



## Презентация по дипломной работе

Конечно-элементное моделирование и исследование прочности железобетонных конструкций при ударных воздействиях

Исполнитель: **Пудяков И.А.**

Научный руководитель: **Попов И.А.**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский политехнический университет», каф. «Механика и процессы управления», г. Санкт-Петербург, Россия

Санкт-Петербург  
2015



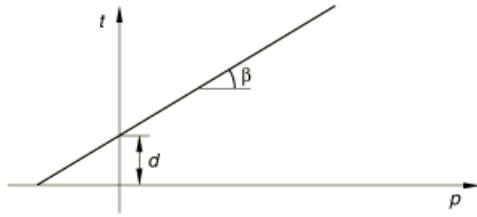
# Цели исследования

- Исследование работы различных моделей бетона с помощью метода конечных элементов
- Сравнение данных, полученных в результатах экспериментов
- Обзор применимости исследуемых моделей бетона при ударных воздействиях к проведенным экспериментам

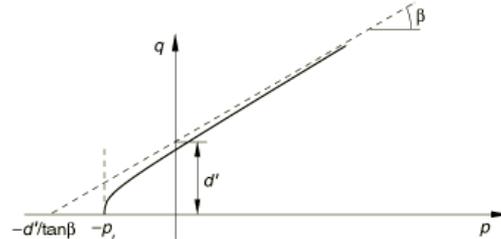


# Модели бетона

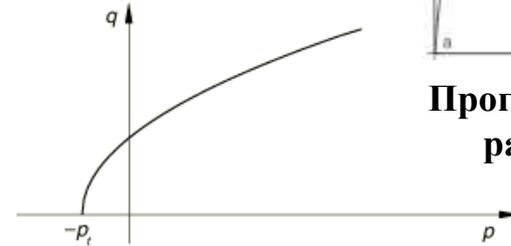
## Модель Друкера-Прагера



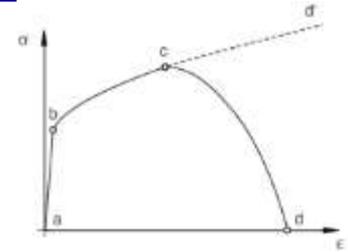
a) Linear Drucker-Prager:  $F = t - p \tan \beta - d = 0$



b) Hyperbolic:  $F = \sqrt{(d'|_0 - p|_0 \tan \beta)^2 + q^2} - p \tan \beta - d' = 0$

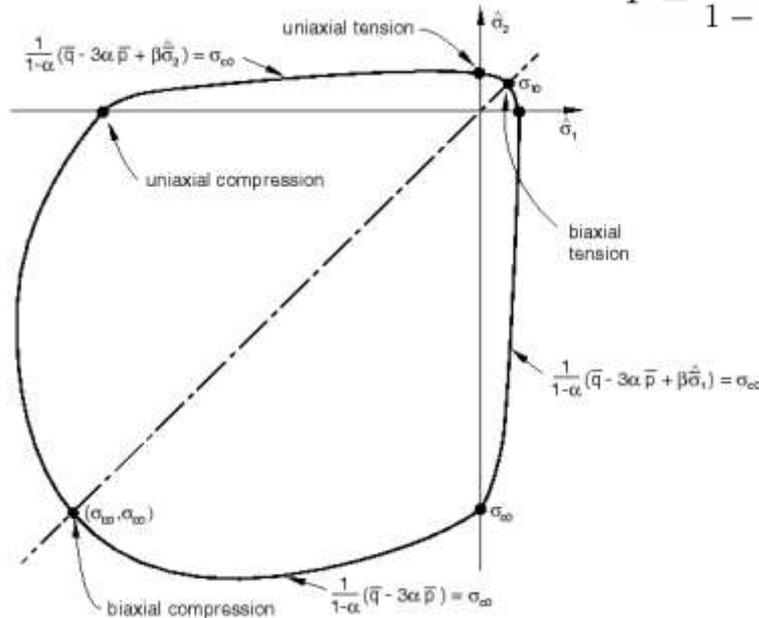


c) Exponent form:  $F = aq^b - p - p_t = 0$



Прогрессирующее разрушение

CDP-модель



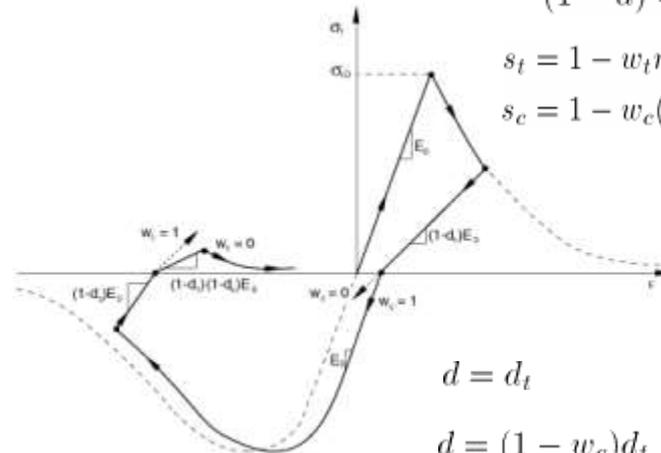
$$F = \frac{1}{1 - \alpha} \left( \bar{q} - 3\alpha\bar{p} + \beta(\bar{\epsilon}^{pl}) \langle \hat{\sigma}_{\max} \rangle - \gamma \langle -\hat{\sigma}_{\max} \rangle \right) - \bar{\sigma}_c(\bar{\epsilon}_c^{pl}) = 0,$$

