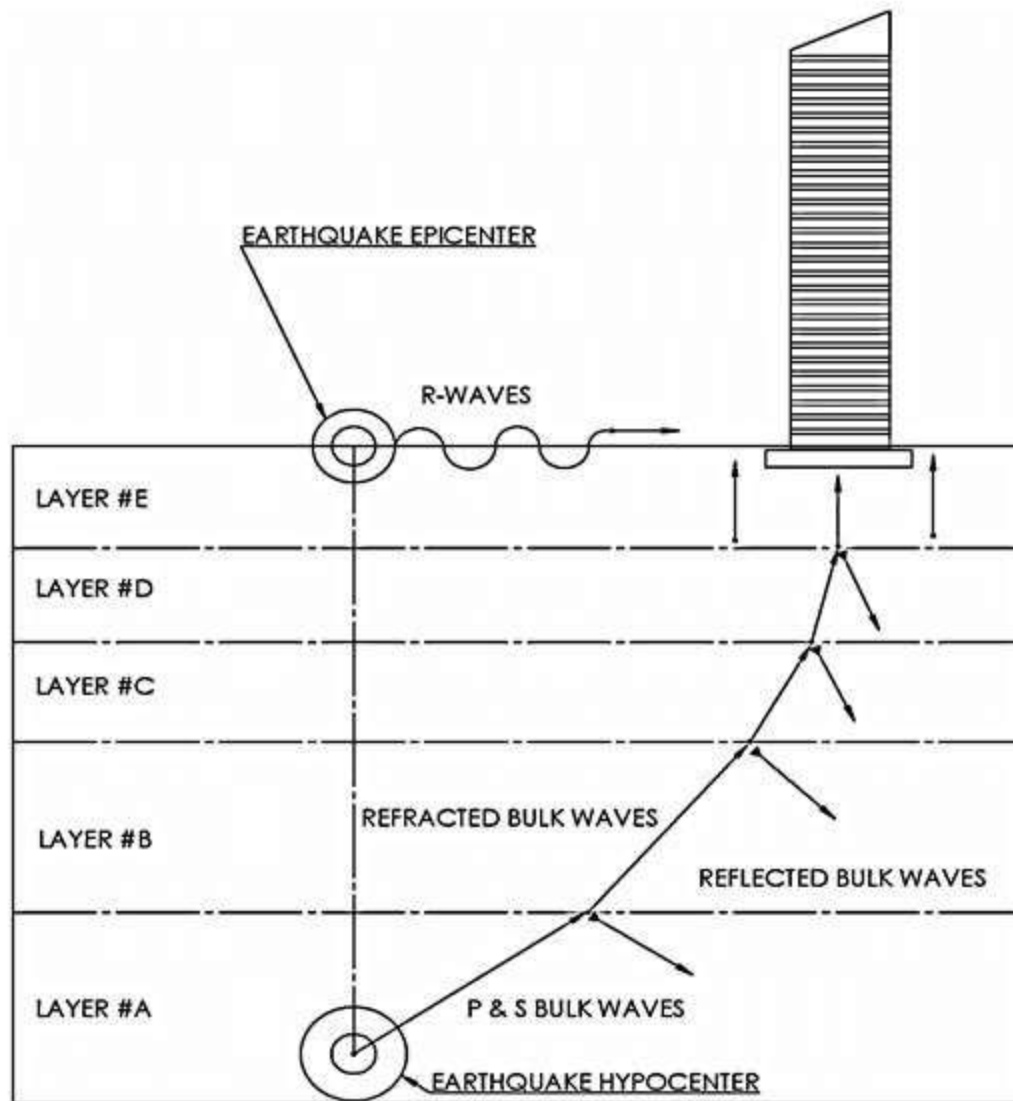


**Сейсмические подушки:
от эвристических идей до современных решений на
основе фононных кристаллов**

Кузнецов Сергей Владимирович
дфмн, проф
Институт Проблем Механики РАН Москва

Сейсмические ВОЛНЫ



Естественные сейсмические подушки

Естественные Сейсмические подушки



Frank Lloyd Wright



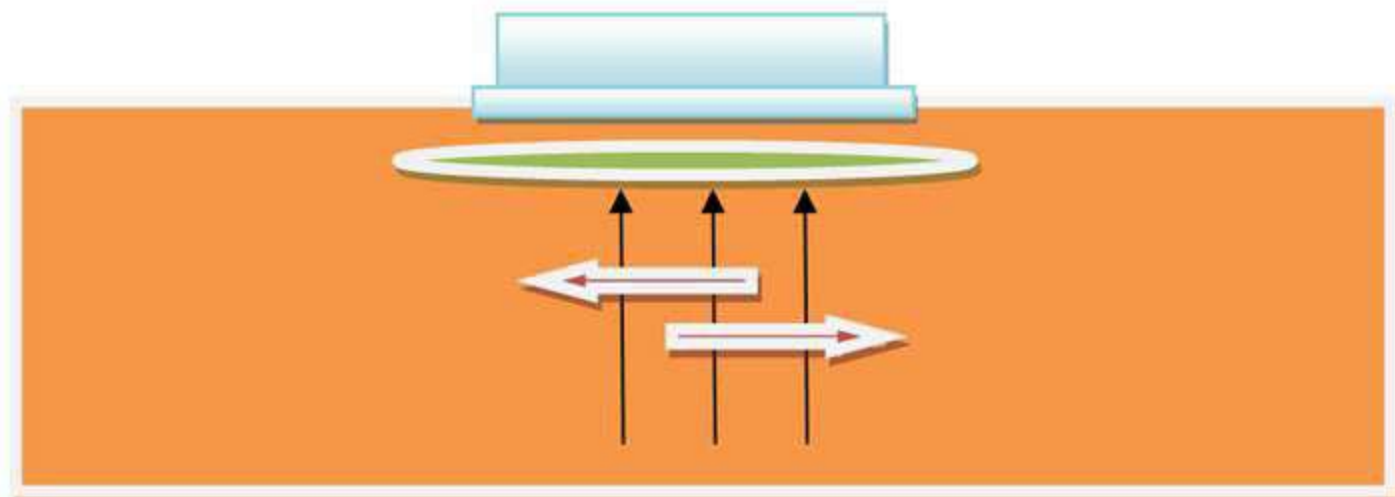
Императорский отель в Токио, 1923



Разрушенные кварталы Токио от
землетрясения M_w 7.9 – 8.2
(1 сентября 1923 г.)

