

Применение новых технологий и материалов для изготовления самозаклинивающихся блочных элементов для строительства многослойных «плавающих» дорог



**Пиирайнен Виктор Юрьевич**

*Санкт-Петербургский горный университет, Россия*

**23 июля 2018 г.**

# РАЙОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БОЛОТ РАЗНЫХ ТИПОВ



- полигональные (травяно-моховые с кустарниками)
- бугристые (кустарничково-моховые)
- грядово-мочажинные (травяно-моховые)
- верховые сфагновые
- низинные травяные
- бугристые (кустарничково-моховые) и ерничково-сфагновые с лиственницей низинные и переходные
- низинные и переходные ерничково-сфагновые с лиственницей

Масштаб 1:75 000 000



В настоящее время в Западной Сибири  
насчитывается не менее 1000 кустовых  
площадок





# Дороги западной Сибири в весенне-летний период





# Автомагистрالی Западной Сибири

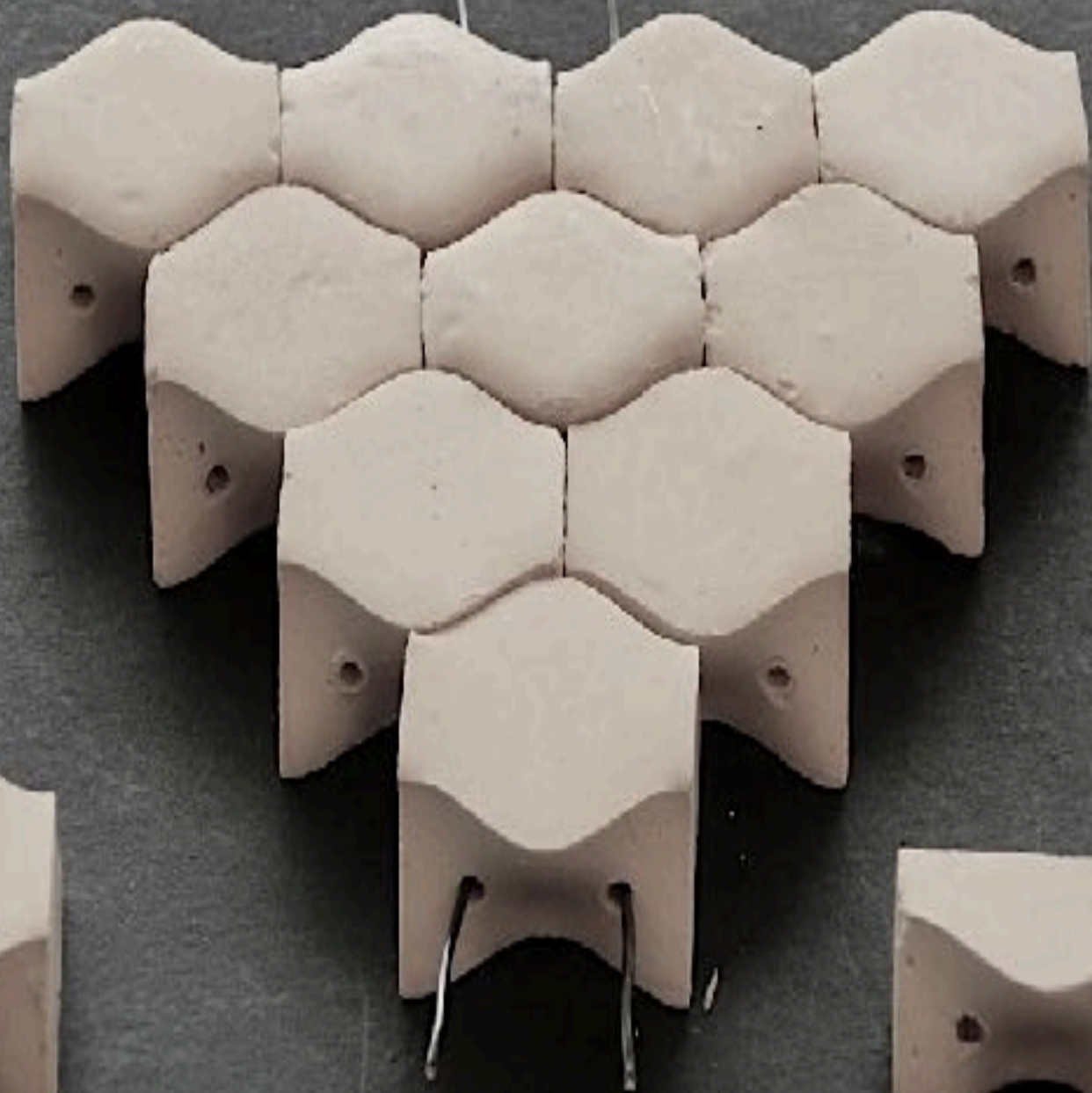




Стоимость строительства дорог  
в Западной Сибири  
в 8-10 раз превосходит стоимость  
аналогичных работ  
в Центральных регионах страны





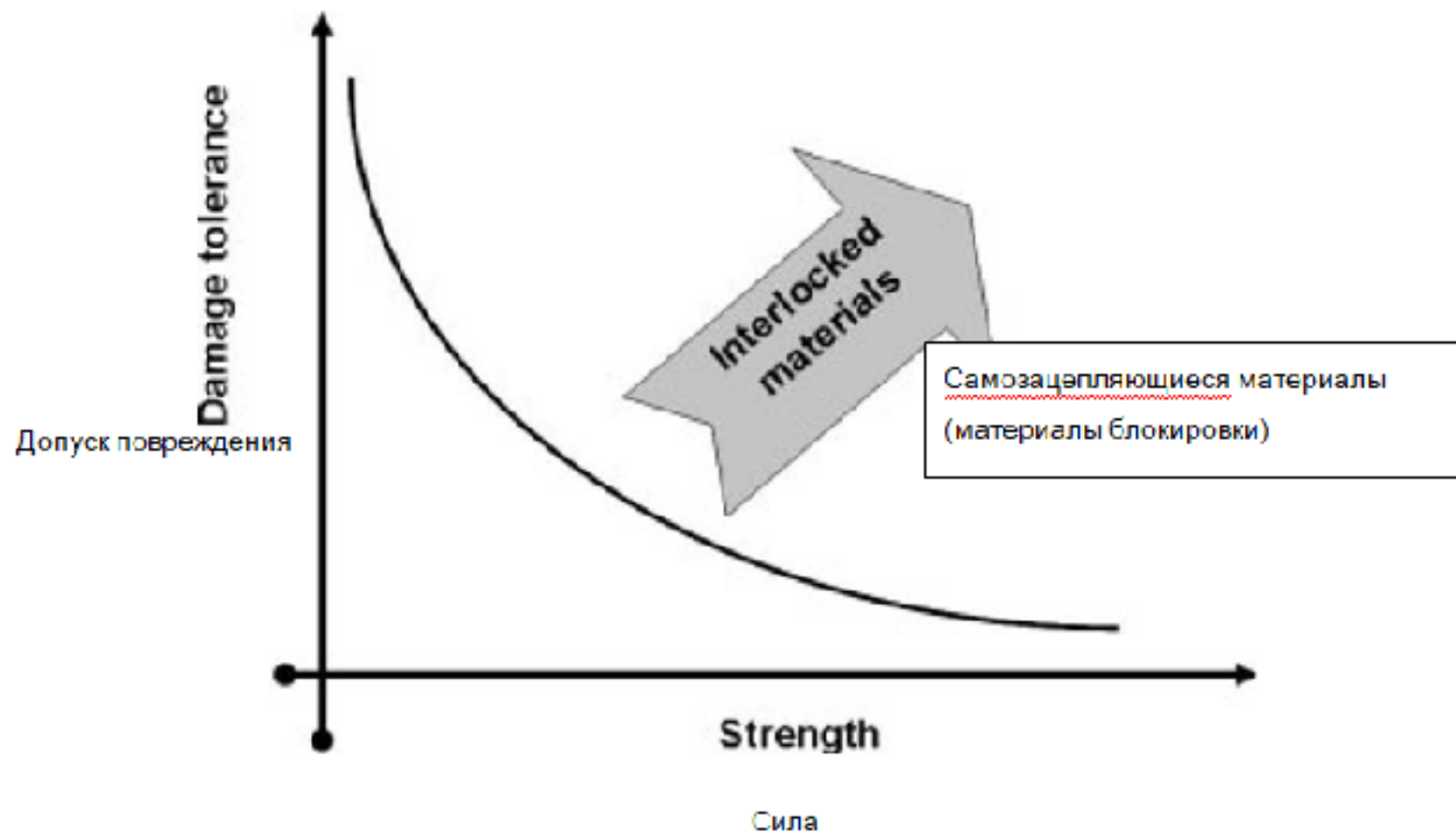








# Ограничение производительности

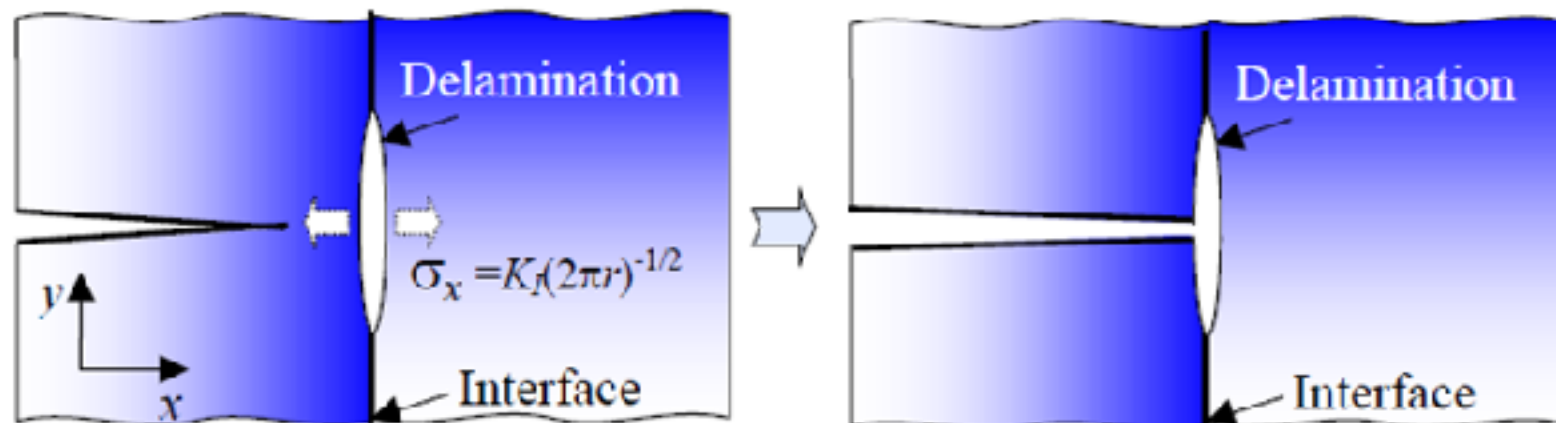


# Преимущества фрагментации





# Предотвращение распространения трещин



'Delamination' due to stress concentration.

'Delamination' leads to arrest of crack.

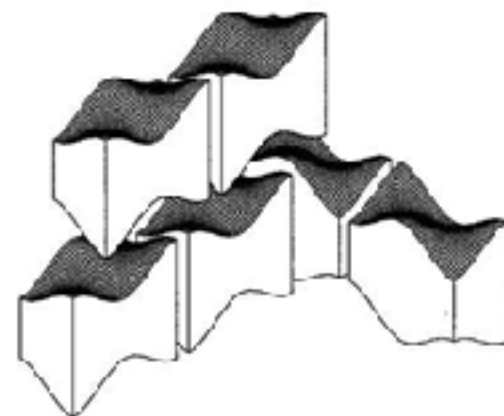
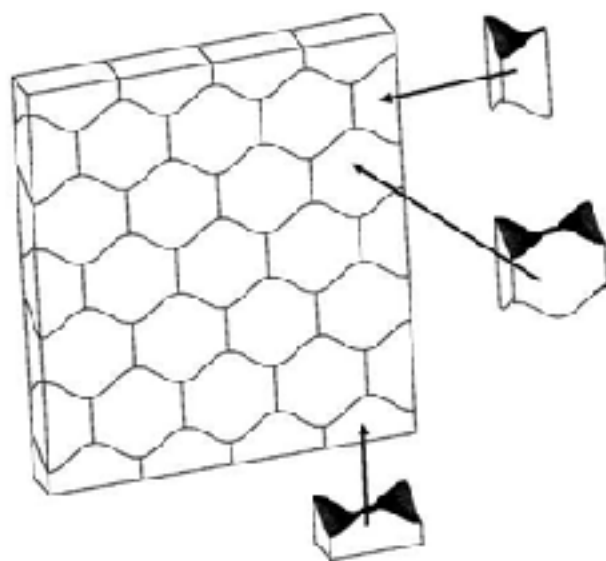
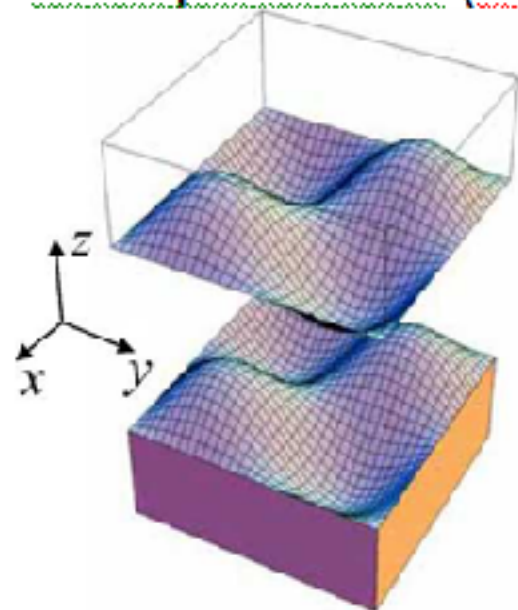
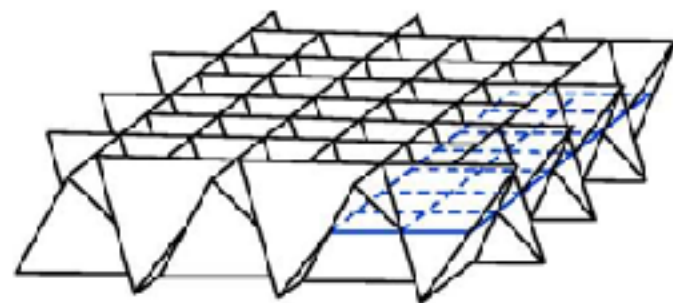
**Разделение из-за концентрации напряжений**

**Разделение приводит к задерживанию трещины**

*Отсутствие адгезии изолирует поврежденный элемент и предотвращает распространение трещин по границе раздела.*