$$E = (1 - d)E_0,$$

$$(1 - d) = (1 - s_t d_c)(1 - s_c d_t)$$

$$s_t = 1 - w_t r^*(\sigma_{11}); \quad 0 \leq w_t \leq 1,$$

$$s_c = 1 - w_c(1 - r^*(\sigma_{11})); \quad 0 \leq w_c \leq 1$$

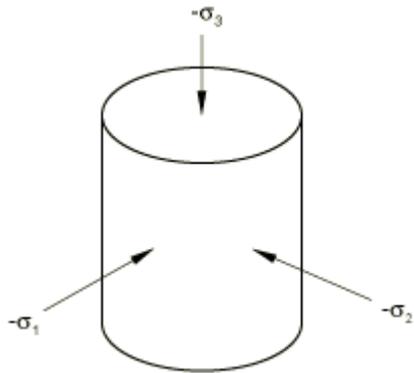


$$d = d_t$$

$$d = (1 - w_c)d_t$$



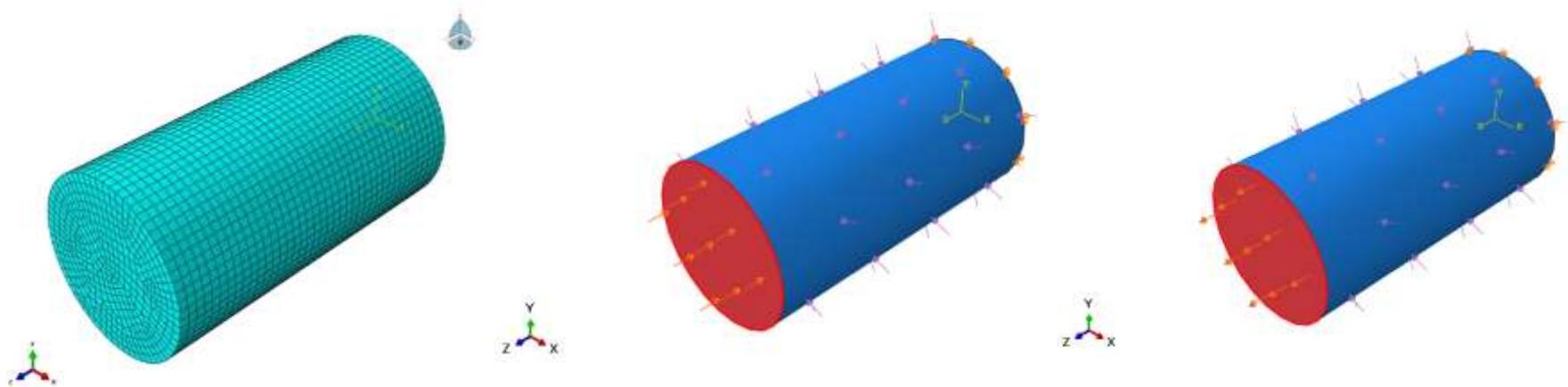
## Одноосное растяжение и сжатие цилиндрического бетонного образца



Высота 200 мм. Радиус основания – 50 мм

## CEB-FIP Model Code 90

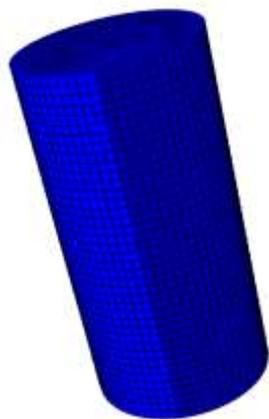
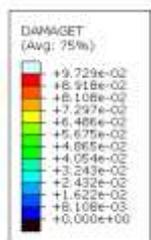
Класс бетона		C12
Модуль упругости	$E$ , ГПа	27
Предел прочности на сжатие	$F_{cm}$ , МПа	20
Предел прочности на растяжение	$F_{ctm}$ , МПа	1.6
Деформация пика на диаграмме сжатия	$\epsilon_c$	0.0022
Деформация пика на диаграмме растяжения	$\epsilon_t$	0.00015



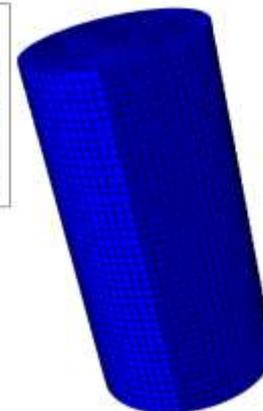
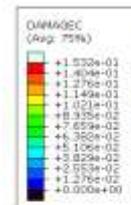