Естественные Сейсмические подушки

Императорский отель в Токио



Императорский отель в г. Токио
Принципиальная схема грунтовых условий

Жесткие подушки /плавающие фундаменты/

Raft foundations

Плавающий фундамент
Жесткая подушка



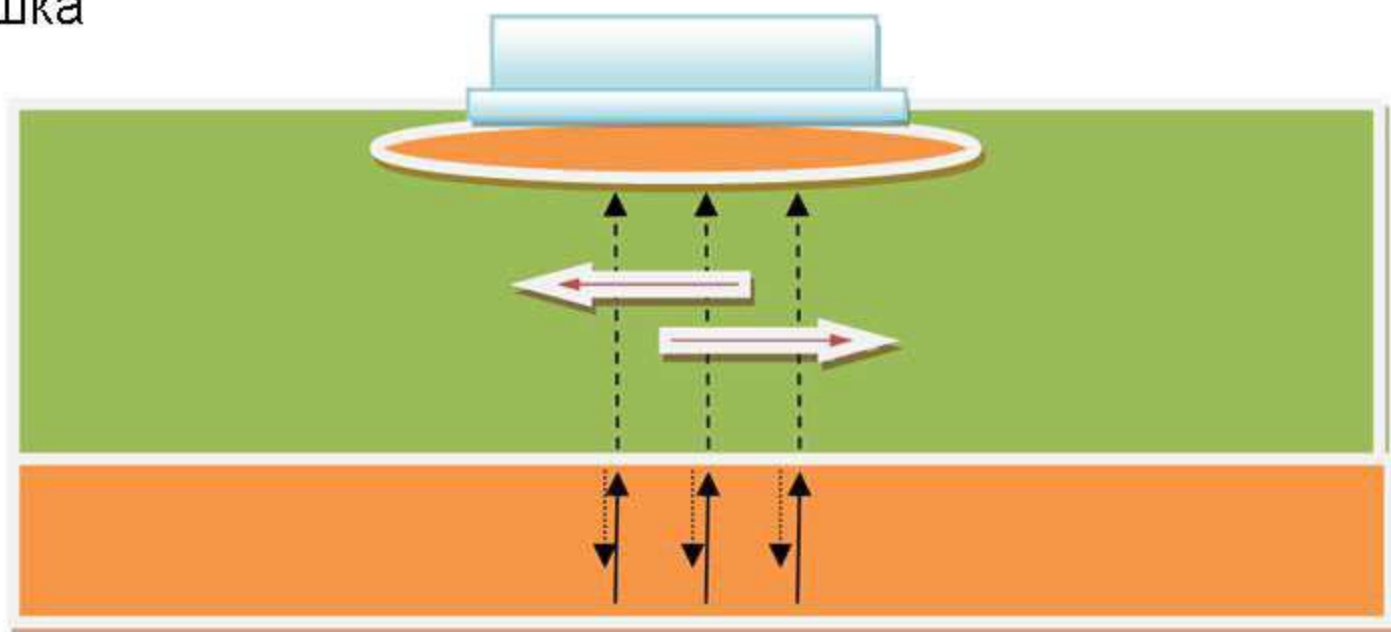
Daniel H. Burnham



Rookery building, Chicago
construction by Burnham and Root in 1888
Здание сооружено на болотистых грунтах и
жесткой подушке

Raft foundations

Плавающий фундамент
Жесткая подушка



Raft foundations

Принципиальная схема работы при сейсмических
воздействиях

Raft foundations

Плавающий фундамент
Жесткая подушка

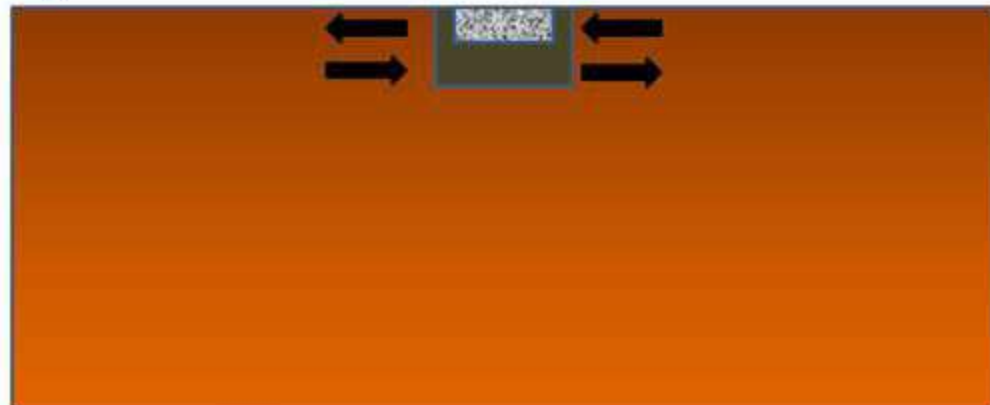


Library at Stanford University, Palo Alto (construction by Root in 1905)
Землетрясение 18 апреля 1906 г., Mw=7.9
Здание сооружено на слабых грунтах и жесткой подушке

Raft foundations

Плавающий фундамент
Жесткая подушка

Причины неэффективности при сейсмических
воздействиях:



«область микрорайонирования исчисляется десятками и сотнями километров»

Садовский М.А., Нерсесов И.Л., Медведев С.В., Лямзина Г.А. Основные принципы сейсмического микрорайонирования
Вопросы Инженерной Сейсмологии. Вып. 15. М.: Наука, 1973. С. 3 – 34.

«тип фундамента, его конструктивные особенности и глубина заложения, а также изменения характеристик грунта в результате его закрепления на локальном участке не могут быть основой для изменения категории площадки строительства по сейсмическим свойствам»

СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах (актуализированный) СНиП-7-81*
М. Минстрой РФ. 2014. 131 с. (п. 4.6).

