

# 1 Постановка задачи

## 1.1 Цели и задачи модификации

- обеспечить по итогам текущей модернизации кода удобство интегрирования новых реологических моделей МСС, новых численных алгоритмов, выполняющих расчёт этих моделей;
- сделать код более структурированным, более понятным и простым для ознакомления и будущих расширений.
- не потерять при этом значительно быстродействие

## 1.2 Постановка задачи

На данный момент задача в самой общей постановке представляет собой систему  $N$  квазилинейных гиперболических уравнений в частных производных:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \mathbf{A}_x \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} + \mathbf{A}_y \frac{\partial \vec{u}}{\partial y} + \mathbf{A}_z \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} = \vec{f}, \quad (1.1)$$

где  $\mathbf{A}_x = \mathbf{A}_x(\vec{u}, \vec{r}, t)$ ,  $\mathbf{A}_y = \mathbf{A}_y(\vec{u}, \vec{r}, t)$ ,  $\mathbf{A}_z = \mathbf{A}_z(\vec{u}, \vec{r}, t)$ ,  $\vec{f} = \vec{f}(\vec{u}, \vec{r}, t)$ .

Также движение сетки описывается уравнением:

$$\frac{\partial \vec{r}}{\partial t} = \vec{v}. \quad (1.2)$$

Кинетика разрушений в общем случае описывается системой эволюционных уравнений:

$$\frac{\partial \vec{\chi}}{\partial t} = \vec{F}(\vec{r}, t, \vec{u}, \vec{\chi}), \quad (1.3)$$

где  $\vec{\chi}$  – так называемые внутренние параметры, характеризующие внутреннюю структуру материала (пористость, размер пор, повреждённость, параметр упрочнения и пр.).

Уравнение (1.2) подразумевает замену дифференциального оператора разностным нужного порядка.

Уравнения (1.3) могут иметь различный вид. Пока у нас простейшие модели – решение этих(этого) уравнения не составит труда. Дальше будем думать. Вместе с этими уравнениями могут быть различные критерии и корректоры.

## 2 Общий подход

### 2.1 Принципиальная архитектура

Код модульный. «Большие» сущности (модель, метод, сетка – см.ниже) являются чисто описательными классами, содержащими соответствующие базовые «кирпичики» (корректоры, сеттеры, интерполяторы и т.д.) (from Sasha - то есть ссылки на них?).

## 2.2 Что задаётся в задаче

В задаче задаются:

- геометрию задачи (тела, их расположение),
- граничные и контактные условия (**Calculator** + область действия).
- начальные условия
- физическая модель для неразрушенного тела (**DeformationModel** по тексту ниже),
- физическая модель разрушения (**FailureModel** по тексту ниже),
- численный метод (**Solver** по тексту ниже),
- тип сетки (**Mesh** по тексту ниже),
- интерполятор (**Interpolator** по тексту ниже, зависит от метода и сетки, фактически определяет порядок по пространству) (from Sasha - нужен ли он здесь? Может его в численный метод?),

## 3 Модель

### 3.1 DeformationModel

Для пущей структурированности и удобства имплементации различной физики предлагаю ввести класс **DeformationModel**.

Переменная **DeformationModelName**.

В этот класс предлагаю ввести следующие сущности:

- **Material** material – материал,
- Информация о требуемом типе **Node**’ов. Далее при создании сетки должны использоваться **Node**’ы этого типа. Вероятно, потребует шаблонизации класса сетки. Общая схема, вероятно, по аналогии текущим видом MeshLoader’ов – модель создаёт сетку с нодами нужного типа, после чего Loader грузит геометрию,
- **MatrixSetter** matrixSetter – заполняет матрицы текущей модели,
- **InHomogeneousSetter** inHomogeneousSetter – заполняет правую часть уравнений,
- **Correctors** correctors – набор корректоров, если модель их подразумевает (пример - идеальная пластика на базе корректора).

