течения в пористых средах с учетом таких факторов, как вязкость, пористость и проницаемость. Задачи исследования могут включать:

1. Определение взаимосвязи между структурными характеристиками пористых материалов и их проницаемостью.
2. Исследование влияния вязкости жидкости на характер течения через пористые среды.
3. Моделирование различных режимов фильтрации и анализ их устойчивости.
4. Оценка условий, при которых происходит переход от ламинарного к турбулентному течению в пористых средах.

Теоретические основы

Течение жидкости или газа в пористых средах, (грунт, вследствие неплотного прилегания образующих его частиц друг к другу, является пористой средой. Течение жидкости и газа (фильтрация) происходит в капиллярных каналах весьма сложной формы, образованных порами грунта. При решении вопросов фильтрации методами гидродинамического анализа приходится пользоваться упрощенными моделями грунта. К таким моделям относятся "идеальный грунт", у которого капиллярные каналы, составленные из пор, образующихся между песчинками, принимаются цилиндрическими и параллельными между собой, и "фиктивный грунт", все частички которого принимаются за шары одинакового диаметра) описывается уравнением Дарси и уравнением Навье-Стокса с учетом дополнительной модели для пористой среды. Основные аспекты:



-Уравнение Дарси описывает линейное течение в пористых материалах
-Уравнение Навье-Стокса применяется для описания динамики несжимаемых жидкостей.

Методы исследования

1. Экспериментальные исследования: Проведение лабораторных экспериментов с различными пористыми материалами (песок, глина, пористый бетон и др.) для измерения их проницаемости при различных значениях вязкости.

2. Моделирование: Использование численных методов (например, метода конечных элементов или метода конечных разностей) для моделирования течения жидкости через пористые среды. Программное обеспечение, такое как COMSOL Multiphysics или ANSYS, может быть использовано для численного моделирования.

3. Анализ данных: Сравнение результатов эксперимента и численного моделирования для валидации предложенных моделей.

Исследование движения жидкости в пористых структурах является важной задачей в различных областях, таких как гидрогеология, нефтегазовая промышленность, экология и инженерия. Существует несколько методов, которые можно использовать для анализа и моделирования движения жидкости в пористых материалах.

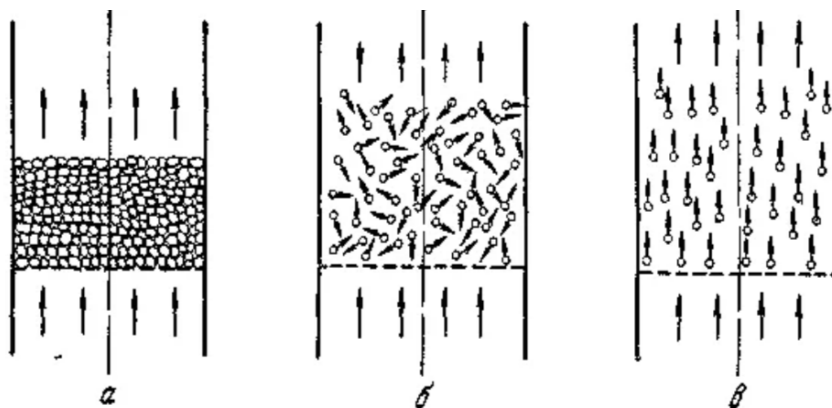


Рис П-23. Движение газа (жидкости) через слой твердых частиц
а — неподвижный слой, б — кипящий (псевдоожженный) слой, в — унос твердых частиц потоком

Вот основные из них:

1. Экспериментальные методы

1.1 Лабораторные эксперименты

- Постоянный напор: Измерение проницаемости пористых материалов с использованием установки, где жидкость подается под постоянным давлением. Измеряется объем жидкости, проходящей через образец, за определенное время.

- Постоянный поток: Измерение потока жидкости через пористый материал при постоянном градиенте давления. Это позволяет определить проницаемость и вязкость жидкости.

1.2 Полевая экспериментация

- Полевые испытания: Измерение проницаемости в естественных условиях с использованием буровых скважин и наблюдательных колодцев. Это может включать тесты на отбор проб и наблюдение за уровнем грунтовых вод.

- Тесты на инъекцию: Введение жидкости в пористую среду и наблюдение за изменениями давления и потока.