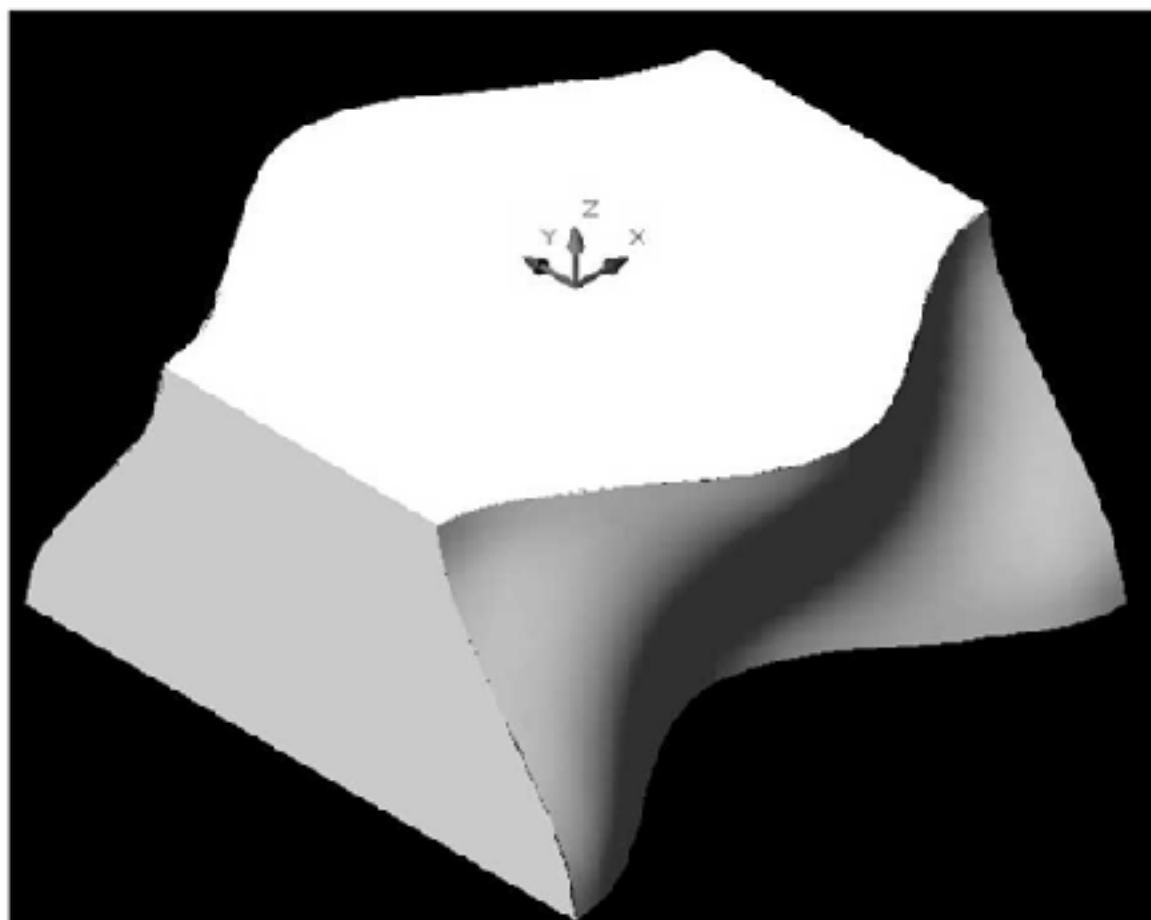
# Два класса взаимосвязанных фигур

1. Самозацепление идентичных выпуклых элементов
2. Самозацепление на неплоских поверхностях (остеоморфные блоки)