Сейсмические подушки из гранулированных материалов /Shallow foundations/

Сейсмические подушки /shallow foundations/

В виде естественных гранулированных материалов



Alain Pecker
Geodynamique, France

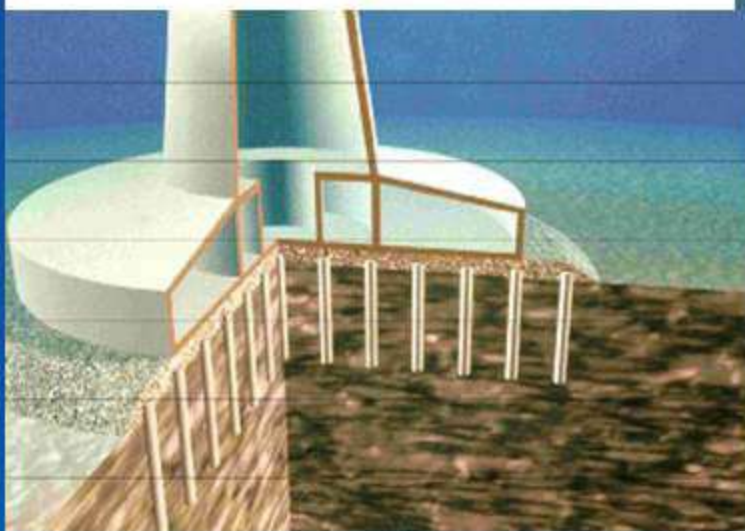


Vasca da Gama bridge, Lisbon, Portugal
Foundation construction by Alain Pecker /Geodynamique, France/
Зона с высокой сейсмичностью



Сейсмические подушки /shallow foundations/

В виде естественных гранулированных материалов



Rion-Antirion bridge, Southern Greece

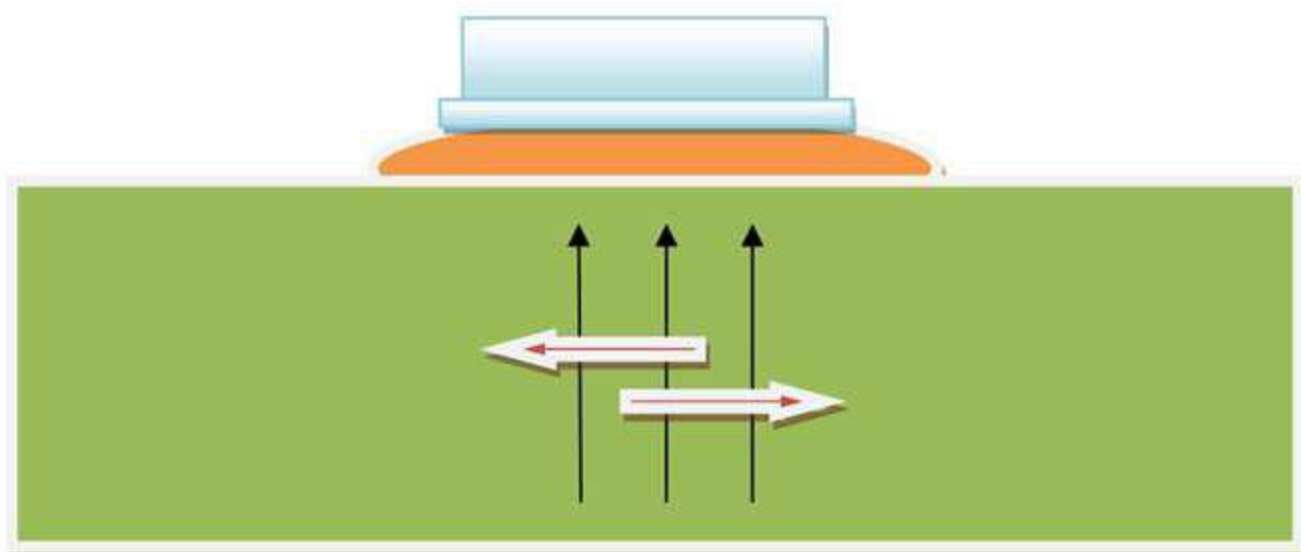
Foundation construction by Alan Pecker (1998)