Внутри всего указанного неявно скрывается размерность вектора  $\vec{u}$ .

Варианты моделей:

- Elasticity,
- ElasticityFiniteStrains,

- NonLinearElasticity,
- Plasticity,
- ThermoElasticity.

## 3.2 FailureModel

**FailureModel** с хорошей точностью совпадает с текущей реализацией. Содержит набор критериев и корректоров. Критерии и корректоры логически включают в себя как уравнения, так и алгоритм их решения (не обращаются в общем случае к дополнительным внешним классам).

Переменная **FailureModelName**. Переменная **FailureModelType** – = **discrete** or = **continuum**.

Примерные варианты реализаций(дочерние классы):

- FailureDiscrete,
  - MisesCriterion,
  - MohrCoulombCriterion,
  - HashinCriterion,
  - TsaiHillCriterion,
  - TsaiWuCriterion;
- FailureContinuum,
  - Failure1Order,
  - Failure2Order;

## 4 Метод

### 4.1 GCMsolver

Родительский класс – **GCMsolver**. Его предлагаю сделать обобщённым.

Содержит переменные **spaceOrder**, **timeOrder**, **bufNodes**. А также **bufCoefficients** – наклоны характеристик, которые уточняются в процессе решения.

Далее, флаг **HomogeneousSystem**. Необходимы отдельно метод для однородных систем и отдельно для неоднородных систем.

Далее, поскольку у нас сеточно-характеристический метод и больше никого (появится FEM будет FEMsolver) разумно определить сюда базовые кирпичи GCM'а.

- **CrossPointFinder** crossPointFinder - ищет точку пересечения характеристики,
- **ModelPtr** – ссылка на текущую модель,
  - **MatrixSetter** matrixSetter – заполняет матрицы,

– **InHomogeneousSetter** inHomogeneousSetter – заполняет правую часть уравнений, (from Sasha - эти две вещи в модель)

- **Decomposer** decomposer – разлагает матрицы (солвер несёт с собой «декомпозицию по умолчанию», модель может (как именно?) сказать, что нужен другой декомпозиционер (пример – у меня изотропное тело и линейная упругость, разложение матриц известно в явном виде)),
- **InHomogeneousSolver** inhomogeneousSolver – используется для моделей с правой частью, решает уравнение на перенос инвариантов  $\vec{\xi}$ :

$$\frac{\partial \vec{\xi}}{\partial t} = \Omega \vec{F}, \quad (4.1)$$

- **Interpolator** interpolator – интерполирует значения инвариантов в точке, зависит от типа **Mesh**'а (не всё ко всему применимо), полностью инкапсулирует логику получения нового значения (классический гибридный метод – это фактически такой умный интерполятор, который использует то 1-ый, то 2-ой порядок), задаётся в таске («а давайте всё то же самое, но теперь вторым порядком»),
- **MeshMover** meshMover – двигает узлы, решая уравнение (1.2) нужным порядком,
- **FailureSolver** failureSolver – отвечает за решение (1.3), скорее всего, является просто методом, физически вызывая **FailureModel**, в которой критерии и корректоры содержат нужную математику целиком.
- **SplittingMethod** splittingMethod – в каком порядке (за один полный шаг по времени) происходит расчёт отдельных блоков шага по времени (пространственный расчёт по трём направлениям, движение сетки, применение корректоров и моделей разрушения)
  - первый порядок (расщепления по времени)- все по порядку,
  - второй порядок - некая симметричная структура

Это должен быть класс, описывающий эту последовательность действий. Возможно, он сильно связан с моделью.

Если кто знает TVD, ENO, аппроксимационную вязкость или любую вязкость – милости просим.

Основной метод **doNextTimeStep** – выполняет следующий шаг по времени.

## 4.2 Calculator'ы

Собственно:

- VolumeCalculator,
- BorderCalculator,

В  
смыс-  
ле,  
это  
бу-  
дет  
от-  
дель-  
ный  
но-  
вый

- ContactCalculator.