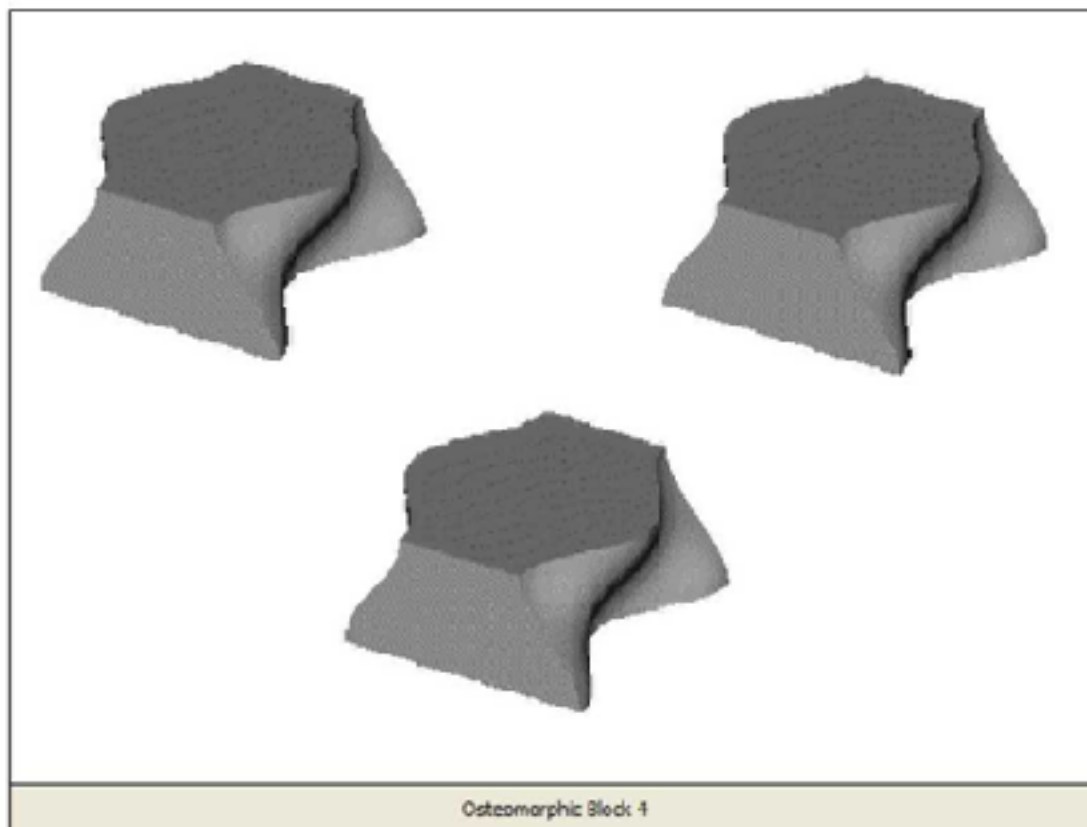




# Остеоморфный блок

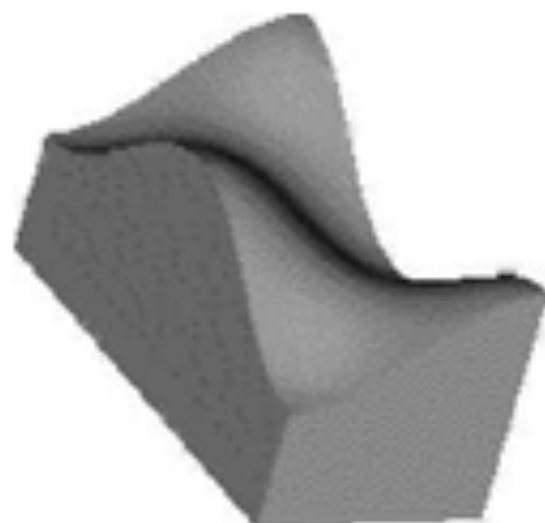


# Остеоморфный блок

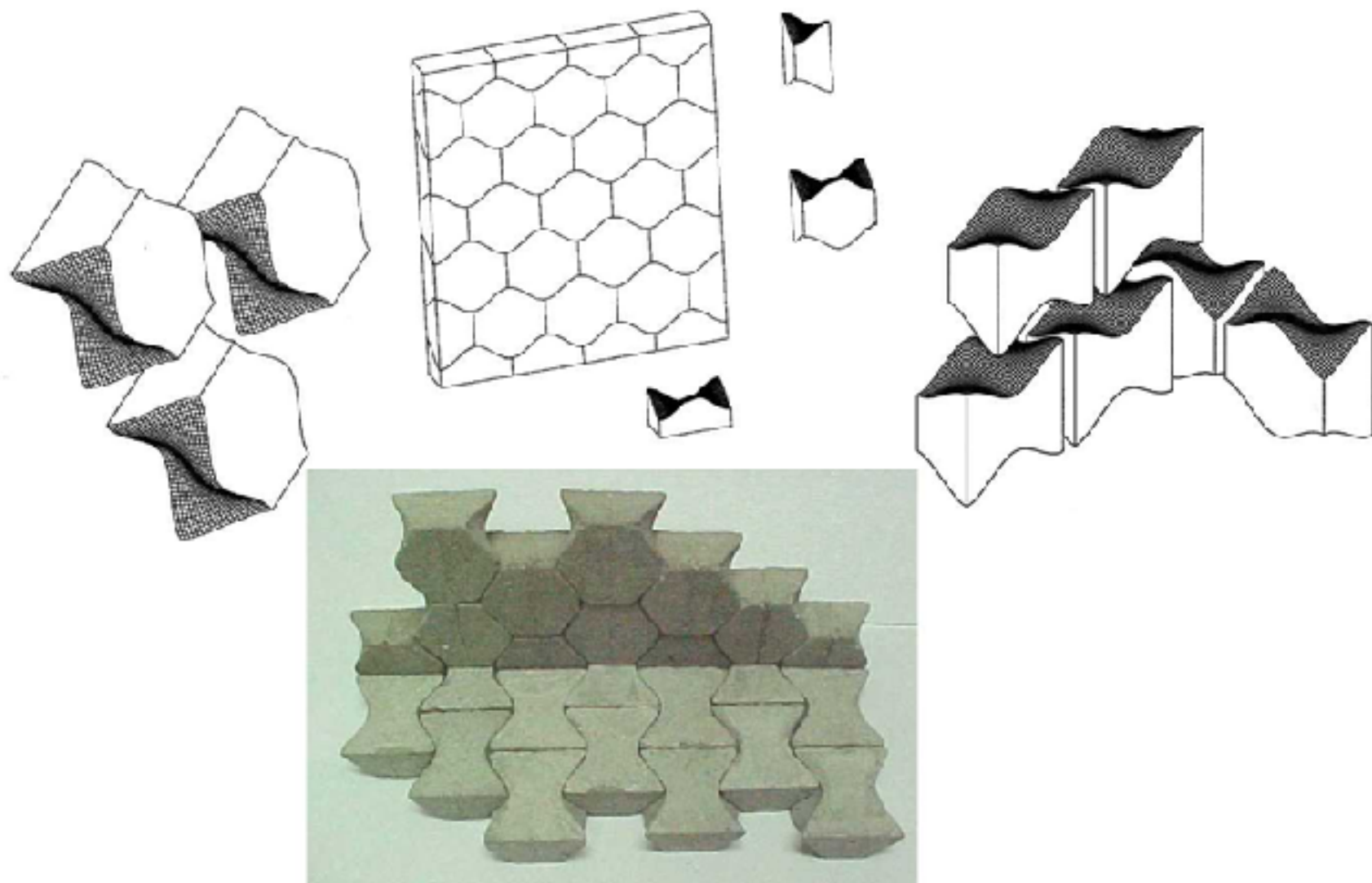




# Сборка стены



# Сборки остеомерфных блоков





# Структура столбцов



# Точечная нагрузка фрагментированной плиты



Сопротивление трещиноватости  
фрагментированной  
ПЛИТЫ

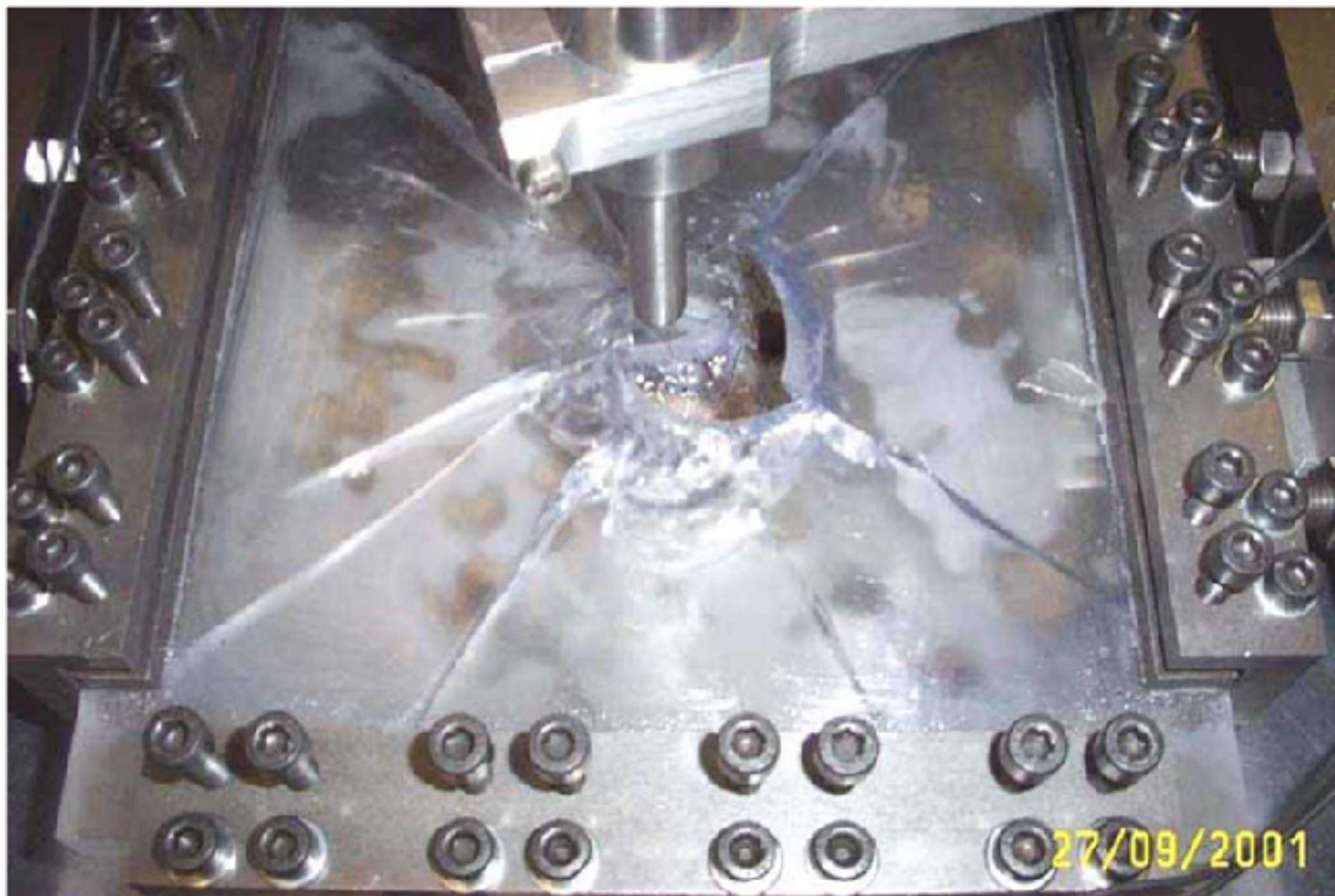




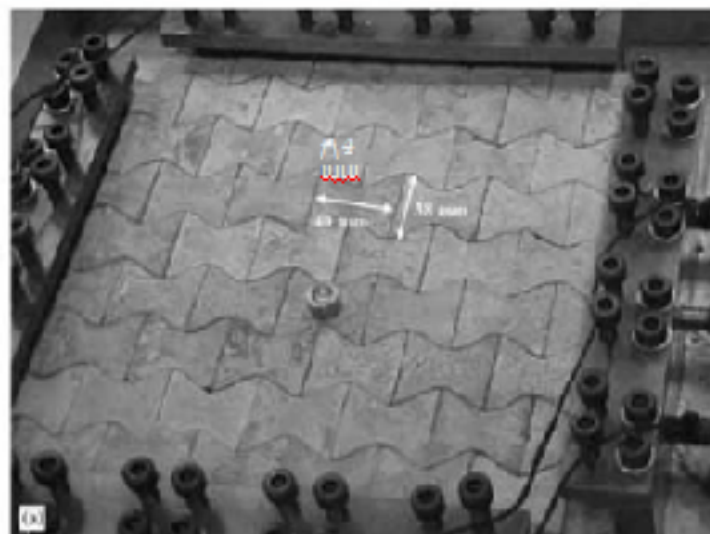
# Массивная (монокристаллическая) плита



# Разрушение монолитной плиты



# На примере бетона



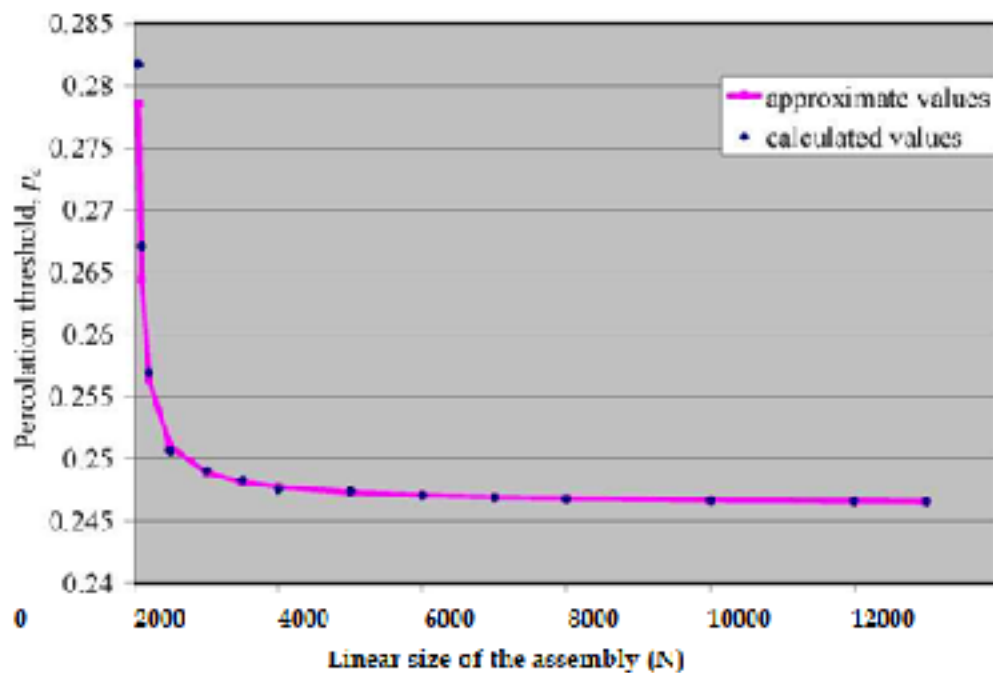
*фрагментированная*



*монолитная*



# Высокая устойчивость к локальным сбоям; большой предел перколяции



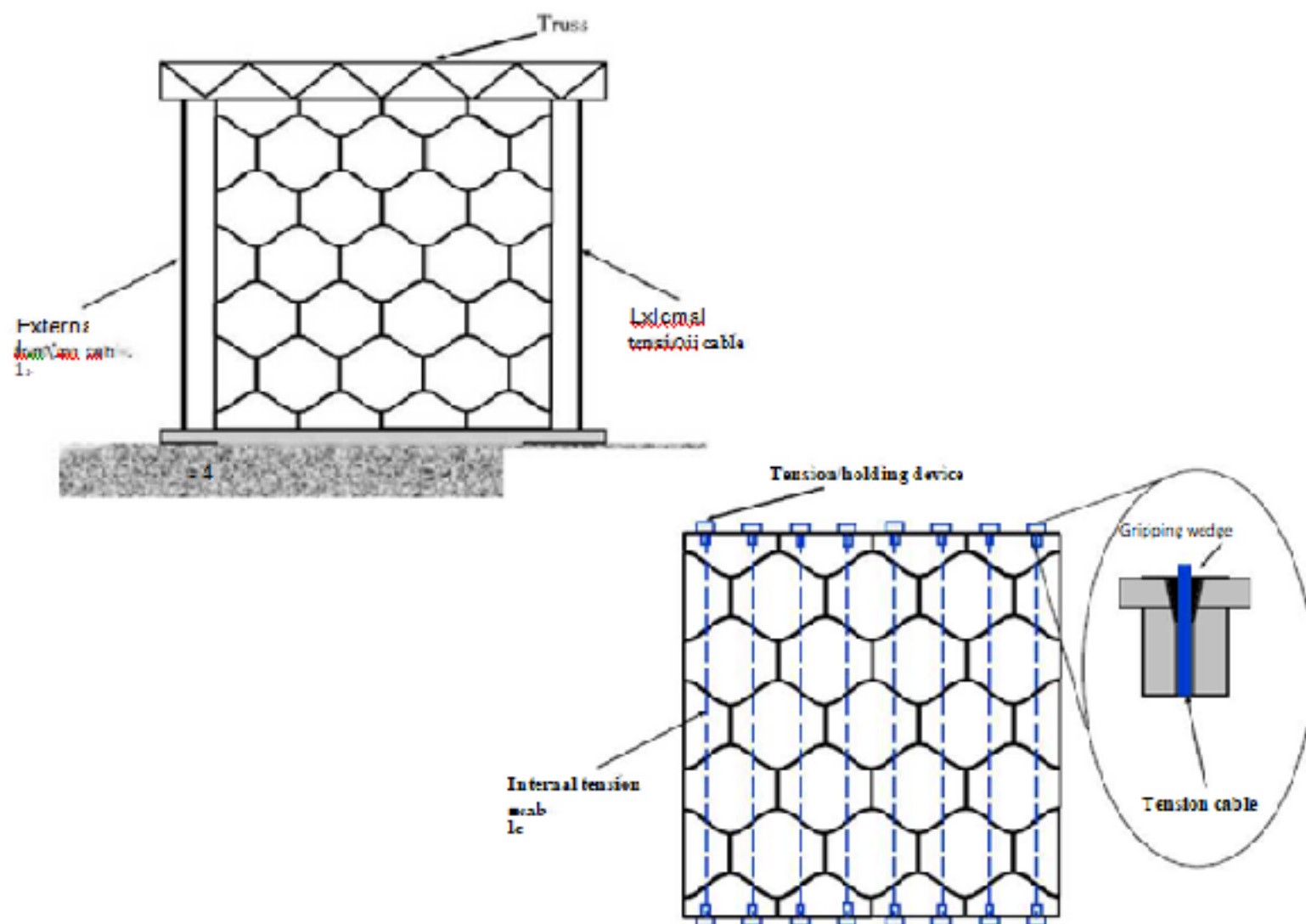
Предел перколяции:

$$p_c(N) = p'' + 0.8186 N^{-0.1827}$$

$$p'' = 0.2462$$

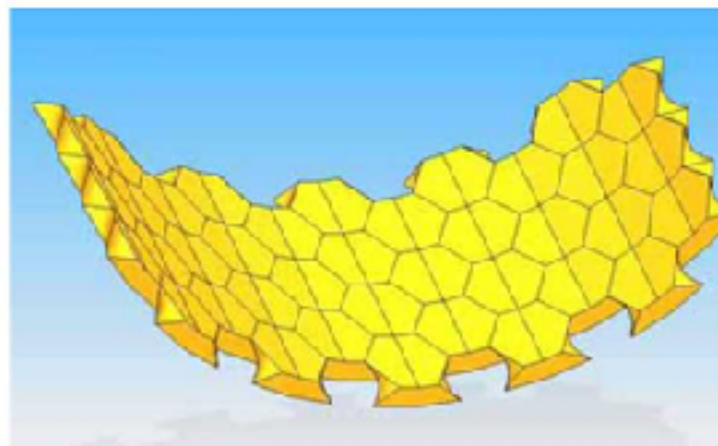
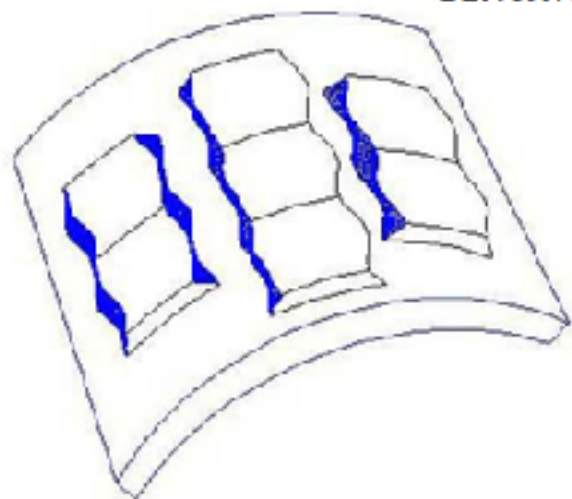
A. Molotnikov

# Варианты стяжения



# Защитная оболочка на основе остеоморфной плитки

*Плитка под приложенной силой*



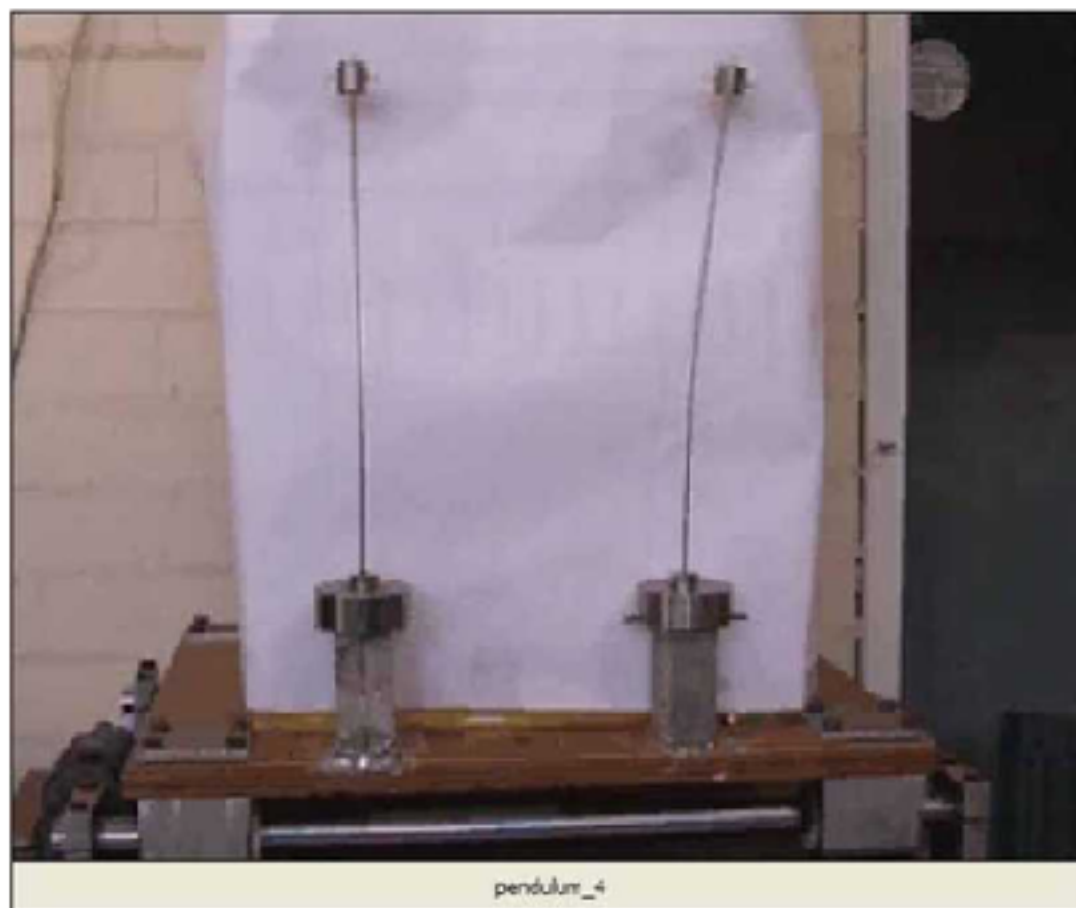
Остеоморфные плитки для  
облицовки криволинейных  
поверхностей.

Космический шаттл?