/Geodynamique, France/

Зона с высокой сейсмичностью

Сейсмические подушки /shallow foundations/

В виде естественных гранулированных материалов

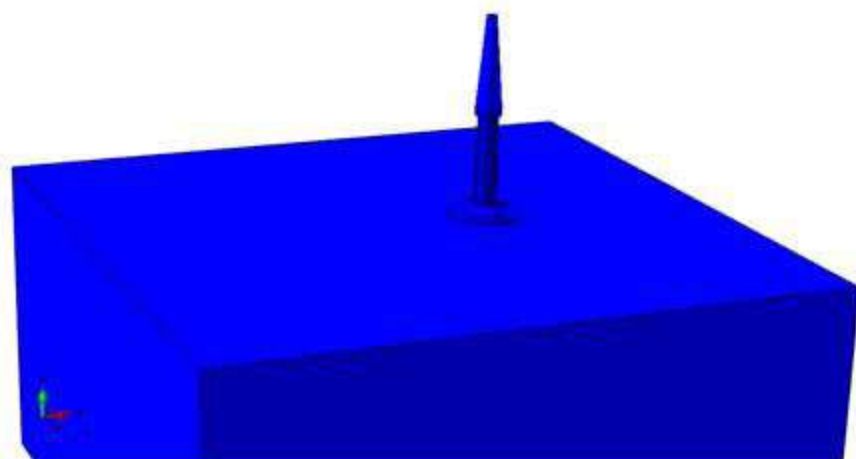
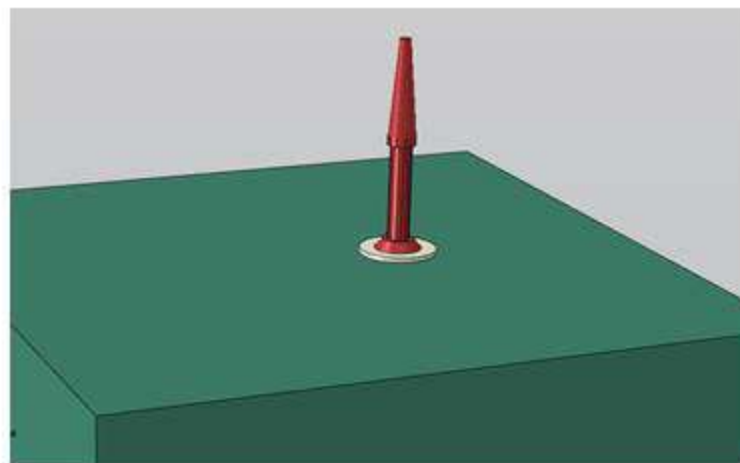


Shallow foundations

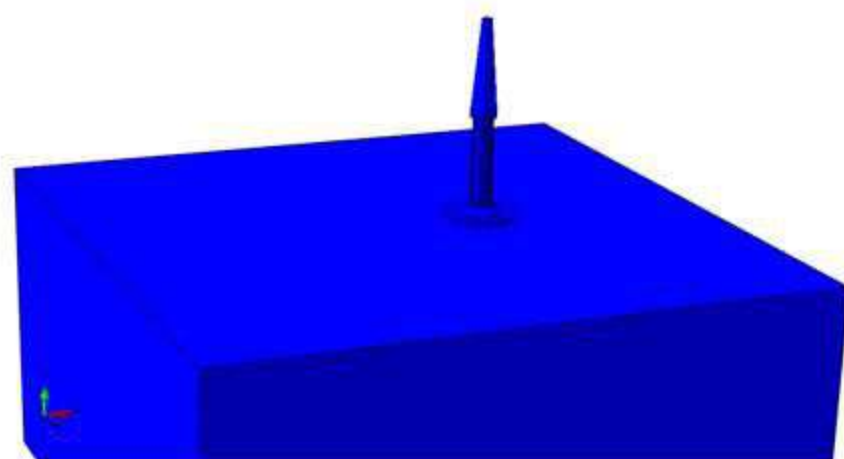
Принципиальная схема

Сейсмические подушки /shallow foundations/

Rion-Antirion bridge



Жесткая подушка
Ростверк соединен с сваями



Подушка из гранулированных материалов
Ростверк отделен от свай

Preliminary Report on the Principal Seismological and Engineering Aspects of the $M_w=6.5$ Achaia-Ilia (Greece) Earthquake on 8 June 2008

Basil Margaris, Christos Papaioannou, and Nikolaos Theodoulidis (*Engineering Seismologists*)
Alexandros Savvaidis (*Geophysicist*)
Nikolaos Klimis and Konstantia Makra (*Geotechnical Engineers*)
Milton Demosthenus, Christos Karakostas, Vassilis Lekidis, Triantafillos Makarios, and Thomas Salonikios (*Structural Engineers*)

ITSAK - Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering
Thessaloniki, Greece

George Athanasopoulos, George Mylonakis, Costas Papantonopoulos, Vicky Efthymiadou,
Panos Kloukinas, Ivan Ordonez, and Vassilis Vlachakis
Department of Civil Engineering, University of Patras
Patras, Greece

Jonathan P. Stewart
University of California, Los Angeles
Los Angeles, CA

Report for Web Dissemination
Geotechnical Earthquake Engineering Reconnaissance
http://research.eerc.berkeley.edu/projects/GEER/Post_EQ_Reports.html
GEER Association Report No. GEER-013