# Одноосное растяжение и сжатие цилиндрического бетонного образца

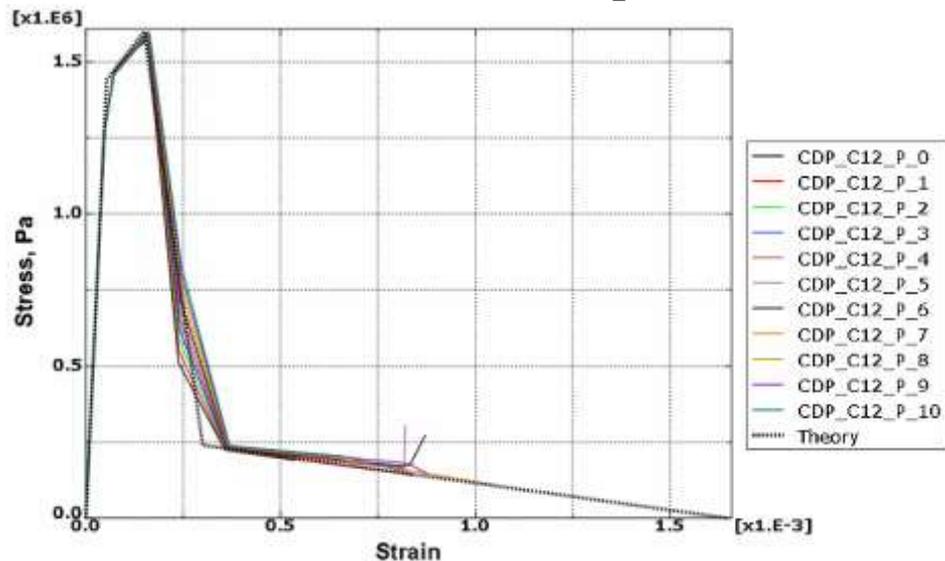
Сжатие



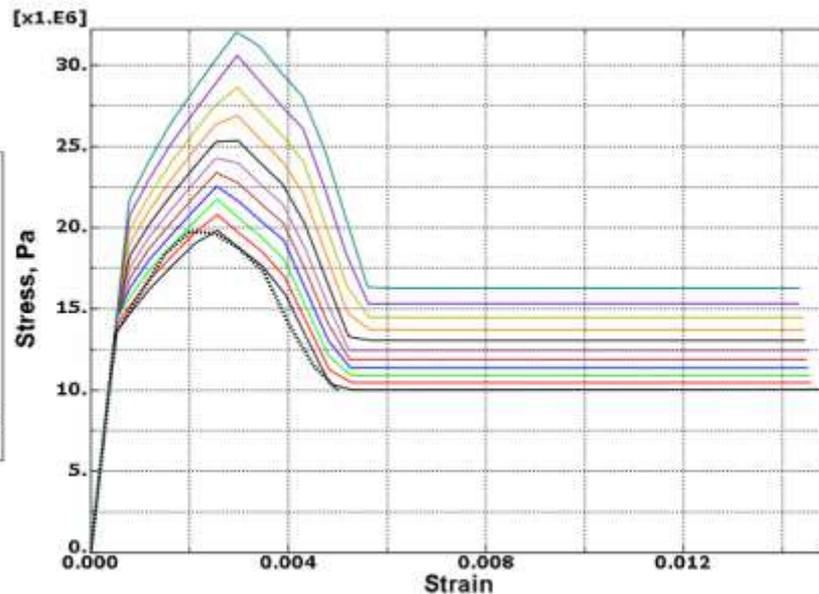
Растяжение



Модель CDP, неявный метод, растяжение:



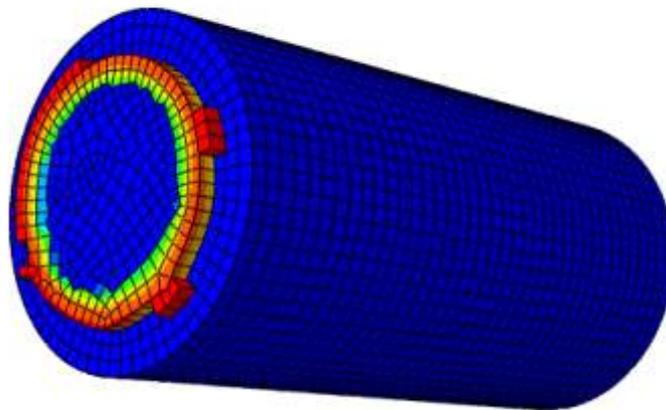
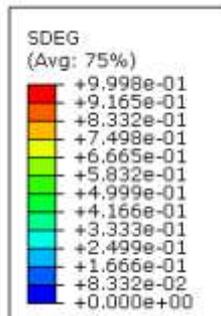
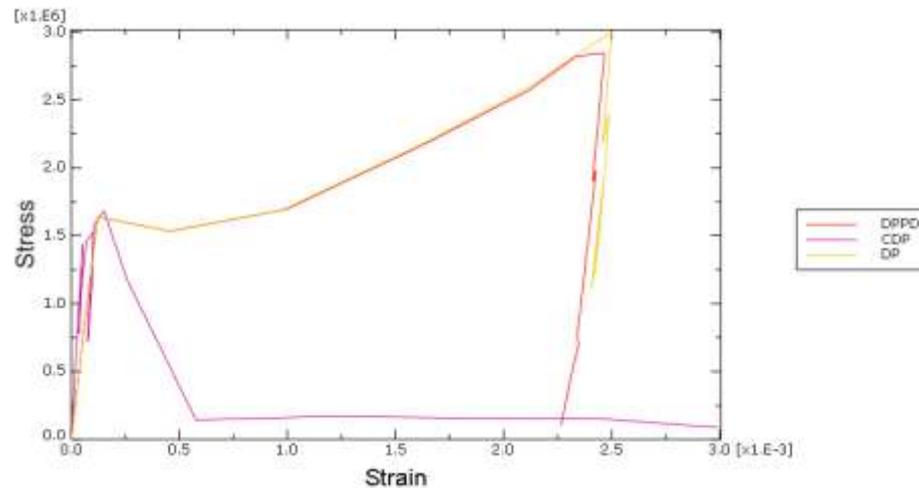
Модель CDP, неявный метод, сжатие:



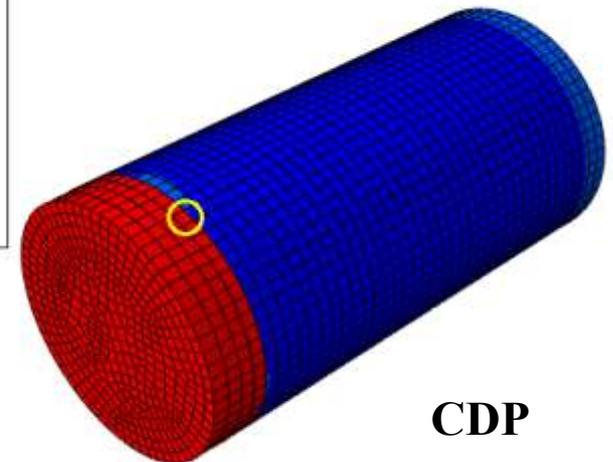
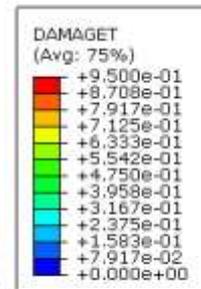