# Улучшенное демпфирование



# Изготовление блоков (студенческий проект)

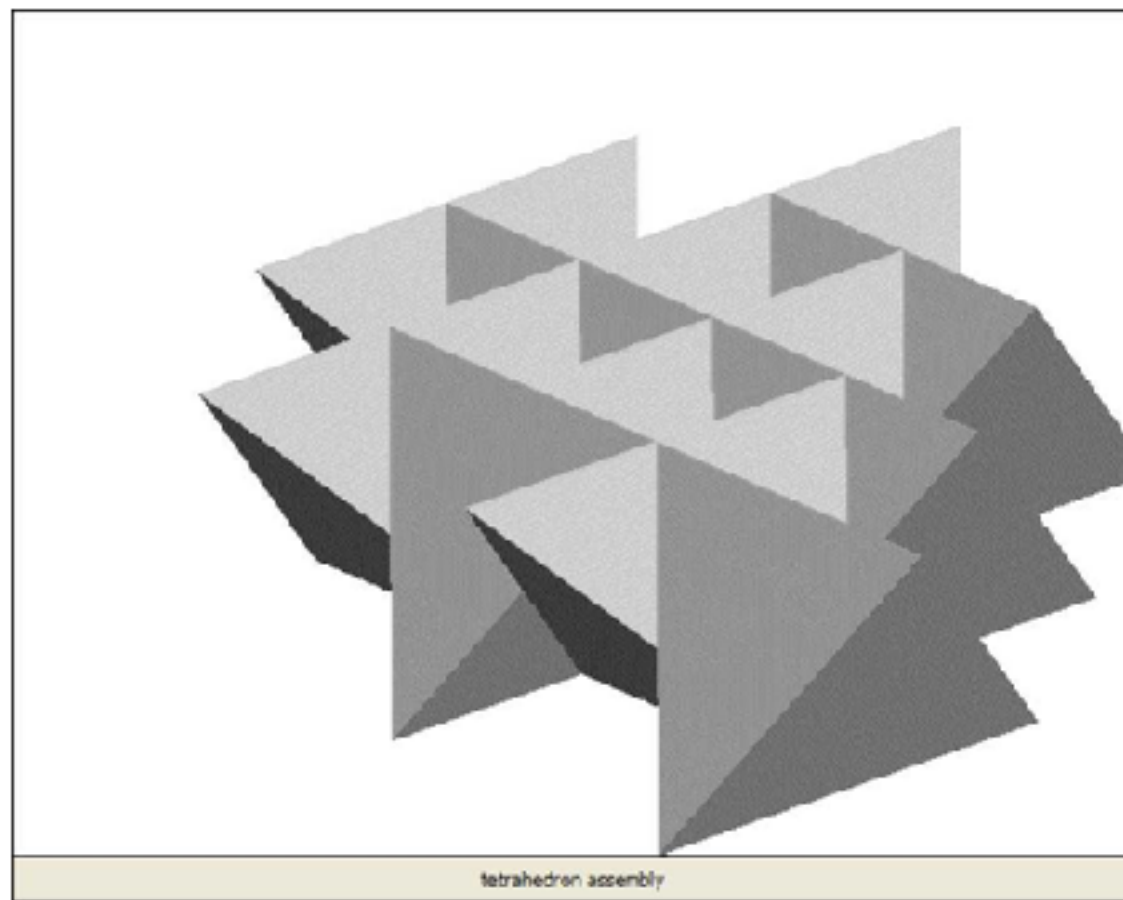


## Свойства узлов остеоморфных блоков:

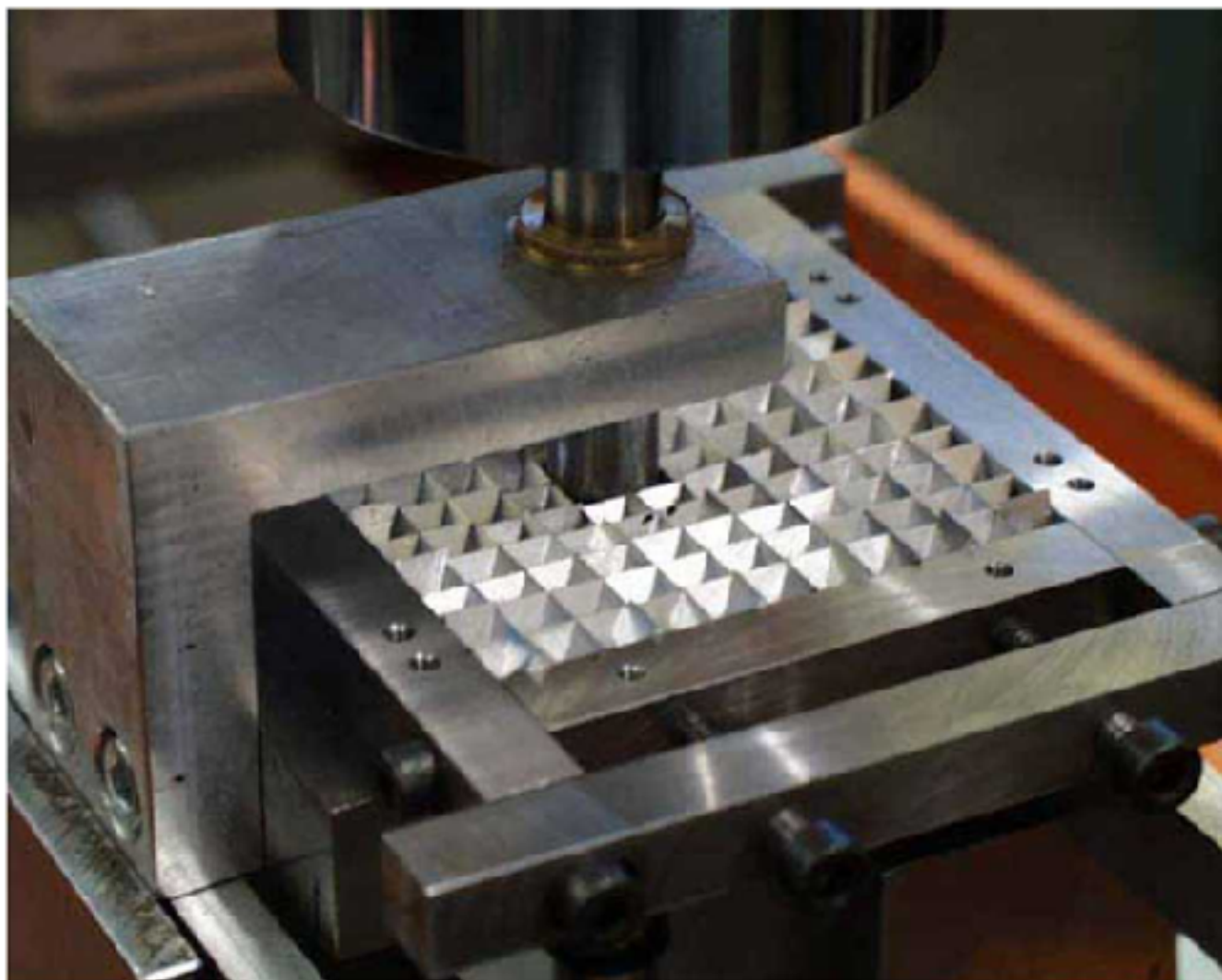
- Высокое сопротивление к распространению трещиноватости
- Работоспособен с разрушенным блоком
- Не жесткий при изгибе
- Свойство саморегуляции
- Универсальность применения



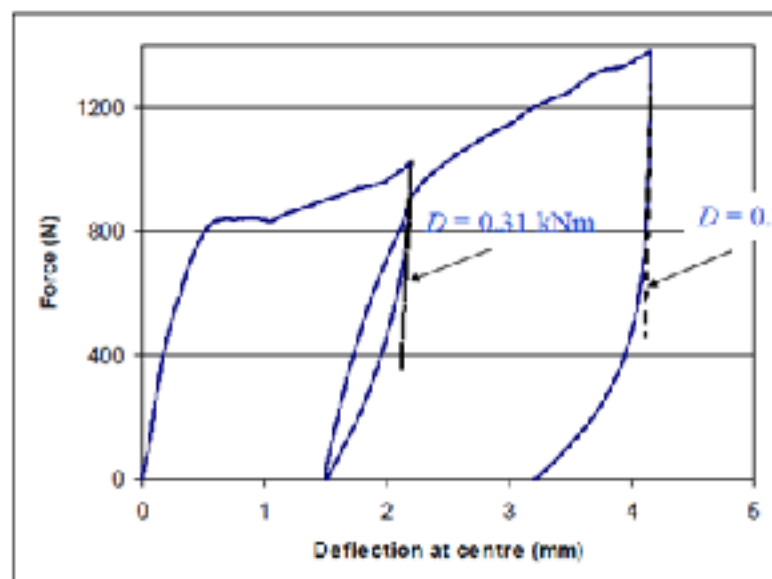
# Сборка тетраэдров



# Испытание точечной нагрузкой



## Результаты теста



$D$ : cylindrical bending stiffness

$D = 0.31 \text{ kNm}$

$D = 0.34 \text{ kNm}$

For reference solid plate of the same thickness as the assembled layer:  $a/\sqrt{2} \approx 0.71 \text{ cm}$

$D = 2.33 \text{ kNm}$

Для справки  
твердая плита такой же толщины как собранный слой:  $a/\sqrt{2} = 0.71 \text{ cm}$

$D = 2.33 \text{ kNm}$

$D$ : цилиндрическая жесткость на изгиб

## Остаточное отклонение

Сами блоки не проявляют пластической деформации



- Сборка все еще работает
- Элементы проворачиваются и "фиксируют" индентор



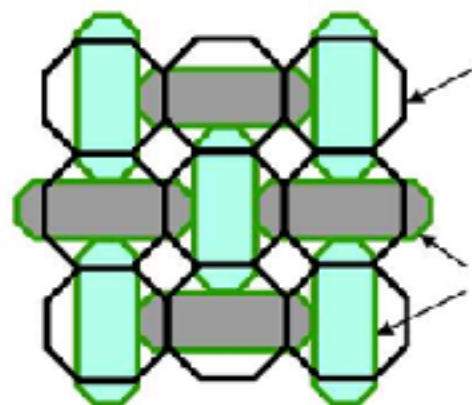
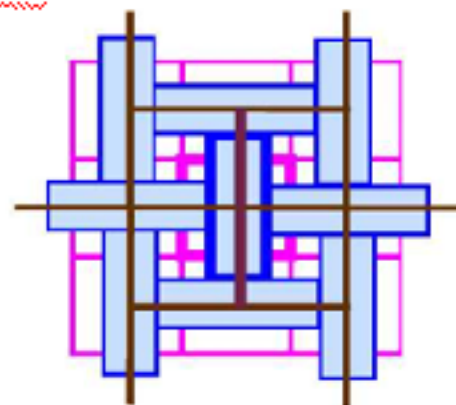
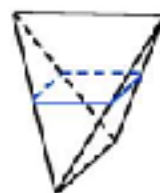
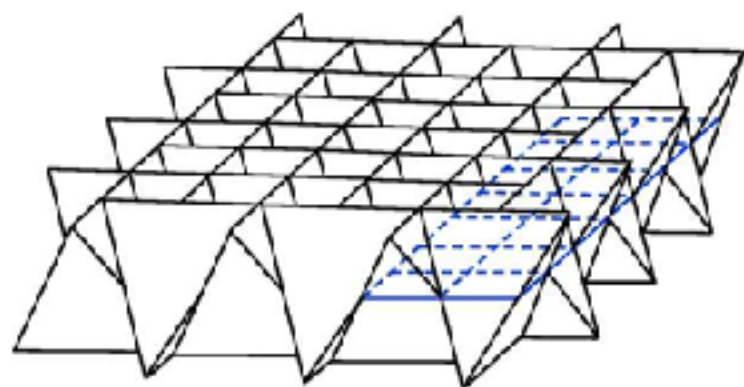
## Устойчивость к отсутствующим блокам

Сборки с  
отсутствующими  
блоками  
сохраняют  
свою  
целостность



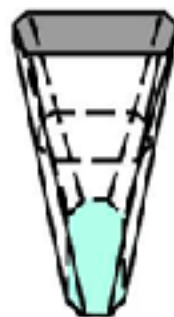
# Сборки тетраэдров и связанные с ними структуры