June 2008

8th Июня 2008 сильное землетрясение ($M_w=6.5$) произошло в Северной части Пелопоннесского полуострова в 36km от основных пролетов моста



Основные конструкции моста не получили повреждений

Panayotis Papanikolas, Aris Stathopoulos-Vlavis, Akis Panagis, Alain Pecker, Samuele Infanti, The behavior of Rion-Antirion Bridge during the Earthquake of "ACHAIA-ILIA" on June 8, 2008, 3rd fib International Congress – 2010

Сейсмические подушки из искусственных метаматериалов

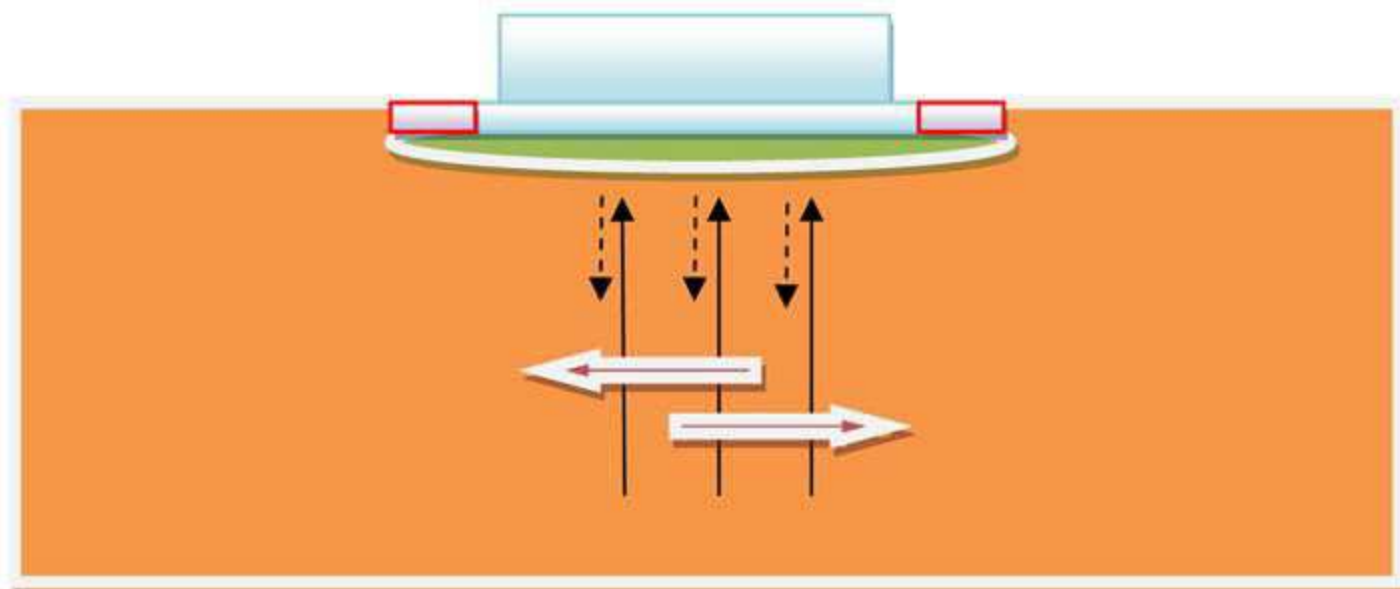
Сейсмические подушки /искусственные метаматериалы/

Метаматериалы, обладающие свойствами широкодиапазонных фононных кристаллов



Искусственные гранулированные метаматериалы, обладающие свойствами непропускания S -волн в широком диапазоне частот за счет большого числа поверхностей скольжения с низким трением и значительной разницей импедансов (в отношении S -волн) между материалом сейсмической подушки и грунтом