## Моноосное растяжение и сжатие цилиндрического бетонного образца

### Сравнение модели Друкера-Прагера, Друкера-Прагера с прогрессирующим разрушением и CDP, растяжение, явный метод:



Модель Друкера-Прагера



CDP

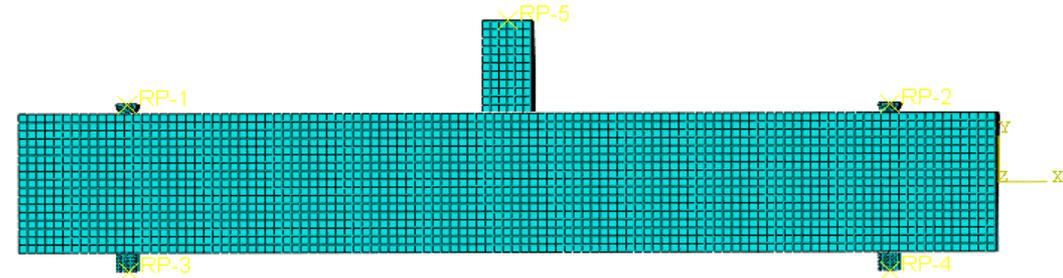


# Импульсивное взаимодействие ударника и железобетонной балки

## Параметры эксперимента

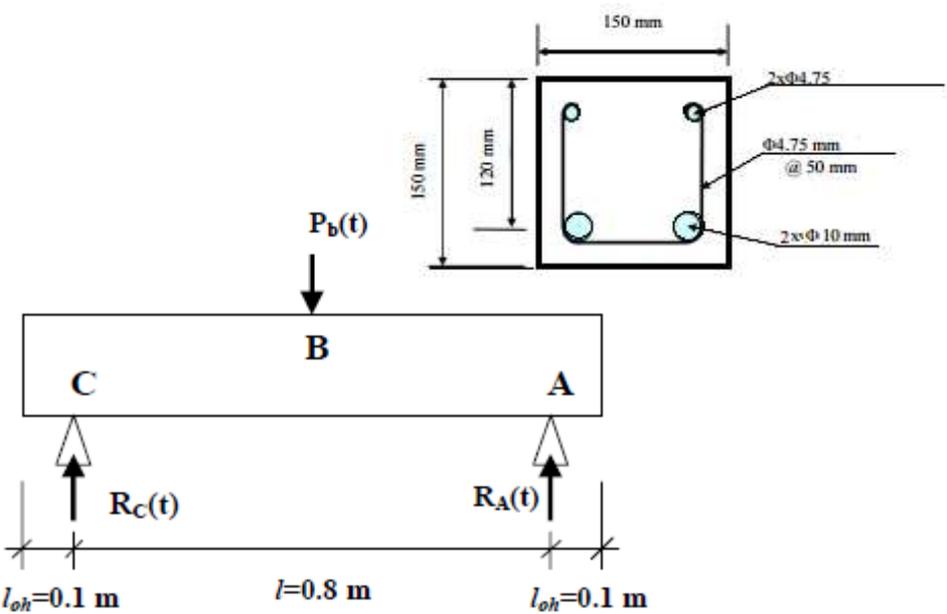


## Конечно-элементная постановка задачи



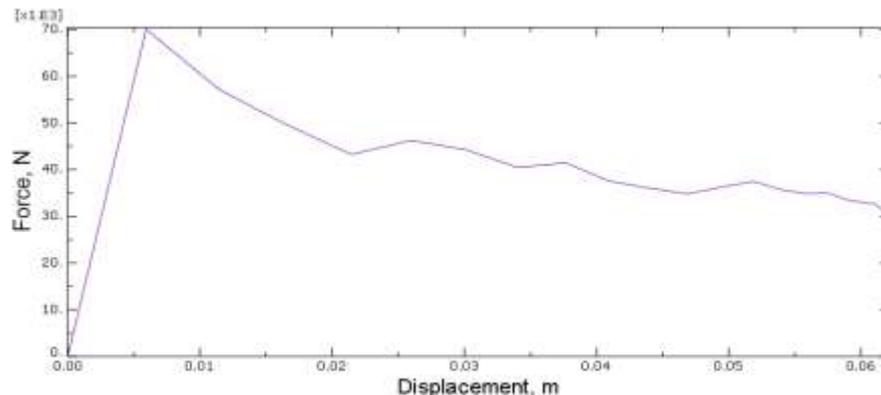
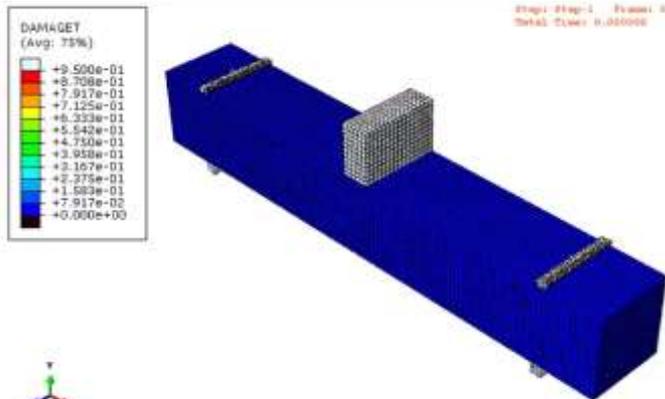
## CEB-FIP Model Code 90

Класс бетона		C70
Модуль упругости	E, ГПа	42.5
Предел прочности на сжатие	$F_{cm}$ , МПа	78
Предел прочности на растяжение	$F_{ctm}$ , МПа	5.1
Деформация пика на диаграмме сжатия	$\epsilon_c$	0.0022
Деформация пика на диаграмме растяжения	$\epsilon_t$	0.00015