2. Численные методы

2.1 Метод конечных элементов (МКЭ)

-Используется для моделирования сложных геометрий пористых структур и анализа распределения давления и скорости потока. МКЭ позволяет учитывать неоднородности и анизотропию пористых материалов.

2.2 Метод конечных разностей (МКР)

-Применяется для решения уравнений, описывающих движение жидкости в пористых средах. Этот метод позволяет моделировать временные изменения в потоке и давлении.

2.3 Моделирование на основе сеток

-Создание сеток для представления пористых структур и использование численных методов для анализа потока жидкости через эти сетки.

3. Теоретические методы

3.1 Уравнение Дарси

-Основное уравнение, описывающее движение жидкости в пористых средах. Оно связывает объемный поток с градиентом давления и проницаемостью материала:

$$Q = \frac{-kA}{\mu} \frac{(p_b - p_a)}{L} \quad (1)$$

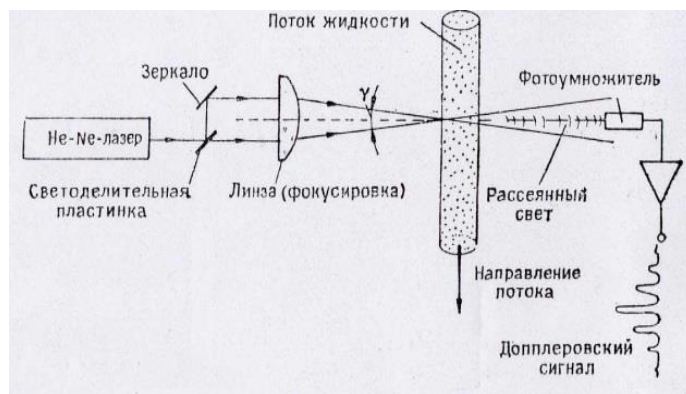
$$Q = \frac{-kA}{\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \quad (2)$$

3.2 Уравнение Навье-Стокса

-Используется для описания динамики несжимаемых жидкостей. Это уравнение может быть адаптировано для учета пористых сред, особенно в случаях, когда необходимо учитывать вязкость и инерцию.

4. Визуализационные методы

4.1 Лазерная доплеровская анемометрия (ЛДА)



-Применяется для измерения скорости потока жидкости в пористых структурах. ЛДА позволяет получать высокоточные данные о скорости и направлении потока.

5. Моделирование на основе молекулярной динамики

-Используется для изучения поведения жидкости на атомарном уровне. Этот метод позволяет исследовать взаимодействия между молекулами жидкости и стенками пор, а также динамику потока в микроскопических масштабах.

Заключение

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, и выбор подходящего метода зависит от конкретной задачи, доступных ресурсов и требуемой



точности. В большинстве случаев комбинирование нескольких методов позволяет получить более полное представление о движении жидкости в пористых структурах и улучшить понимание процессов фильтрации и потока

Ожидаемые результаты

1. Определение зависимости проницаемости от пористости и вязкости для различных типов пористых материалов.
2. Моделирование режимов течения и выявление условий, при которых происходит переход в нестабильные режимы.
3. Построение рекомендованных режимов для оптимизации фильтрационных процессов в конкретных приложениях (например, в системах очистки воды, в нефтяной и газовой индустрии).

Заключение

Исследование устойчивости течения в пористых средах является актуальной задачей, которая имеет большое значение для практических приложений. Понимание факторов, влияющих на стабильность течения, поможет оптимизировать процессы фильтрации, повысить эффективность добычи полезных ископаемых и улучшить технологии защиты окружающей среды.

Дополнительные исследования. В дальнейшем стоит рассмотреть влияние других факторов, таких как температура, наличие включений или взаимодействие с химически активными веществами. Для более глубокого понимания процесса можно также добавить аспекты, касающиеся динамики многофазных систем.

Список литературы:

1. <https://psm-st.com/blog/rol-gidravliches...>
2. https://4italka.site/komputeryi_i_intern...
3. <https://flibusta.club/b/478095/read>
4. Моргунов К.П. Механика жидкости и газа // Гидравлика 2023
5. Метод конечных элементов В механике жидкости J.J Connor C.A Brebbia (перевод с английского)
6. <https://osa.llc/542/>
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.
8. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкости и газов в природных пластах.