Сейсмические подушки /искусственные метаматериалы/

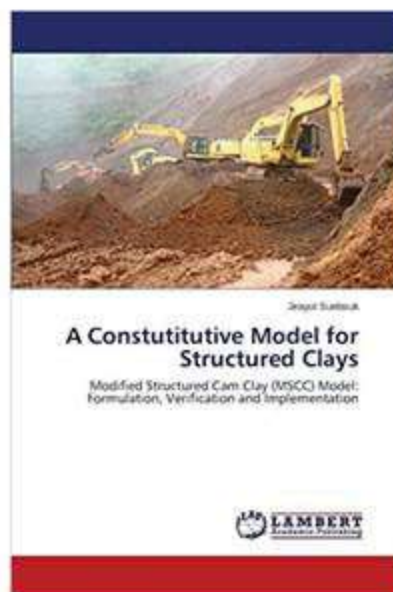
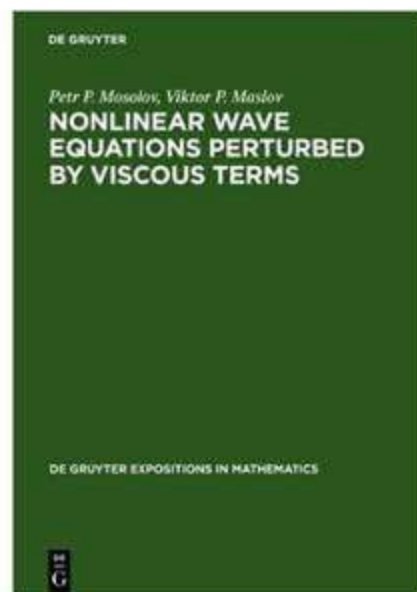