## Основные площади блакировки

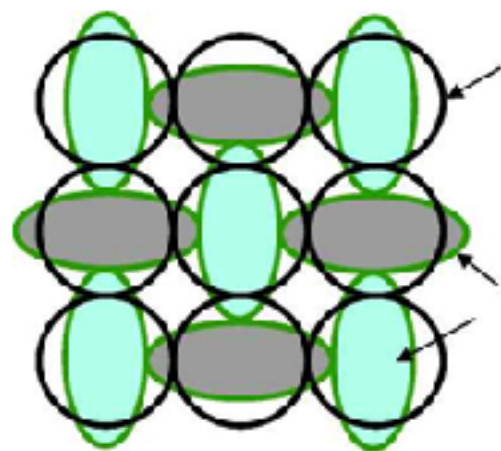


Middle plane section

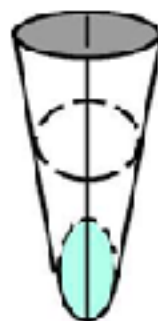
Top section



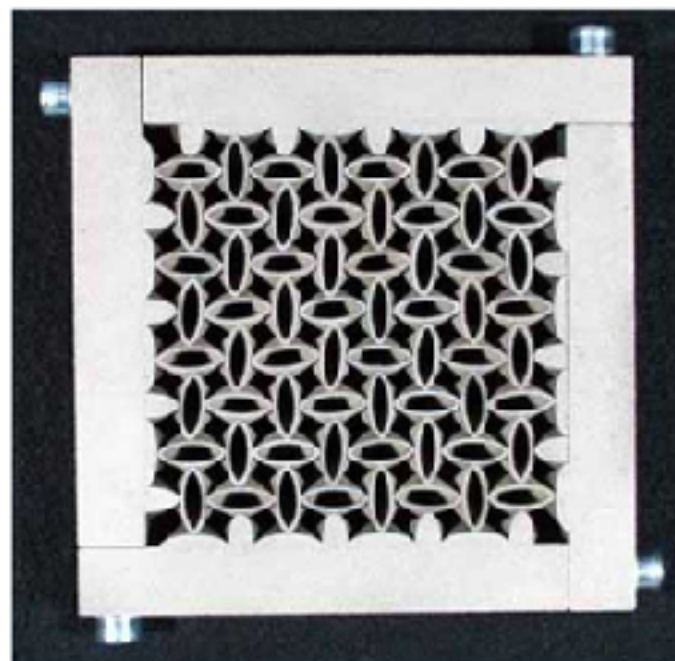
# Сборка трубчатых элементов



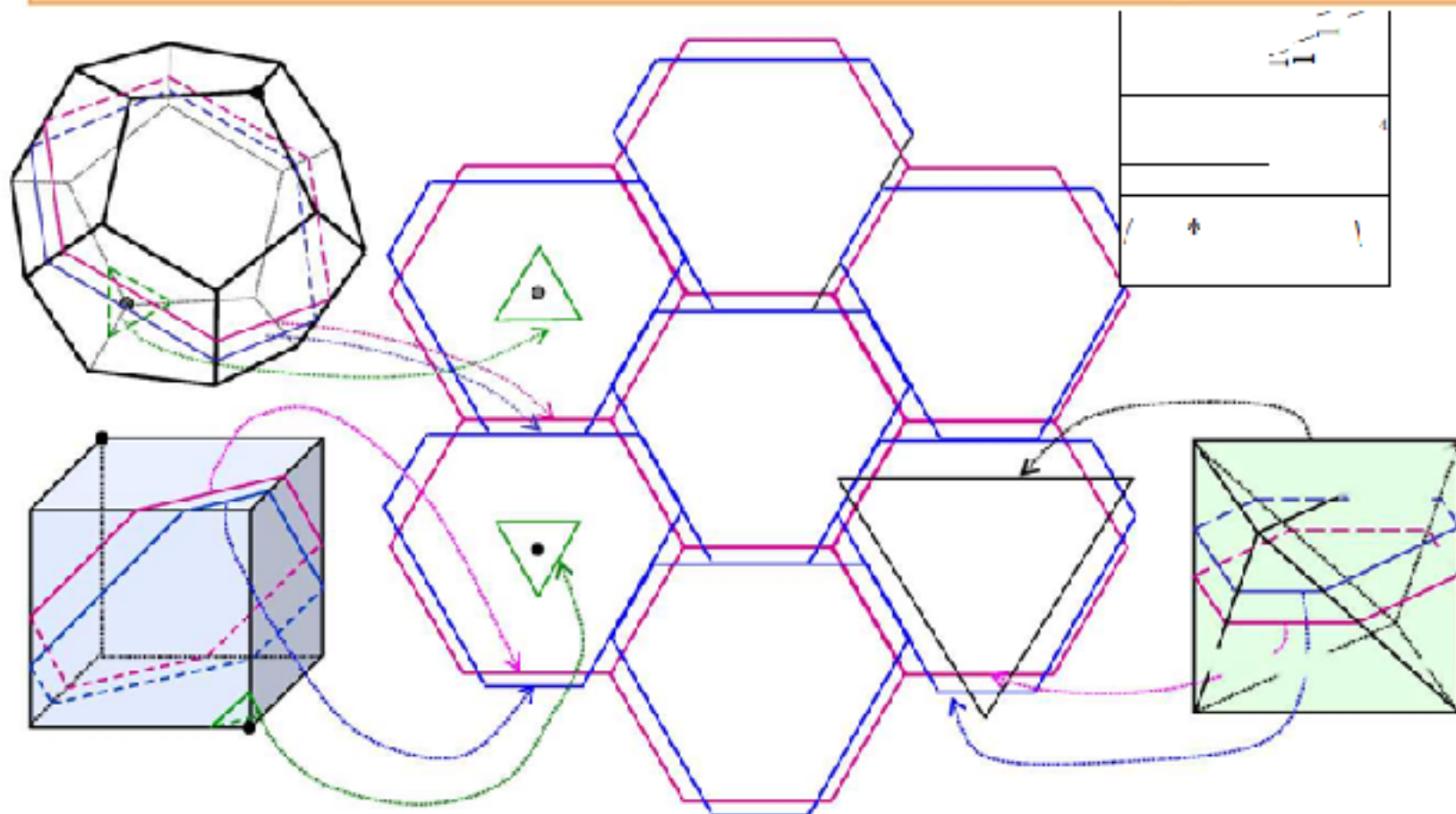
ion



**"Гладкая" поверхность  
элементов, очень  
высокая пористость и  
пропицаемость сборки**

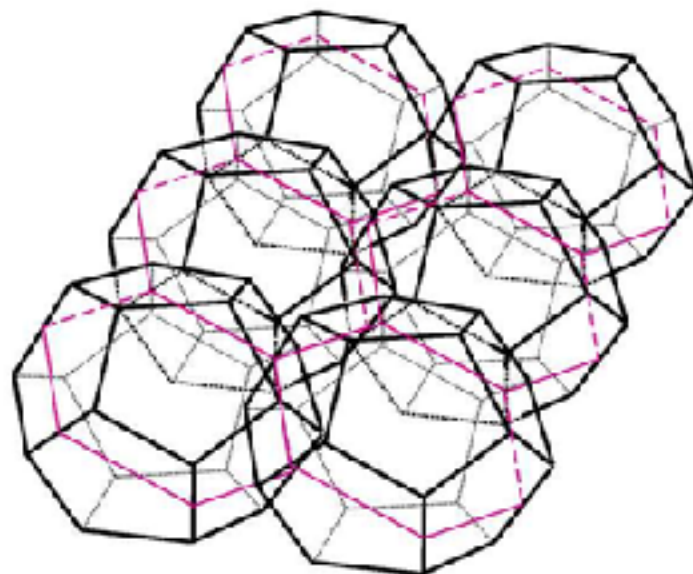
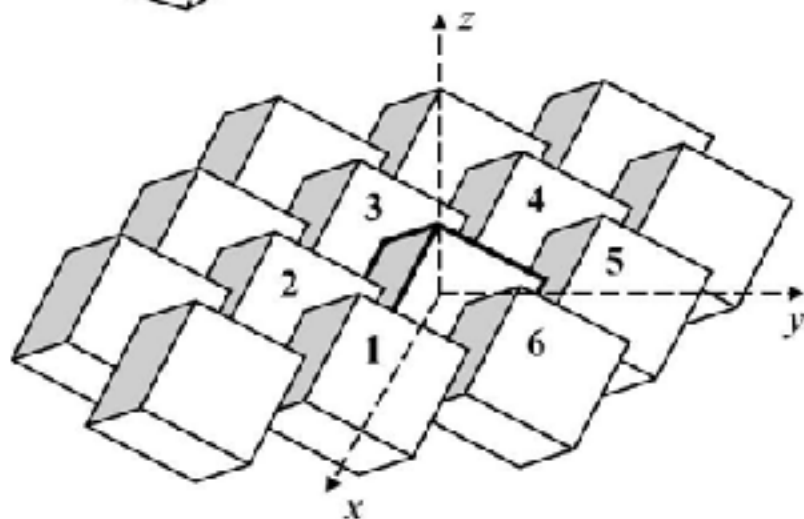
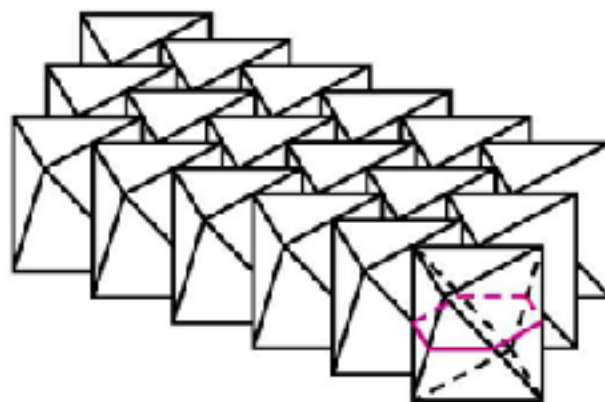
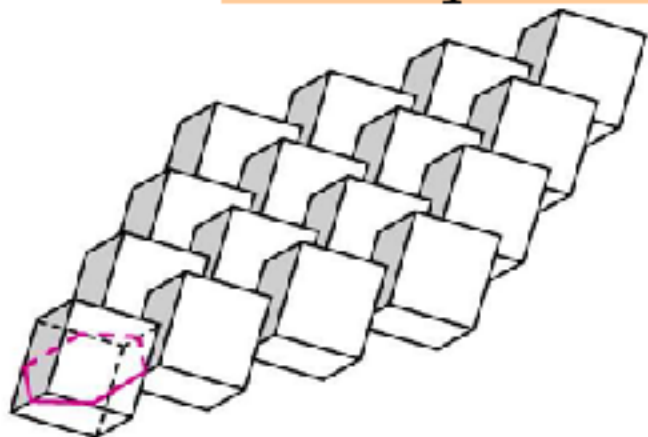


# Сборка шестигранников



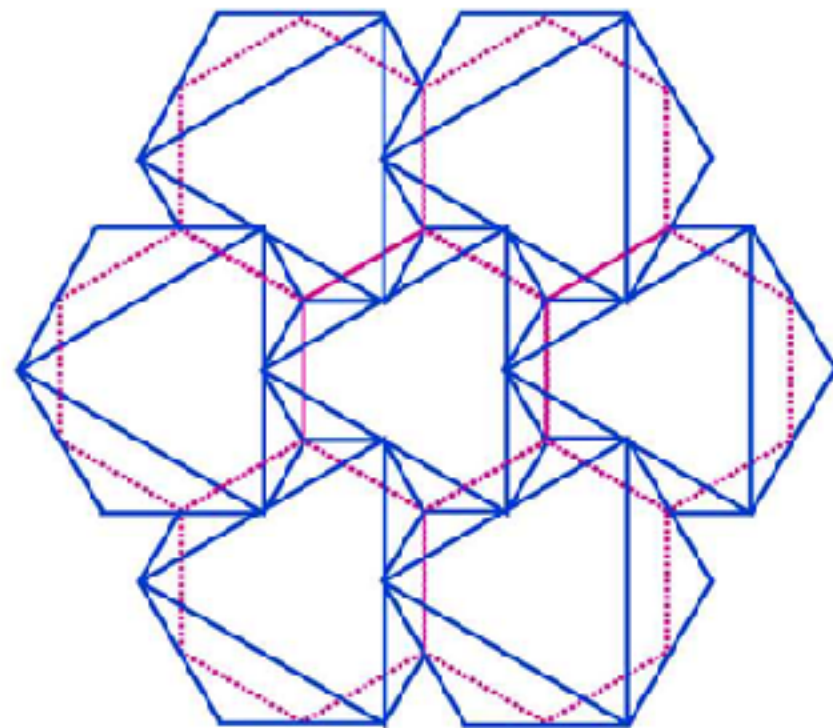
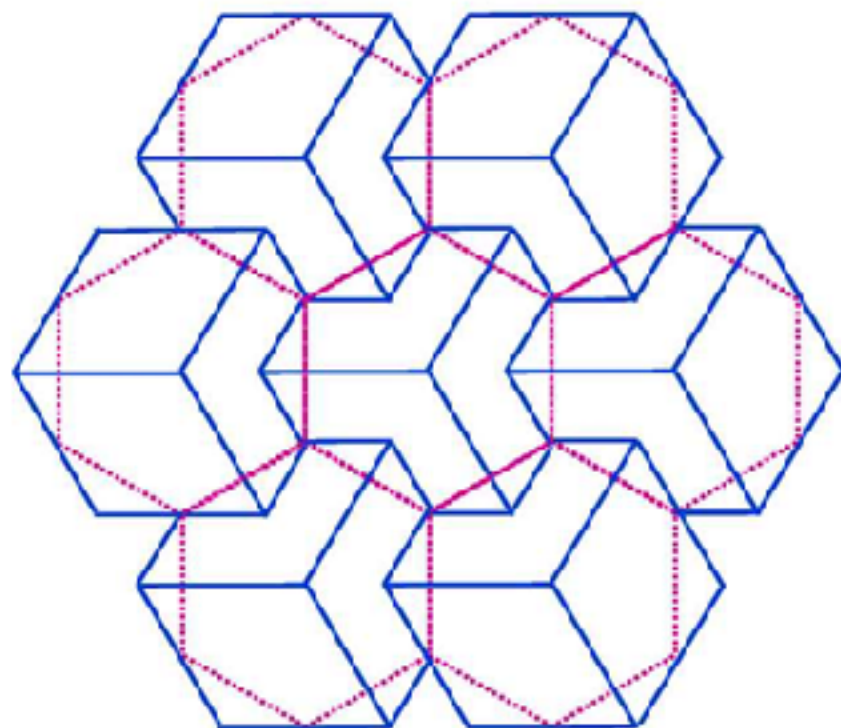


## Блокировка Платоновых тел

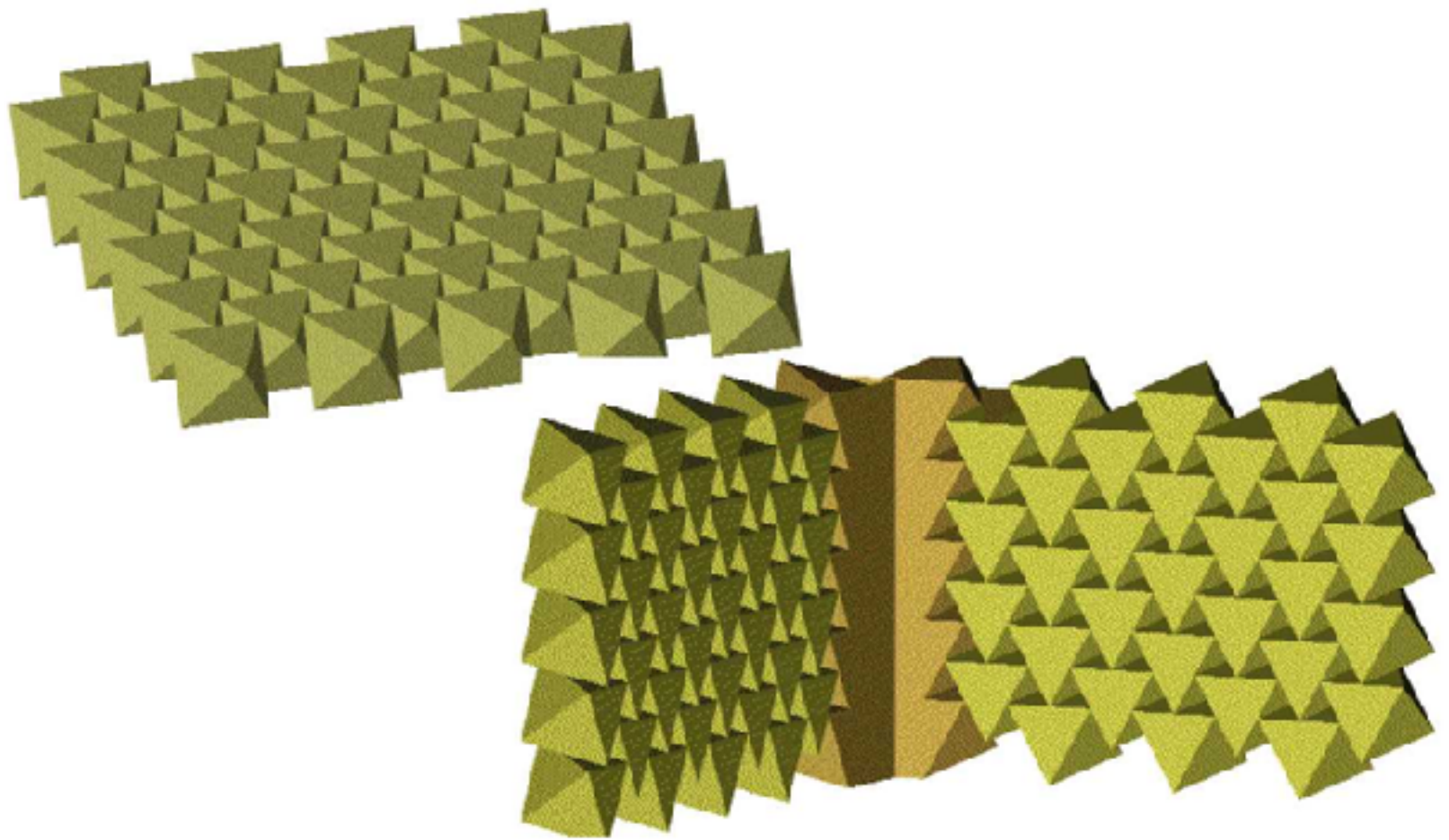


Кубики 1,3,5 и 2,4,6 препятствуют перемещениям вниз и вверх, соответственно.

