

# COMSOL представляет модуль “Течения в пористых средах”

Ed Gonzalez (COMSOL)



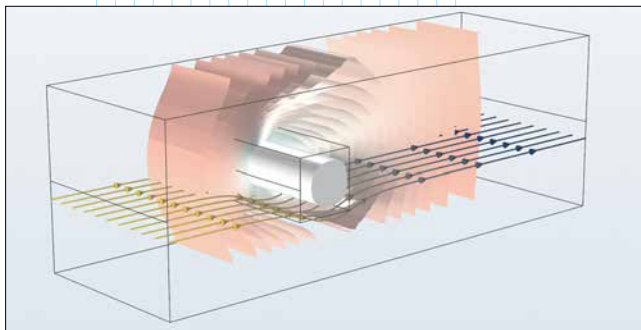
Сегодня во многих отраслях науки и техники возникает необходимость комплексного моделирования процессов в пористых средах. Модуль “Течения в пористых средах” (*Porous Media Flow Module*), который появился в составе среды численного моделирования

**COMSOL Multiphysics** версии 5.5, предназначен для решения именно таких задач. Этот модуль позволяет пользователям проводить количественные исследования переноса массы, импульса и энергии в пористых средах. Область применения подобного функционала включает в себя моделирование явлений переноса в топливных элементах, моделирование сушки бумаги и пульпы, анализ процессов в пищевой промышленности, моделирование фильтрации и многих других явлений.

## Моделирование течений в пористых средах

Моделирование переноса массы, импульса и энергии в пористой среде – это стандартная задача во многих областях инженерной науки; решать подобные задачи необходимо, например, в химической промышленности, в гражданском и энергетическом строительстве. Модуль “Течения в пористых средах” предлагает исчерпывающий набор математических моделей и физических интерфейсов, которые помогут инженерам и ученым моделировать различные физические явления в пористой среде.

Функциональность модуля “Течения в пористых средах” позволяет специалистам, работающим в самых разных областях промышленности, таких как добыча полезных ископаемых, биомедицинские технологии и пищевая промышленность, анализировать и оптимизировать физические процессы с помощью удобной среды моделирования. Такие задачи, как моделирование многофазных течений в пористой среде, могут успешно решаться в рамках полноценного мультифизического анализа.



Модель промерзания грунта, построенная с помощью инструментов, которые предлагает модуль *Porous Media Flow*

Используя предлагаемые мультифизические инструменты моделирования, можно проводить следующие сопряженные расчеты:

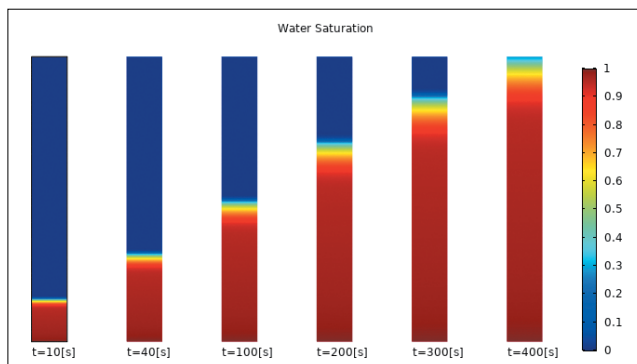
- неизоэтермических течений в пористых средах;
- явлений пороупругости;
- эффективных (эквивалентных) свойств многокомпонентных систем;
- переноса влаги и химических компонентов.

Давайте немного более подробно рассмотрим несколько возможных применений этого ПО.

## Многофазное течение в пористой среде

Модуль “Течения в пористых средах” содержит инструменты, позволяющие моделировать многофазные течения в пористой среде, при этом количество фаз может быть любым. Пользователь имеет возможность задать свойства пористой среды, а именно коэффициенты относительной проницаемости и капиллярные давления, и смоделировать растекание, перенос влаги или другие явления переноса в пористой среде.

При соприкосновении с жидкостью полоска сухой бумаги будет её абсорбировать, что является результатом действия капиллярных сил. Абсорбция прекратится только тогда, когда вес поглощенной жидкости будет уравновешен капиллярными силами. В предлагаемом примере взаимодействие двух фаз – воды и воздуха – описано с помощью комбинации интерфейсов *Darcy's Law* и *Phase Transport in Porous Media*.