Принципиальная схема

Сейсмические подушки /искусственные метаматериалы/

Метаматериалы, обладающие свойствами
широкодиапазонных фоновых кристаллов

Математические модели



Гиперупругая модель для
бимодульных материалов

+

Пластическая Кэм-клей
модель для
безкогезионных сред

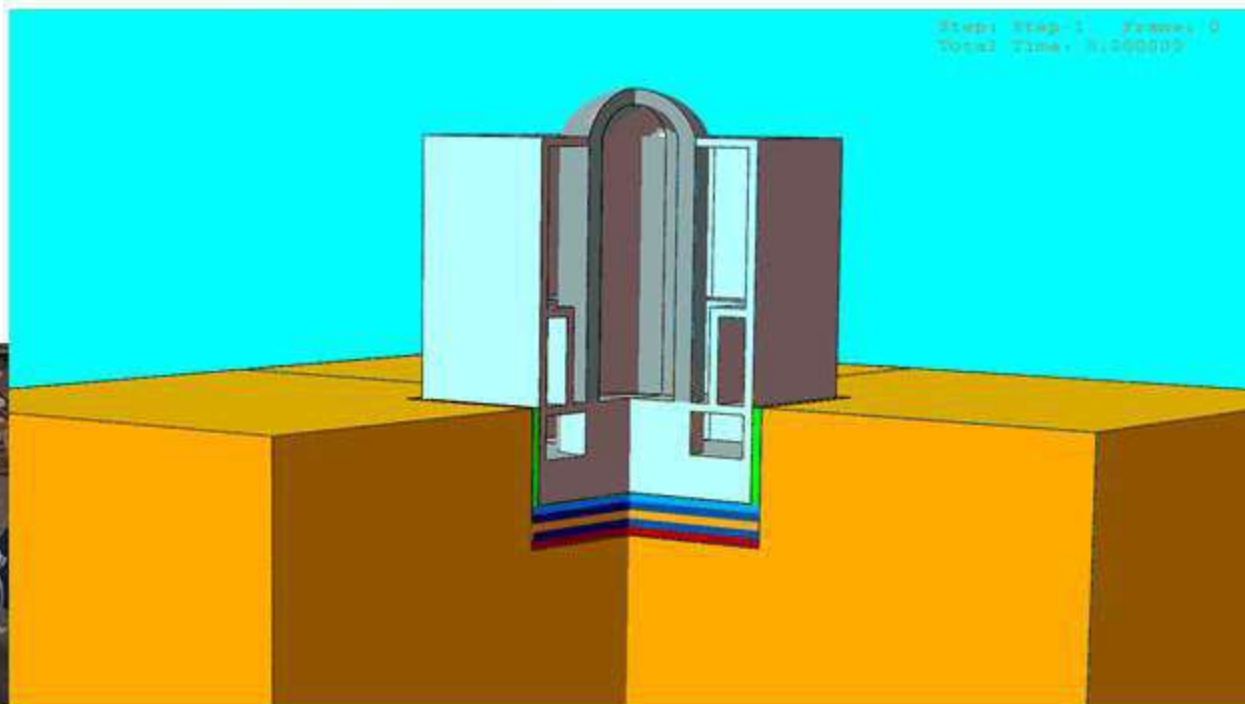
Сейсмические подушки

Метаматериалы, обладающие свойствами широкодиапазонных фоновых кристаллов



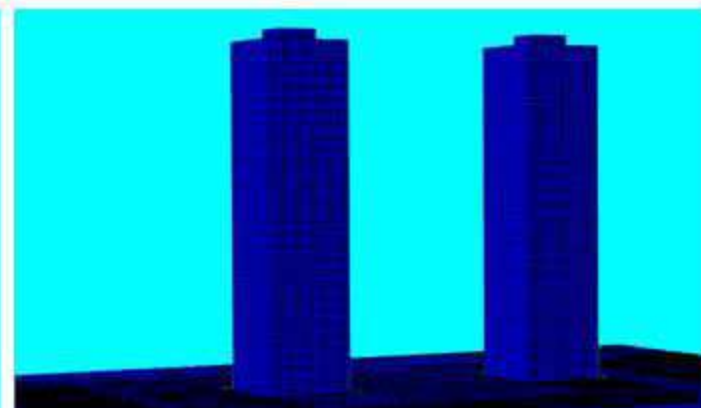