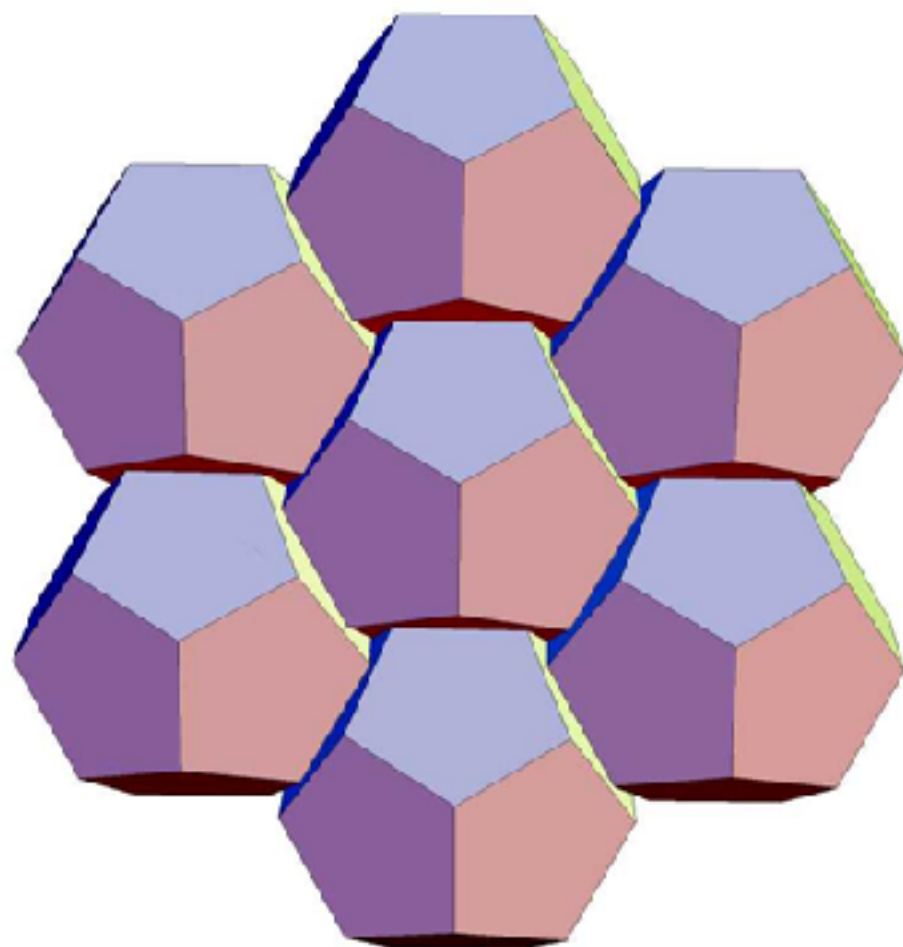
# Кубы и октаэдры



# Сборка октаэдров

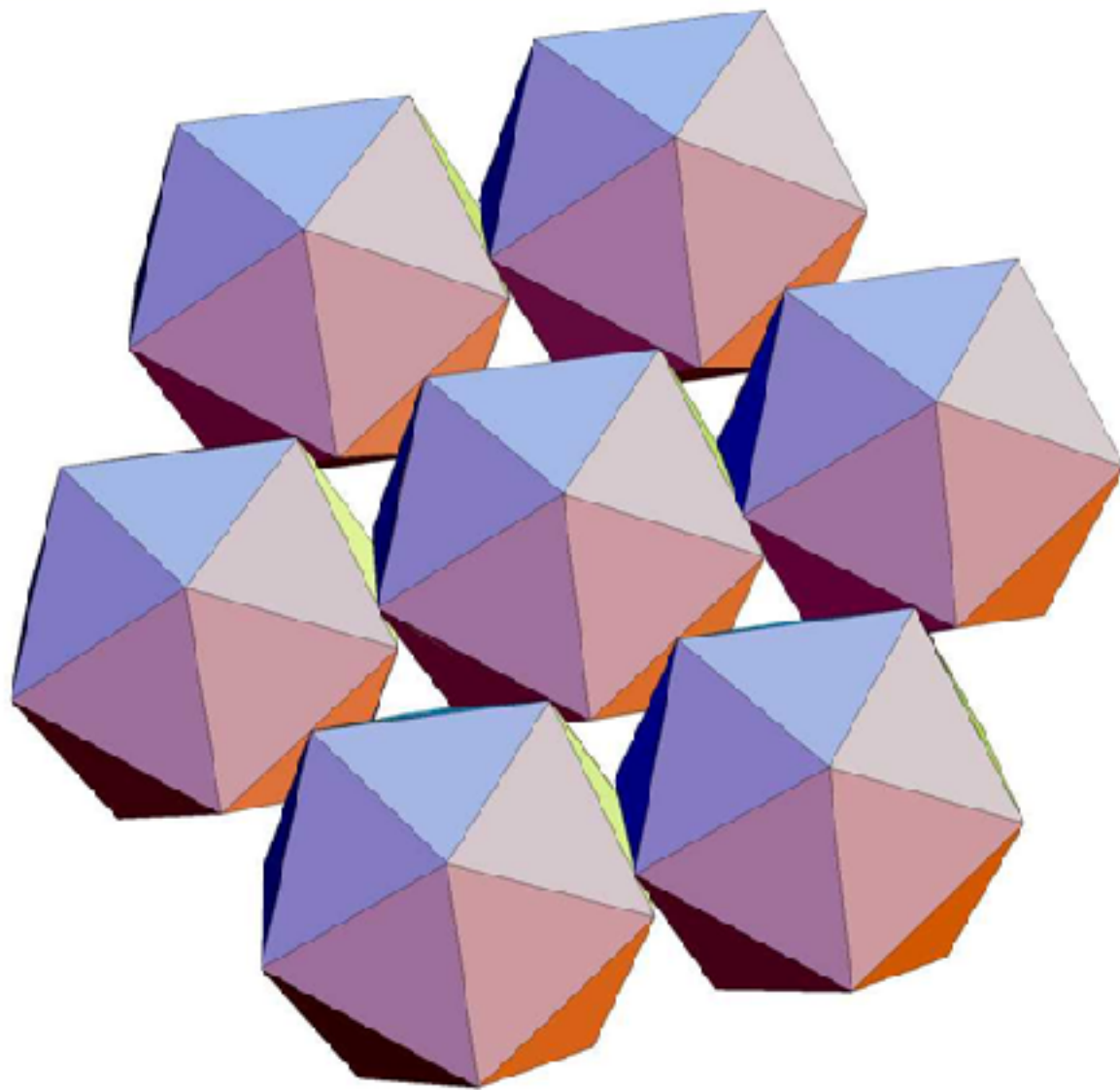


# Сборка додекаэдра

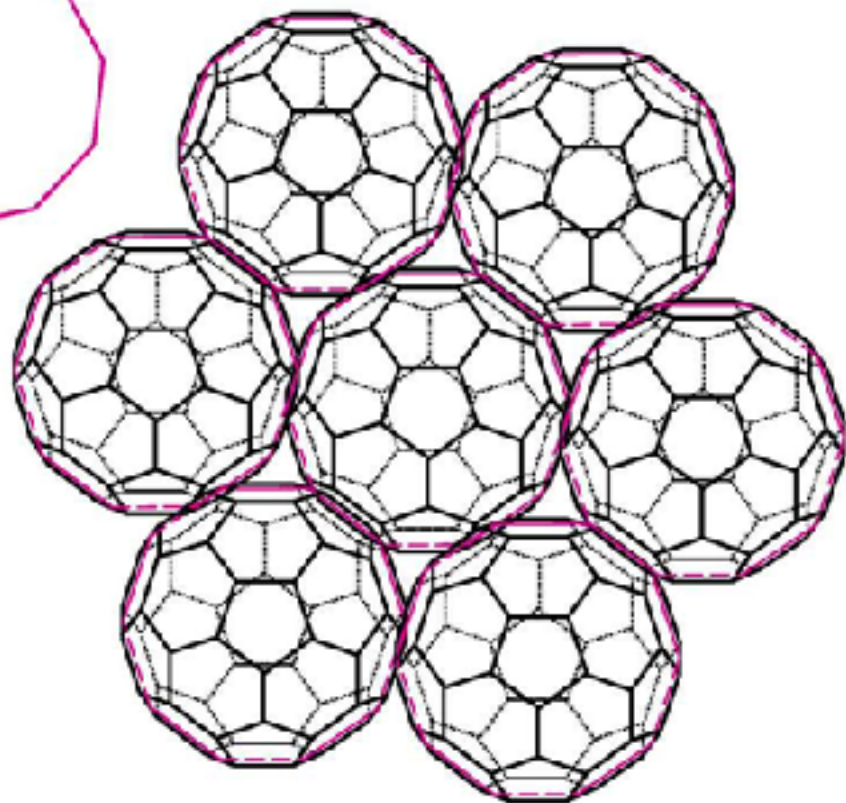
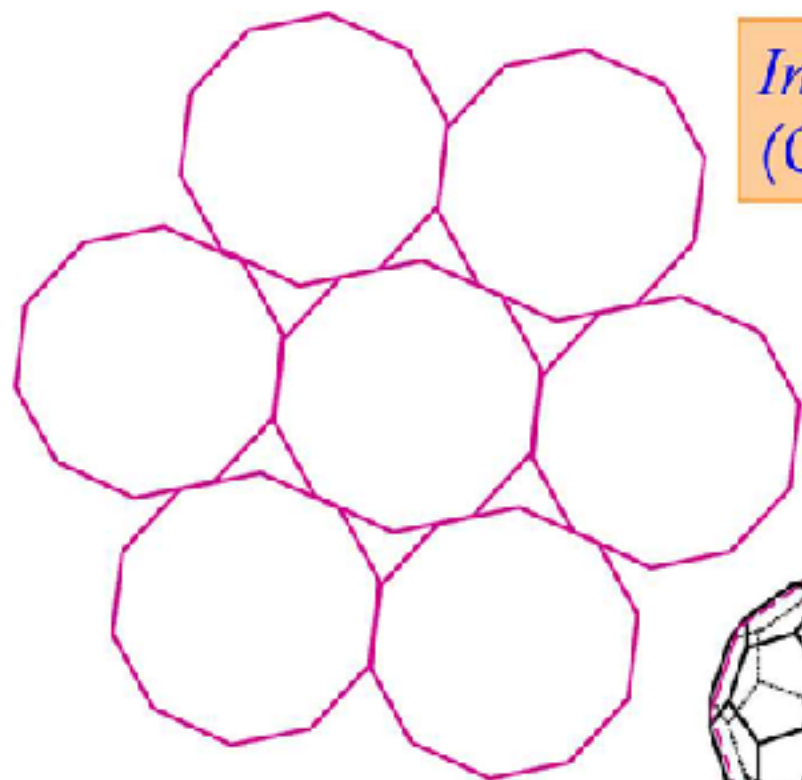




# Сборка икосаэдра

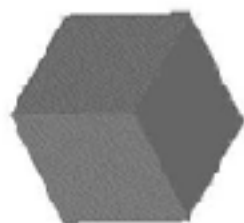


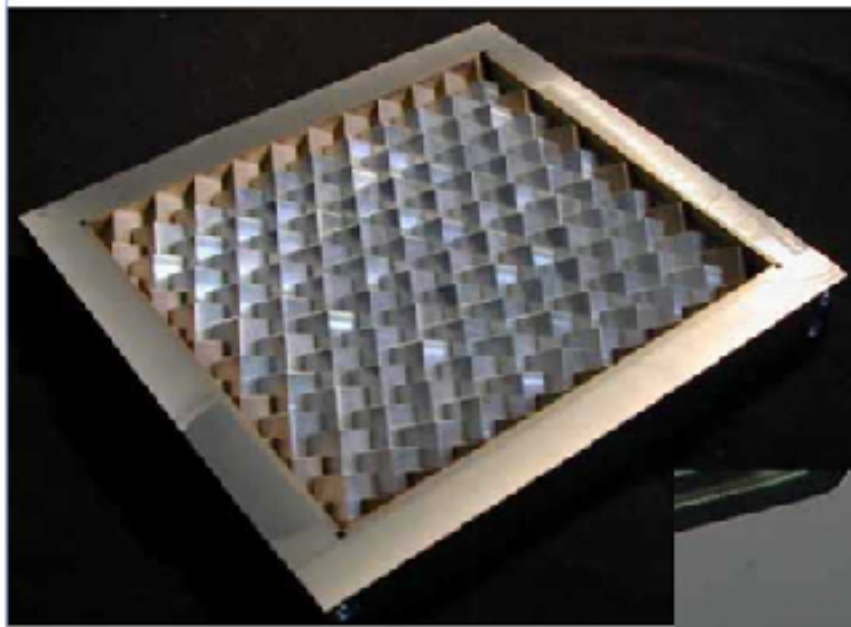
*Interlocking of Buckyballs  
( $C_{60}$  molecules)*



Декагон в сечении (тело не переводится. 30-тигранник?)