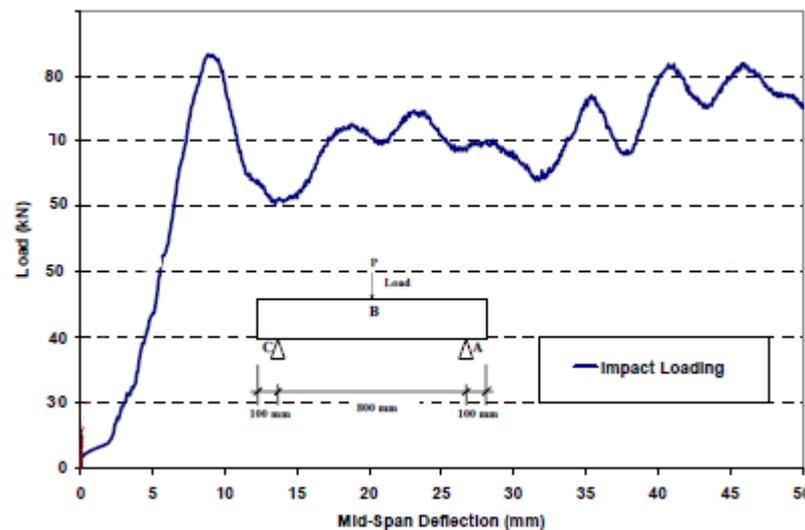
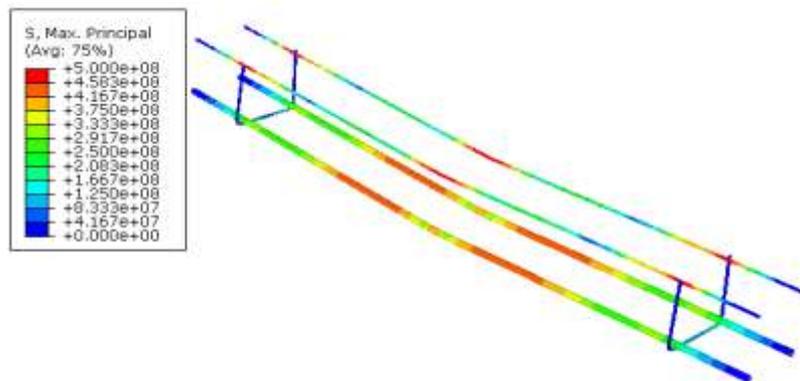


«Behavior of RC beams under impact loading: some new findings» (S.M. Soleimani, N. Bantia & S. Mindess)

## Concrete damaged plasticity



## Распространение трещин

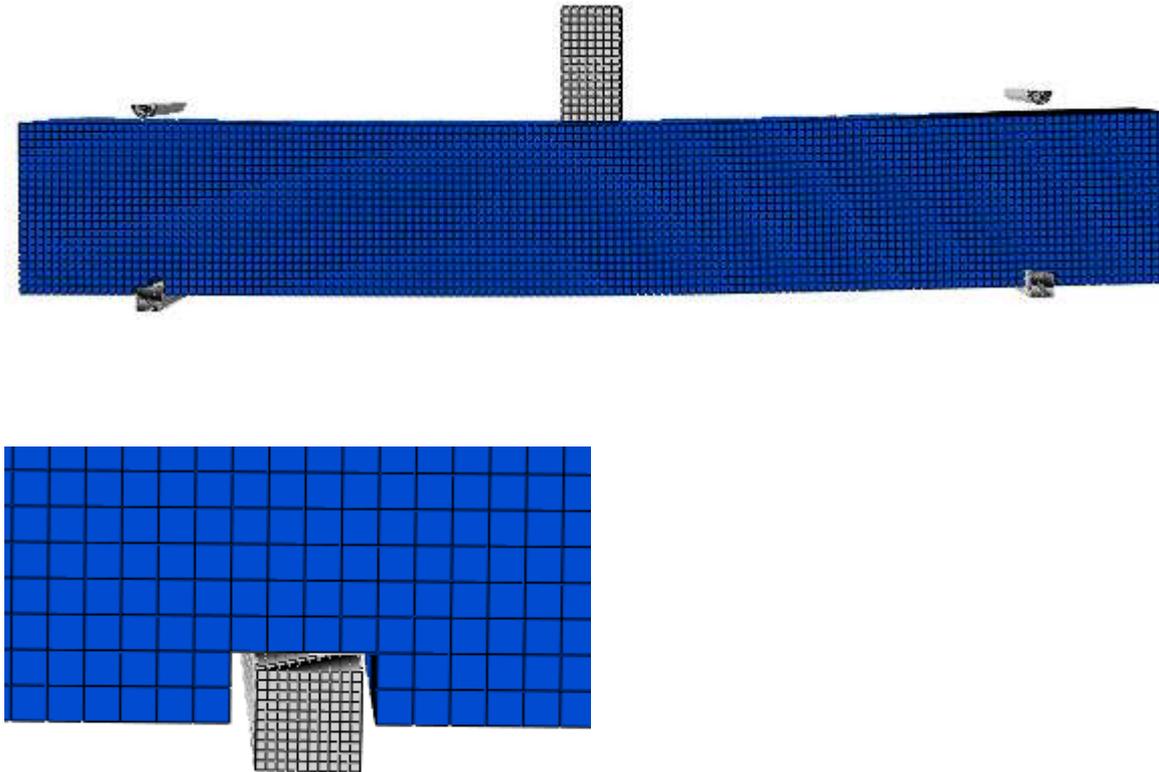


Пластических деформаций в арматуре не наблюдается

«Behavior of RC beams under impact loading some new findings» (S.M. Soleimani, N. Banthia & S. Mindess)



## Модель Друкера-Прагера



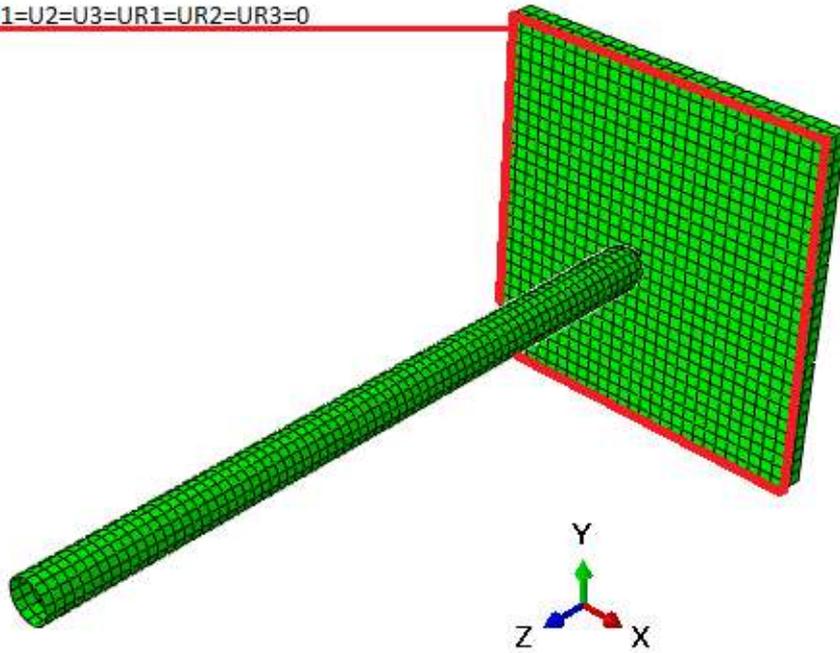
«Behavior of RC beams under impact loading: some new findings» (S.M. Soleimani, N. Banthia & S. Mindess)