Примерно в том виде, какой есть. Не все применимы ко всем моделям.

### 4.3 CrossPointFinder

Родительский класс. Производные классы – реализации конкретного порядка и просто разные реализации. В зависимости от реализации получает набор нодов и реологических параметров

Переменная **spaceOrder**.

Флаг **linearCharateristics** – если характеристики – прямые линии, в соответствии с моделью тут следует использовать первый порядок, дающий точное положение. Такакая же ситуация как и с **HomogeneusSystem**. Тут два варианта:

- отдельно метод второго порядка для прямых характеристик, с указанием нужного метода в модели;
- На этапе инициализации **Model** программа понимает, что нужно использовать линейный **Finder** для метода второго порядка.

Предполагаемые реализации:

- CrossPointFinder1Order;
- CrossPointFinder2Order.

### 4.4 Interpolator

Зависит от типа **Mesh**'а (не все со всеми могут работать).

Неоходимы отдельные реализации классов:

- Interpolator1Order;
- Interpolator2Order;
  - Interpolator2Order;
  - InterpolatorLimiter,
    - \* InterpolatorLimiterMinMax,
    - \* InterpolatorLimiterLinear.

### 4.5 MatrixSetter

Получает **curNode** и заполняет матрицы  $\mathbf{A}_x$ ,  $\mathbf{A}_y$ ,  $\mathbf{A}_z$  в соответствии с моделью.

Нужно  
описать,  
как задают-  
ся и при-  
меня-  
ются  
граничные  
и кон-  
тактные  
условия.

## 4.6 InHomogeneousSetter

Получает **curNode** и заполняет правую часть неоднородного уравнения  $\vec{F}$  в соответствии с моделью.

(from Sasha - последние две вещи надо перенести в Модель, они к Методу никак не относятся)

## 4.7 MeshMover

Переменная **timeOrder**. Решает уравнение (1.2) в соответствии с порядком:

- MeshMover1Order;
- MeshMover2Order.

Получает **curNode** и двигает его в соответствии с решением.

## 4.8 Decomposer

Реализации:

- NumericalDecomposer;
- AnalyticalDecomposer,
  - IsotropicDecomposer,
  - GeneralAnalyticalDecomposer.

## 4.9 InHomogeneousSolver

Переменная **timeOrder**.

Решаем уравнение на инварианты (4.1).

Предполагаемые реализации:

- InHomogeneousSolver1Order;
- InHomogeneousSolver2Order.

## 5 Сетка

Более-менее соответствует нынешнему виду. Должна учитывать:

- параллельность;
- потенциальную возможность перестройки в ходе счёта.

## 6 Вопросы

- Имена всех классов – важно на самом деле. Оно должно восприниматься интуитивно и соответствовать традициям англоязычной литературы.
- Ноды – как в итоге храним реологию? Что в нодах, что в материалах? Класс нода один со всеми возможными параметрами (координата, скорость, напряжение, плотность, повреждаемость, температура и т.д) или таки некая иерархия?
- В тексте бодро упоминаются TVD, ENO и компания. Насколько реально их реализовать на этой структуре? Что конкретно придётся сделать?
- Параллельность – кто из классов должен быть в курсе?
- Параллельность – есть ли тут реально место для GPU, что для этого нужно, кто из классов должен быть в курсе?
- Collision Detector – его место, с кем и как он связан?

## Todo list

|  |   |
|--|---|
| ■ Осознать, до конца ли континуальная модель ложится на такую структуру. . . .       | 3 |
| ■ Оно правда надо? Особенно про наклоны. (from Sasha - поместить в CrossPointFinder) | 3 |
| ■ В смысле, это будет отдельный новый солвер? . . . . .                              | 4 |
| ■ Нужно описать, как задаются и применяются граничные и контактные условия. .        | 5 |