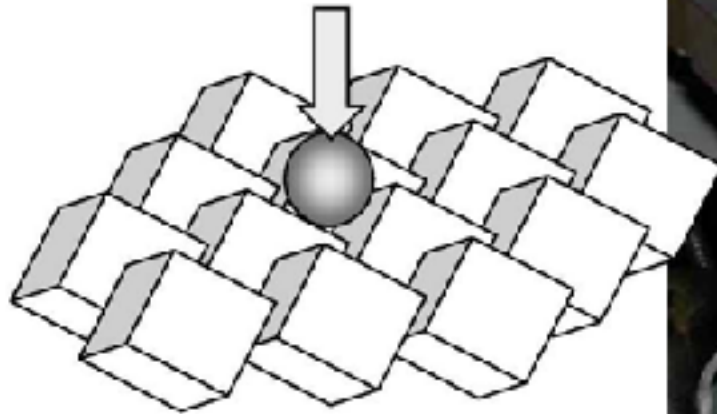
# Сборка кубиков





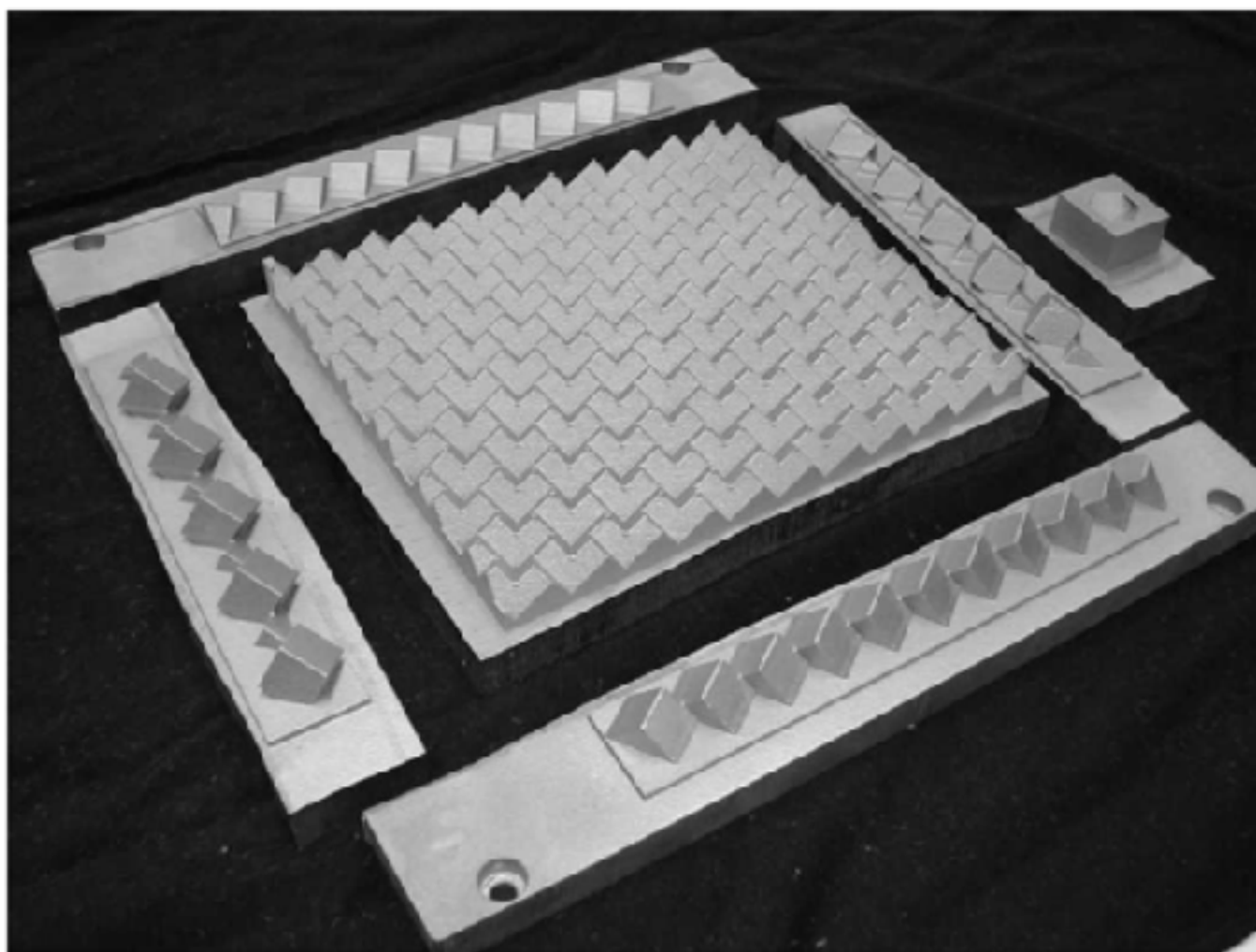
## Деформация сборки из кубиков

Сосредоточенная  
нагрузка

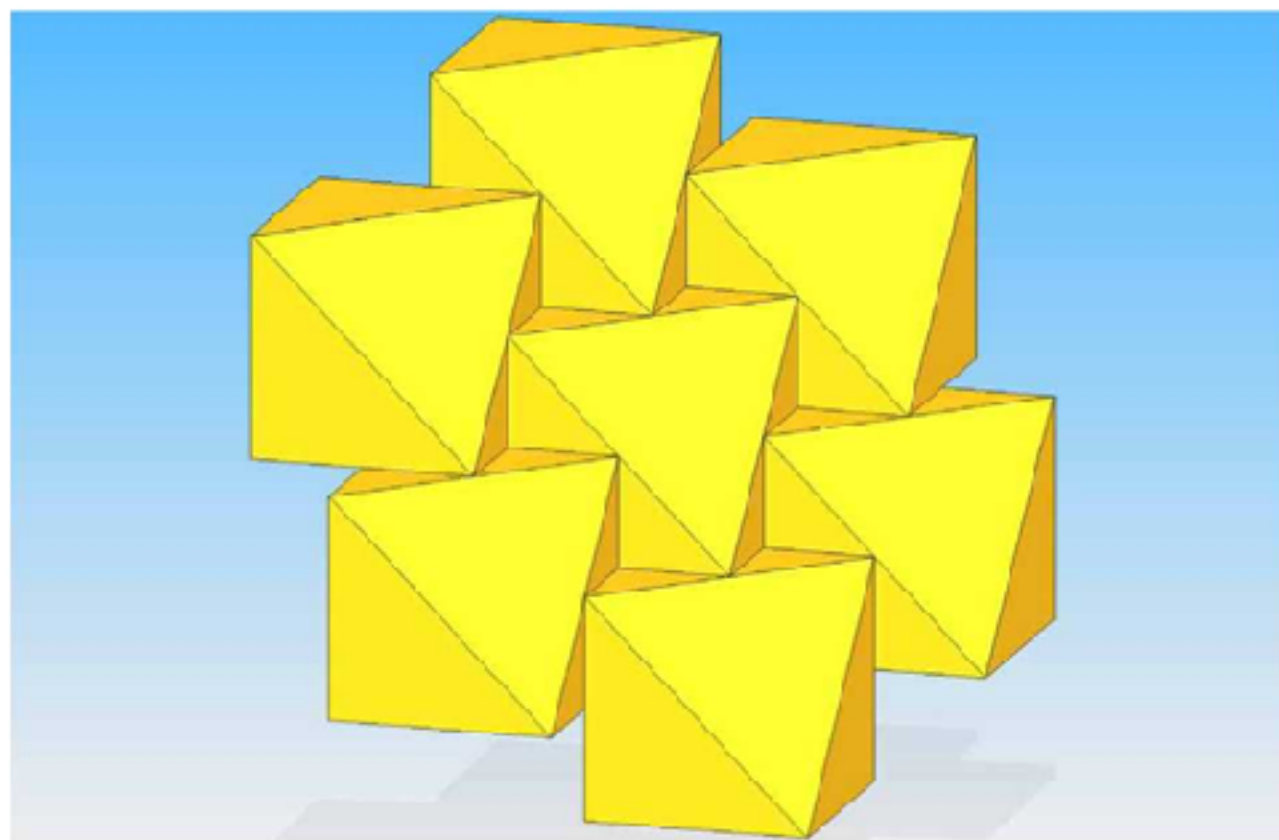




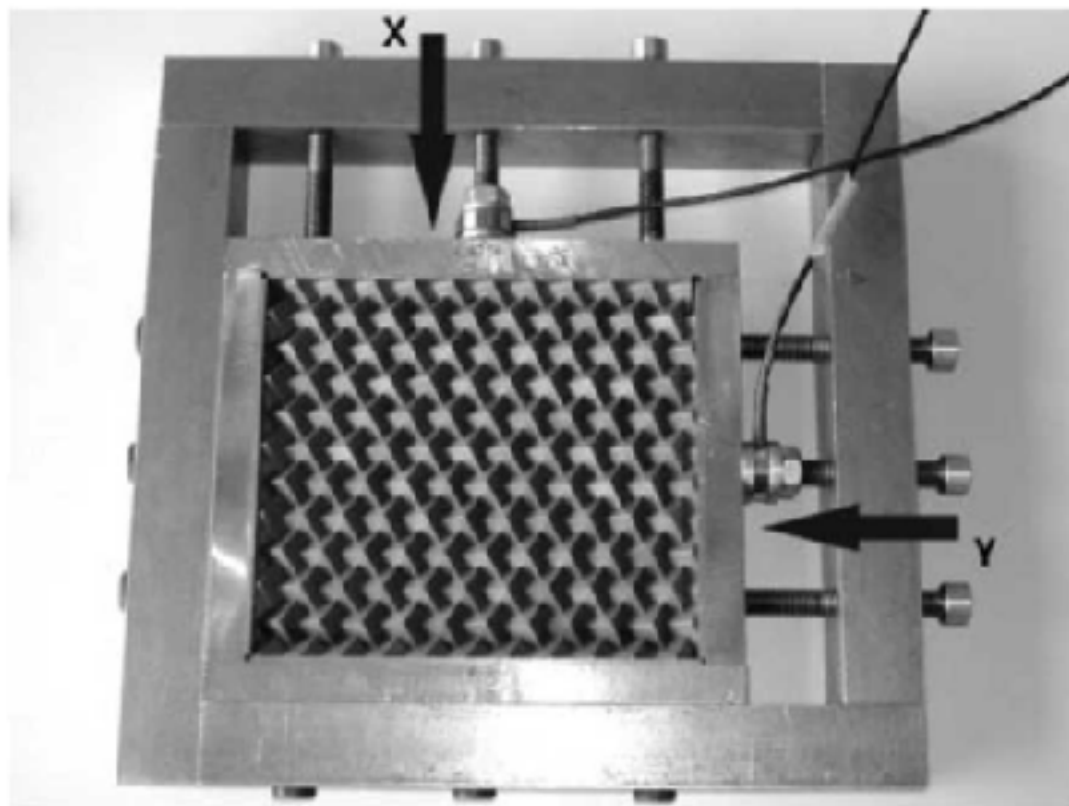
# Шаблон для сборки кубиков



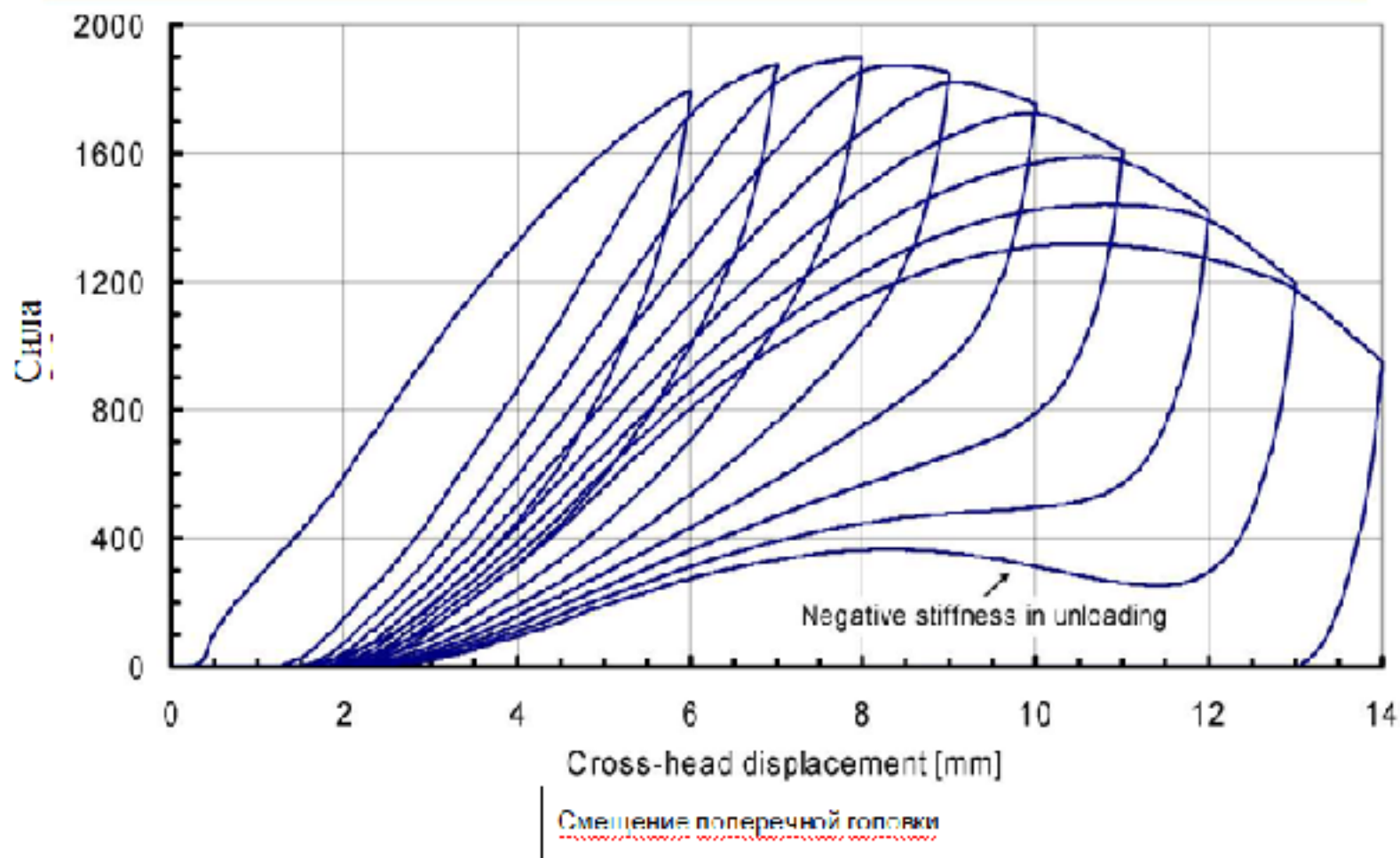
# Усеченные кубы



# Деформация сборки кубов

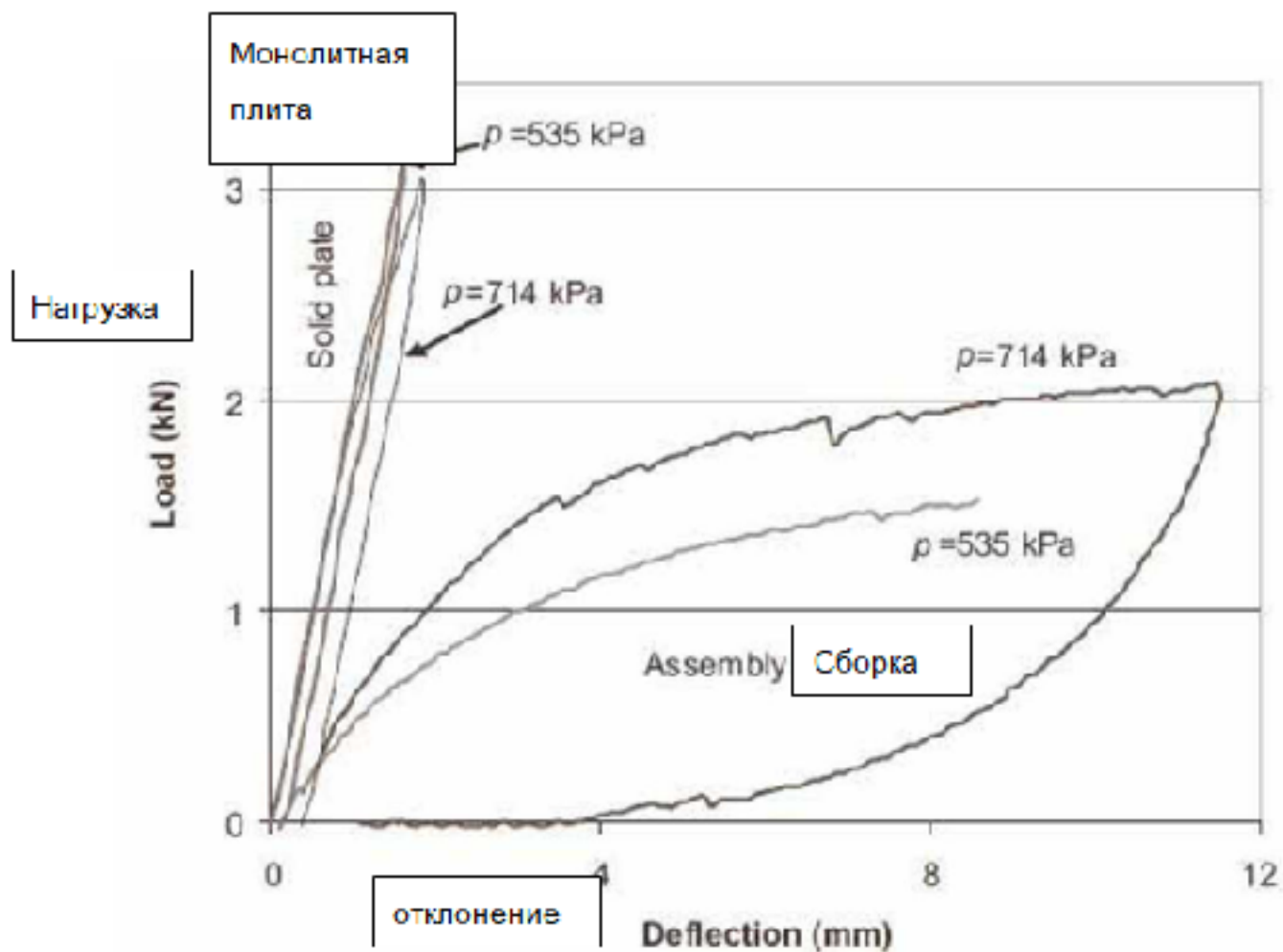


# Отрицательная жесткость при разгрузке сборки кубиков

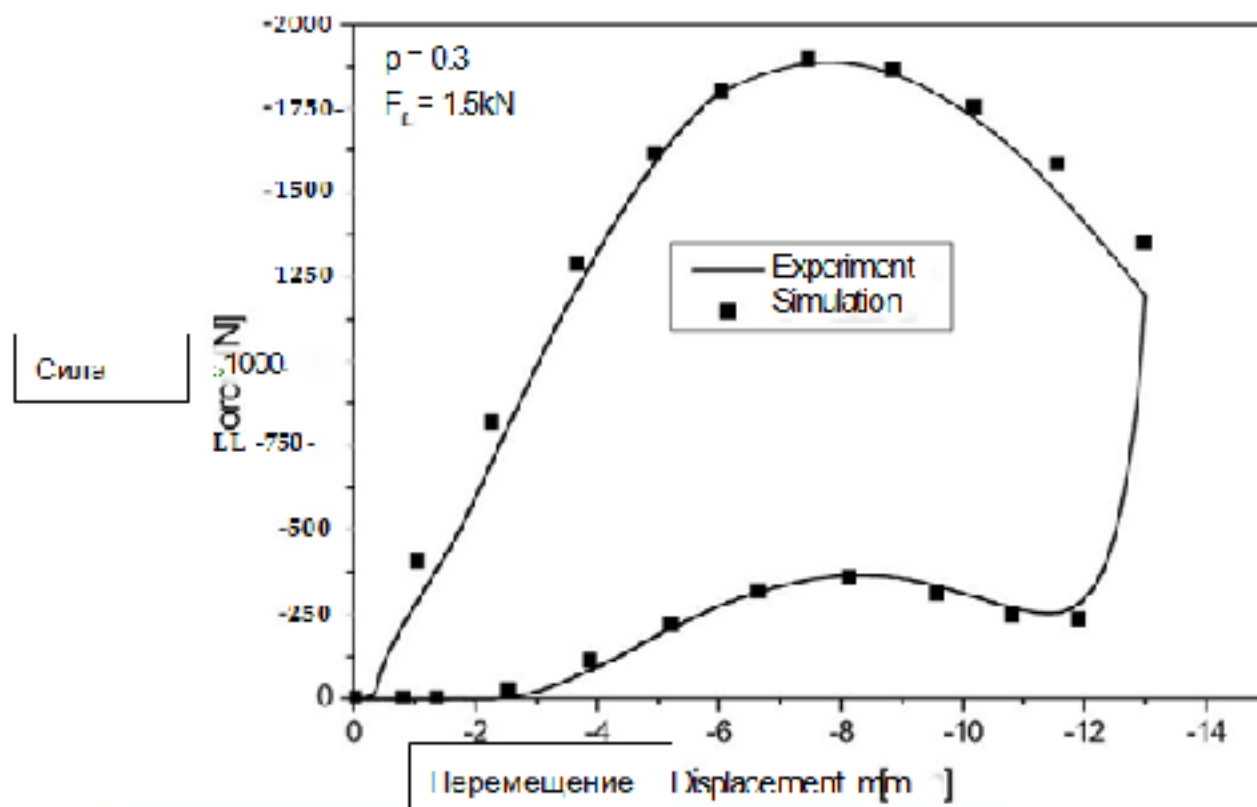




# Настраиваемая жесткость

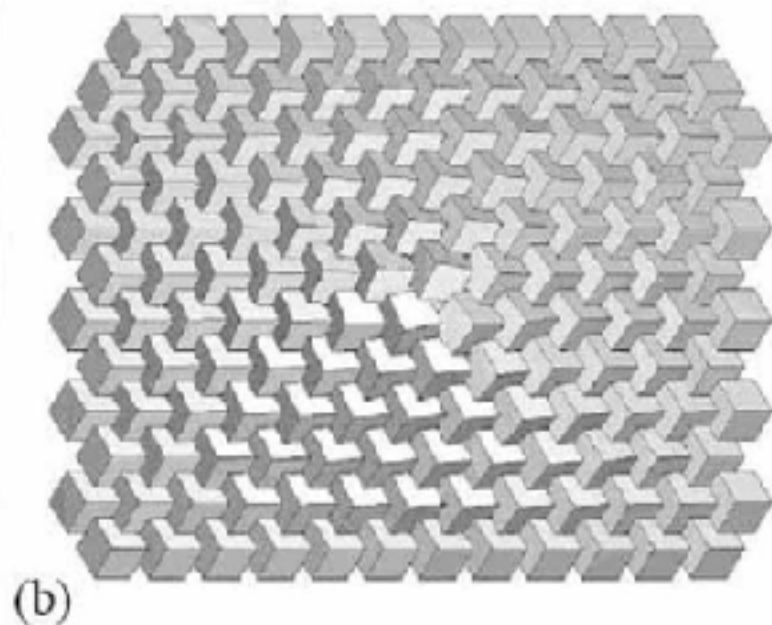
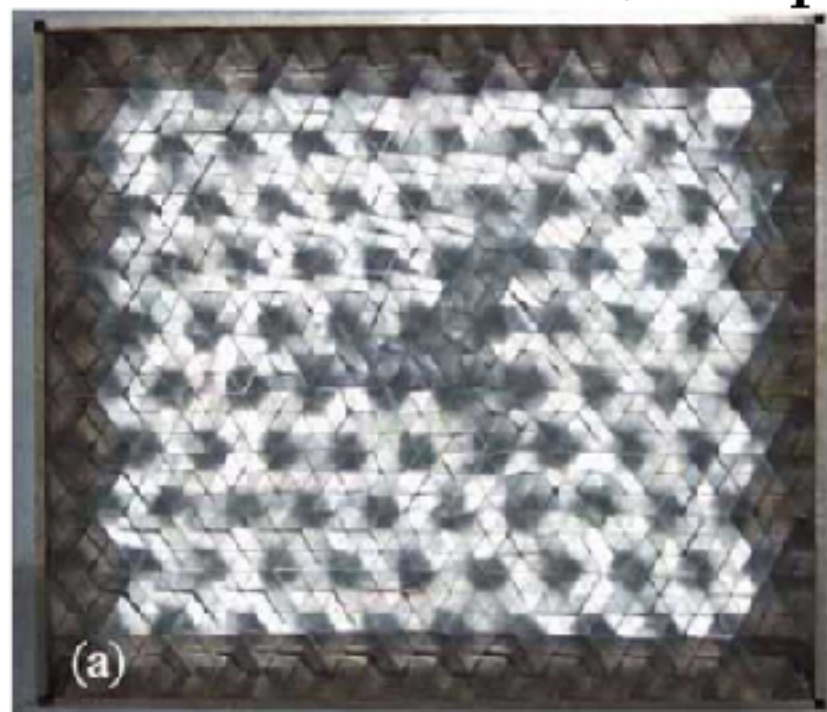


# Experiment vs. simulation (эксперимент против (и) моделирования)



Поглощение высокой энергии  
/затухание мощности

эксперимент и  
моделирование



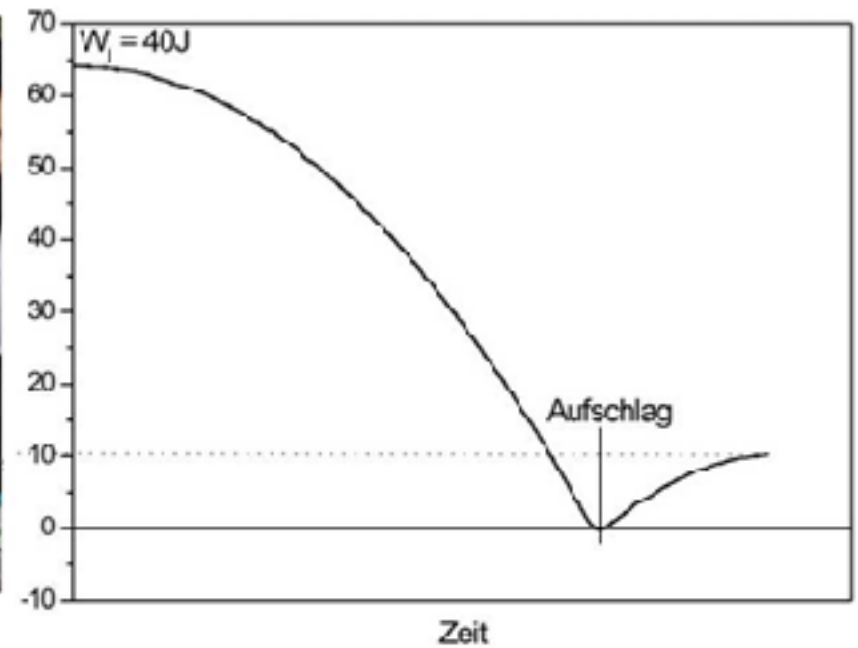
*S. Arndt*

# Возможный механизм?

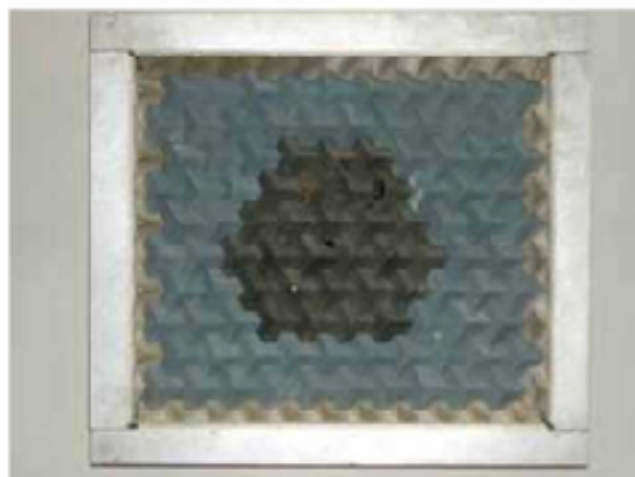




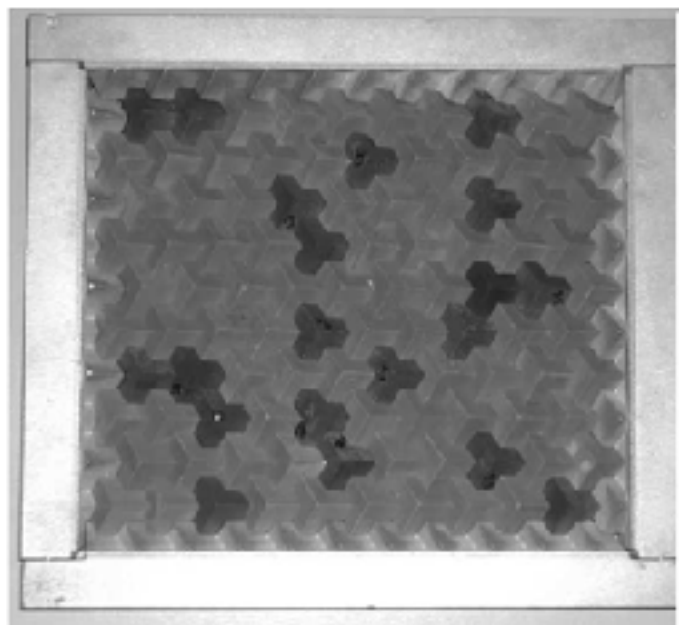
# Поглощение энергии



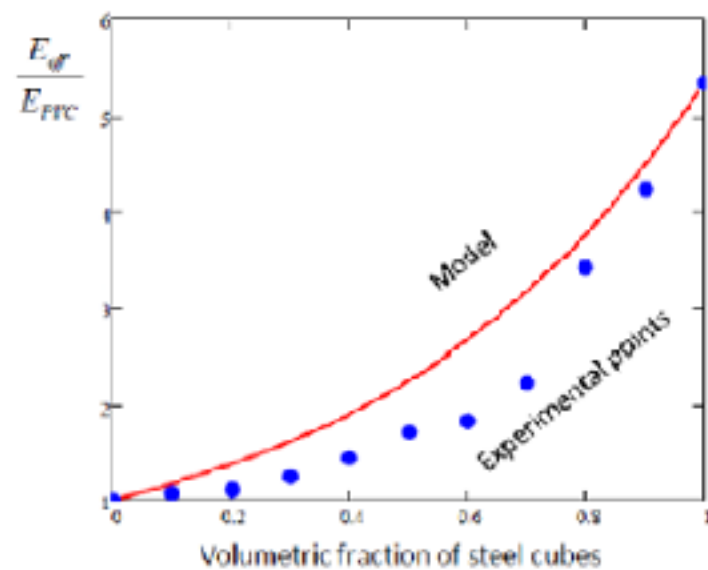
Смеси мульти-материалов:  
Пример ПВХ и стальных кубов



# Случайное расположение

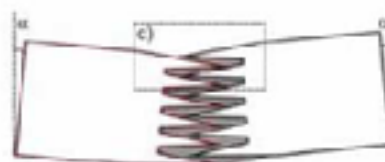
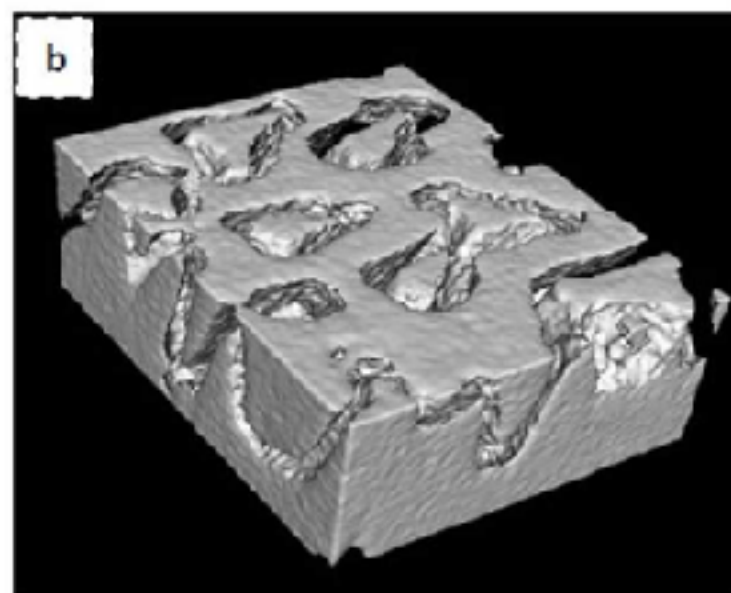
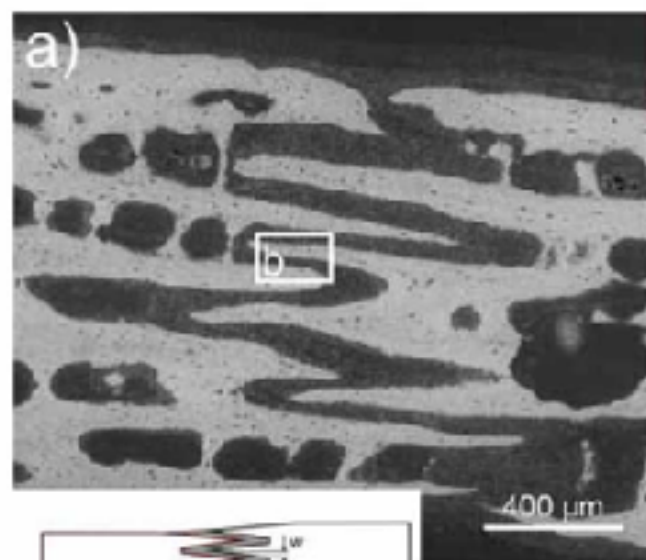


*20% стальных блоков*



- Объемная доля стальных кубов (по X)
- Модель (красная линия тренда)
- Экспериментальные точки (синие точки)

# Блокировка в черепашьем шве



*S. Krauss, ... P. Fratzl, R. Shahar, Adv. Mater. 2009*