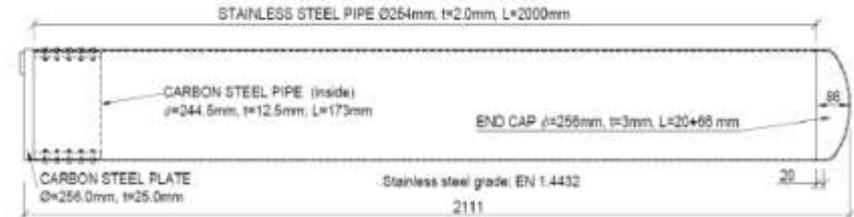
# Пробивание железобетонной мишени

## Конечно-элементная постановка задачи

$$U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0$$



## Установка натурального эксперимента



## Параметры материалов

Бетон			Сталь		
$f_c$ , МПа	$f_{ctk}$ , МПа	E, ГПа	$f_y$ , МПа	$f_u$ , МПа	$\epsilon_u$ , %
65	3.71	26.915	661.7	715	10.13

«IRIS\_2010 – PART II: EXPERIMENTAL DATA (A. Vepsä, A. Saarenheimo, F. Tarallo, J.-M. Rambach, N. Orbovic, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland).

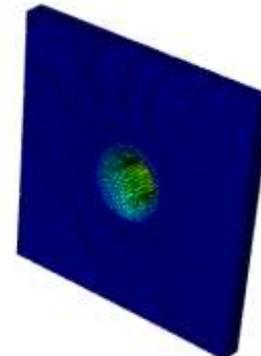
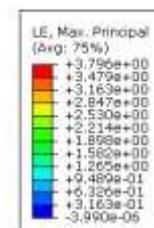
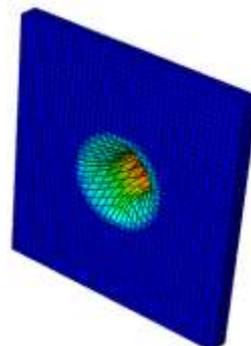
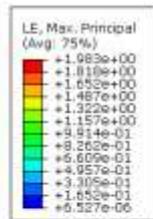
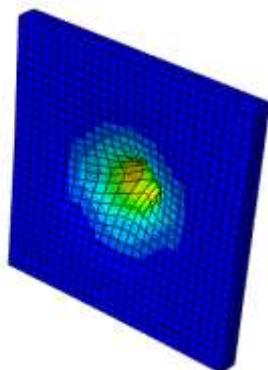
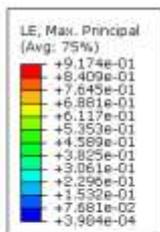


75 мм

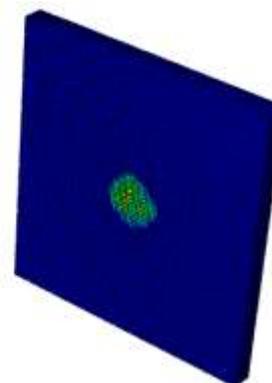
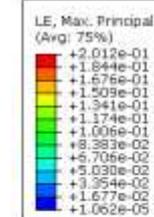
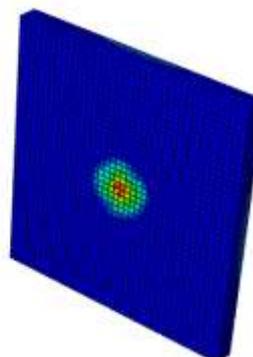
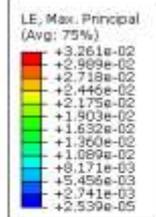
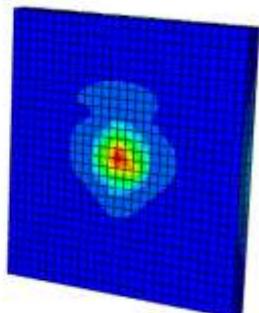
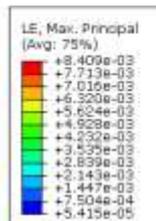
50 мм

25 мм

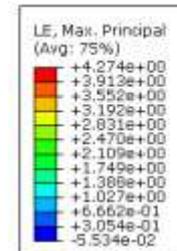
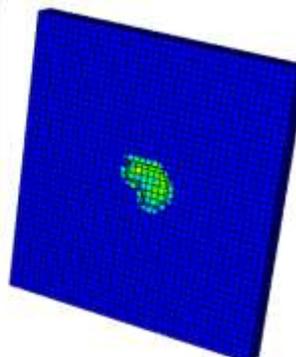
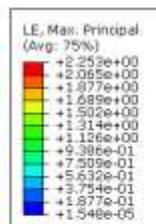
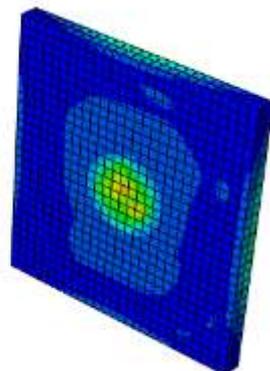
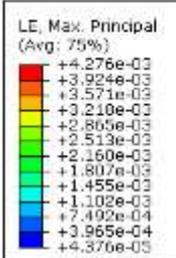
CDP