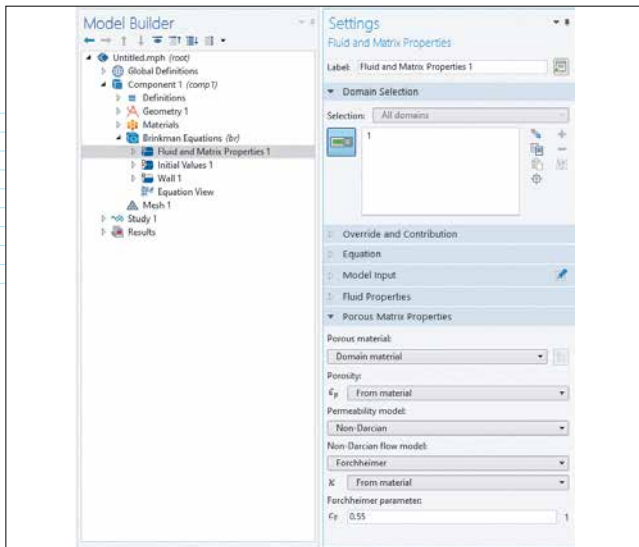


Модель растекания влаги в бумажной полоске

## Нелинейные течения в пористой среде

Предыдущая публикация в блоге на сайте [www.comsol.ru](http://www.comsol.ru) под названием “Which Porous Media and Subsurface Flow Interface Should I Use?” была посвящена обсуждению физических интерфейсов, которые используются для моделирования течений в насыщенной пористой среде и среде с переменной насыщенностью – в том числе интерфейсы *Darcy's Law* и *Brinkman Equations*.

Закон Дарси справедлив при малых значениях скорости фильтрации, то есть при числах Рейнольдса



меньше 100. Для более высоких значений скорости и числа Рейнольдса в уравнение сохранения импульса необходимо добавить нелинейную поправку. При разработке модуля “Течения в пористых средах” была предусмотрена возможность моделировать нелинейные течения, когда поле скорости связано с градиентом давления нелинейным образом.

Доступные варианты нелинейных поправок для течения в пористой среде включают модели Форхгеймера, Эргуна, Бурке-Пламмера и Клинкаберга, которые можно использовать в интерфейсах *Darcy's Law* и *Multiphase Flow in Porous Media*; а также модели Форхгеймера и Эргуна для интерфейса *Brinkman equations*.

### Равновесные и неравновесные модели переноса теплоты в пористых средах

Теплопередача в пористой среде может осуществляться за счет теплопроводности, конвекции и дисперсии, при этом в расчете необходимо учитывать разные теплофизические свойства твердой фазы и флюида. Модуль “Течения в пористых средах” позволяет моделировать перенос теплоты в пористых структурах, опираясь на два подхода:



*Модель теплового аккумулятора, в которой учитывается изменение фазового состояния и используется неравновесное приближение*

1 Приближение локального термического равновесия, когда температуры твердой пористой матрицы и заполняющего поры флюида одинаковы в каждой точке.

2 Неравновесное приближение, когда для твердой и жидкой фазы решаются отдельные уравнения сохранения энергии; при этом крайне важно учесть обмен теплотой между фазами.

### Течения в трещинах

Моделирование переноса массы, импульса и энергии в трещиноватых пористых средах актуально, в первую очередь, для химической промышленности, гражданского и энергетического строительства, а также и во многих других отраслях. В состав модуля “Течения в пористых средах” включены физические интерфейсы, которые позволяют рассчитать поля давления, температуры и концентрации химических компонентов на внутренних границах расчетной области, моделирующей пористую матрицу. Такой подход позволяет сэкономить вычислительные ресурсы, которые потребовались бы для построения расчетной сетки и решения уравнений при описании трещин конечного, действительного размера.

Хороший пример применения – керамические фильтры, которые нашли широкое применение для очистки питьевой воды от химических примесей и твердых частиц. Благодаря малому размеру пор керамического фильтра, из воды удаляются крупные частицы и бактерии, а активированный уголь позволяет извлечь из воды тяжелые металлы и хлор. Возникновение трещин в керамическом сердечнике может привести к снижению качества очистки питьевой воды.



*Результаты моделирования керамического водяного фильтра с пористым угольным фильтрующим элементом*

### Фазовые переходы в пористой среде

Помимо прочего, модуль “Течения в пористых средах” содержит специальный интерфейс для моделирования фазовых переходов в пористой среде. Типичными примерами фазовых переходов являются плавление льда или испарение и конденсация пара в строительных материалах – это говорит о том, что такое моделирование имеет несомненную практическую ценность.

Получить больше информации о функциях моделирования переноса массы, импульса и энергии в пористых средах, предлагаемых в модуле “Течения в пористых средах”, можно на сайте [www.comsol.ru](http://www.comsol.ru)