# Свойства сборок кубических блоков

- Высокая устойчивость к распространению трещиноватости
- Низкая жесткость при изгибе
- Снижение веса
- Локализация вращений
- Аномальная разгрузочная реакция
- Неработоспособен с разрушенными блоками
- Требуется шаблон для сборки

# Свойства сборок тетраэдрических блоков

- Высокая устойчивость к распространению трещиноватости
- Работоспособен с разрушенными блоками
  - Низкая жесткость при изгибе
  - Снижение веса
  - Проницаемость сборки
  - Требуется шаблон для сборки

# Возможное использование

- Архитектура и гражданское строительство
- Автомобильный (предохранение от аварии)
- Броневой
- Антитеррористические барьеры; барьеры безопасности дорожного движения
- Инструментальные средства (замена только критических частей конструкции)
- Самонастраивающиеся сборки модулей или контейнеров
- Защитные слои различных видов
- химическая технология и нанотехнология

# Заключение

*Несмотря на то что разработки модульных сегментированных структур начались совсем недавно, они, тем не менее, уже привлекли внимание ведущих зарубежных архитекторов и строителей, оценивших достоинства и возможности топологического самозацепления как принципа инженерного подхода к созданию реальных крупных конструкций.*

*Реализация этой концепции в условиях Западной Сибири является не менее, а может быть и более привлекательной.*



*Благодарю за внимание!*