D-P



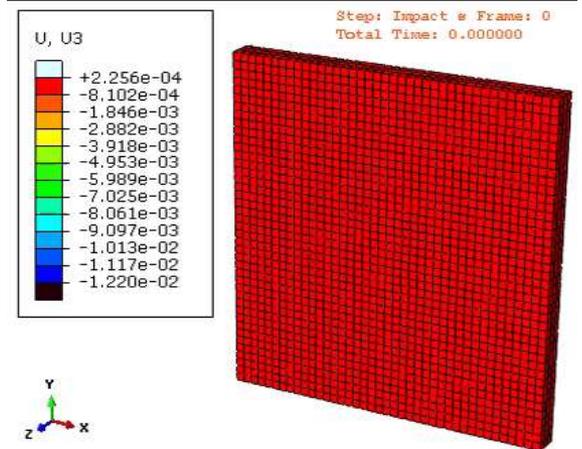
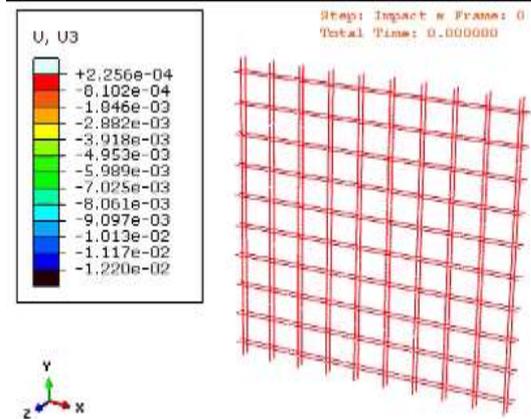
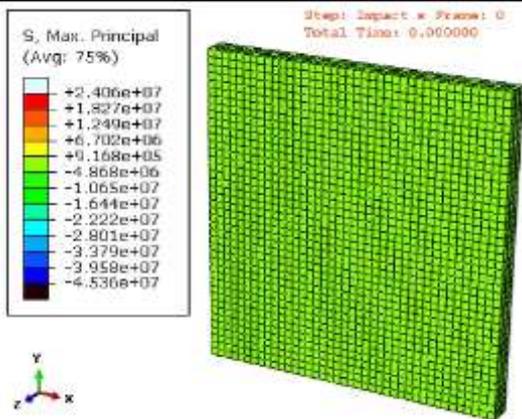
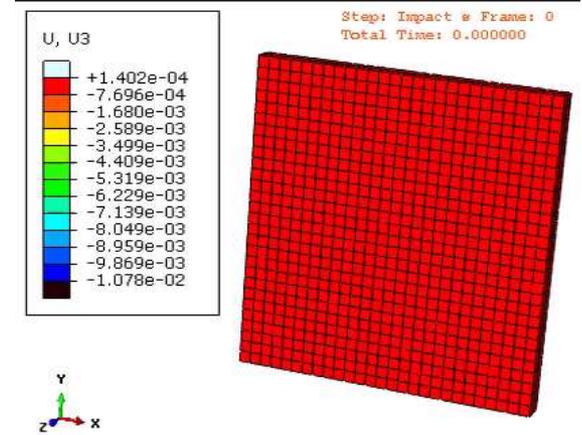
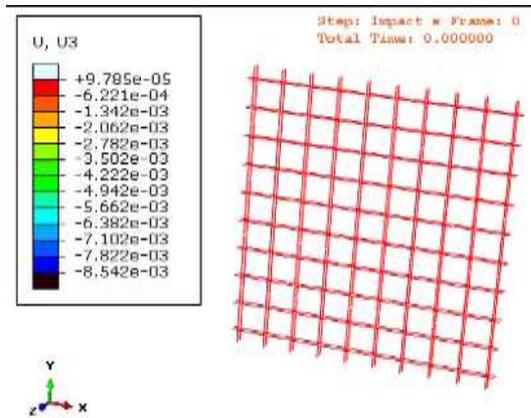
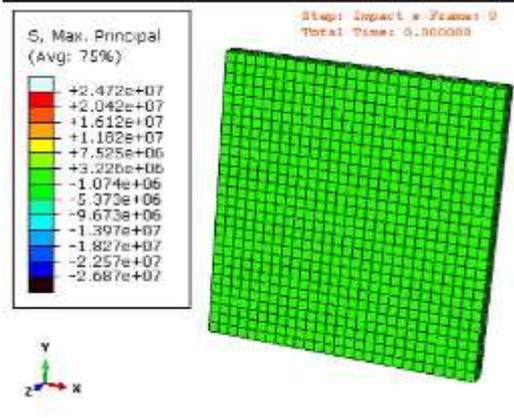
D-P with PD&F





# Модель Друкера-Прагера

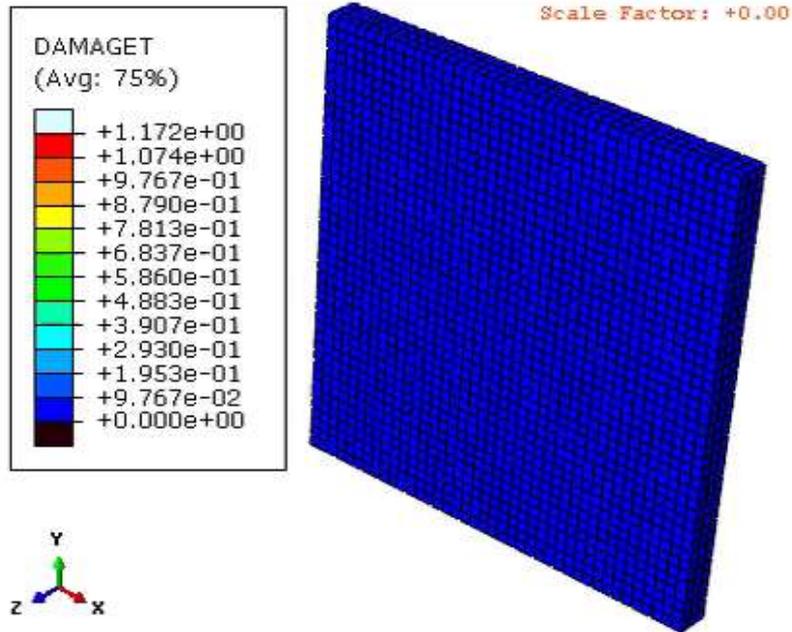
Размер элемента 75 мм  
Размер элемента 50 мм



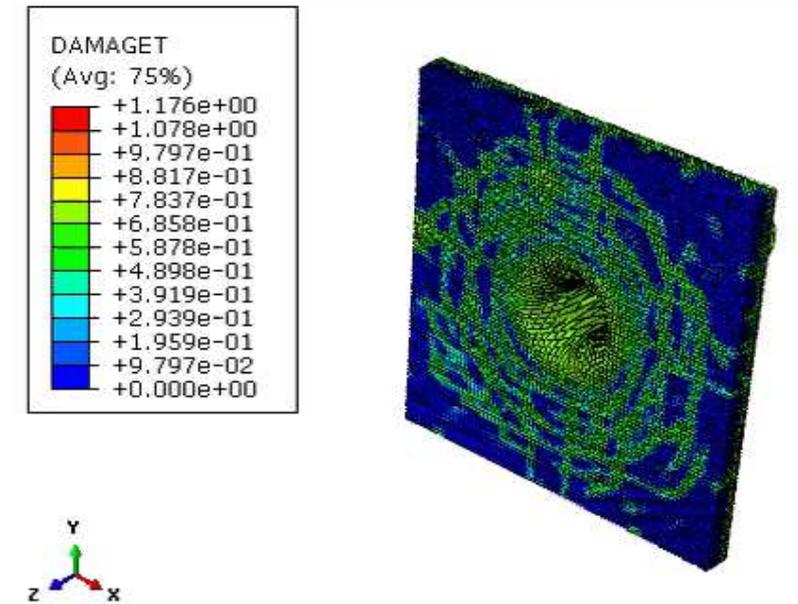


# Модель CDP

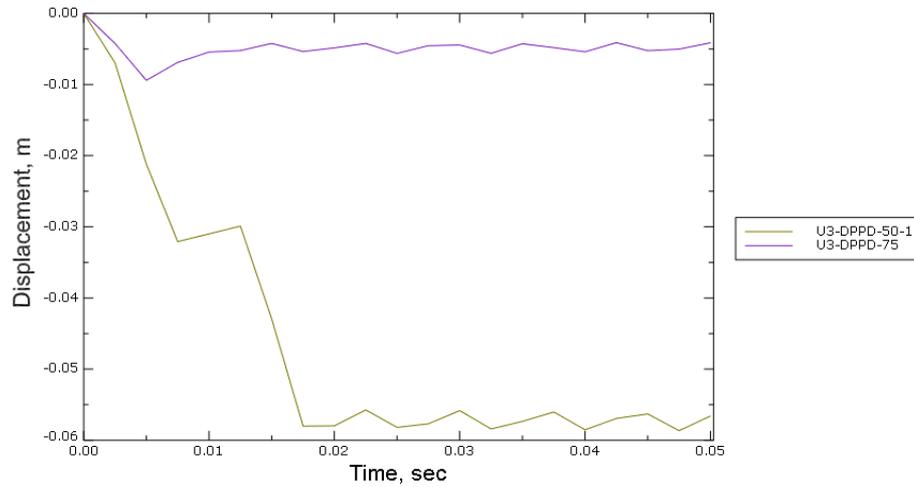
## Размер элемента 50 мм



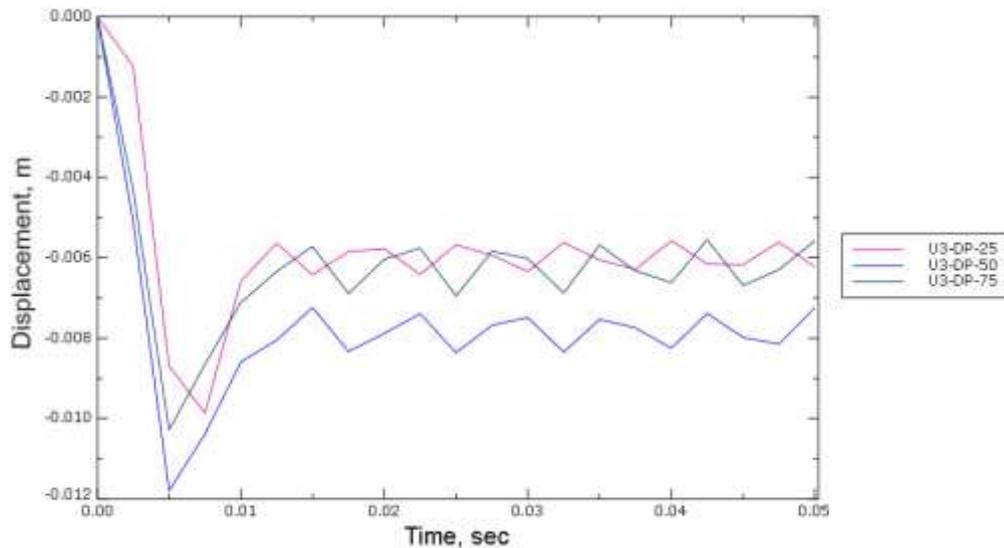
## Размер элемента 25 мм



# Характерное распространение трещин в CDP-модели бетона



**Сравнение моделей Друкера-Прагера с прогрессирующим разрушением для размеров элемента 75 и 50 мм.**



**Сравнение моделей Друкера-Прагера для размеров элемента 75 и 50 и 25 мм.**



## Выводы:

- Результаты проведенных экспериментов для CDP и модели Друкера-Прагера имеют характерные различия, связанные с грубостью построения моделей.
- Модель бетона CDP хорошо работает в задачах, в которых не происходит полного разрушения участков образца, а эксперимент ограничен лишь появлением трещин.
- Модель Друкера-Прагера, используя Progressive damage and failure, может хорошо моделировать пробивания, однако, модель сильно зависит от размеров конечных элементов

## Пути улучшения моделей:

- Уменьшение размеров конечных элементов
- Уточнение параметров материалов
- Уточнение условий (граничные условия, контактные взаимодействия, внутренние трения)



**Спасибо за внимание!**