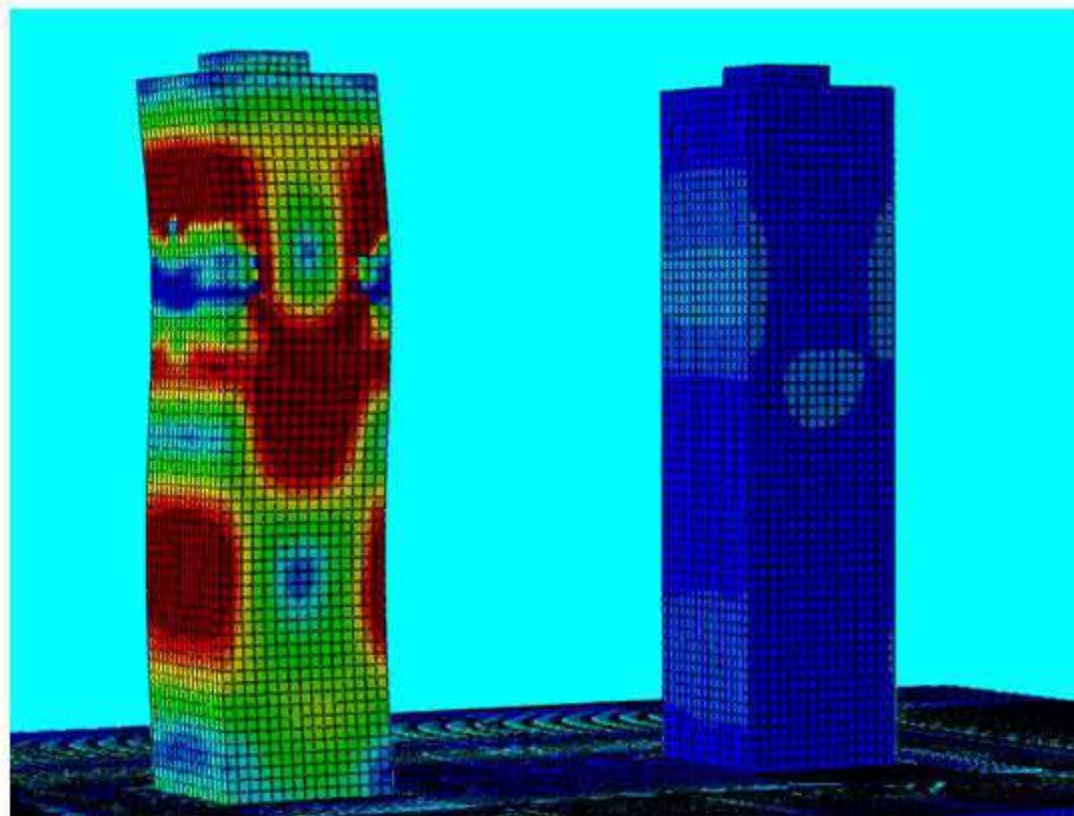
Specially constructed large diameter crimping hoses

JGB Enterprises



Сейсмические подушки

Метаматериалы, обладающие свойствами широкодиапазонных фононных кристаллов



Сейсмические подушки

Метаматериалы, обладающие свойствами широкодиапазонных фононных кристаллов

Производители



<http://www.atlasroilos.gr/en/>



<http://www.bridgestoneindustrial.eu/products/vibration-isolation-rubber/>



<http://www.marathonalliance.com.au/>



<https://www.fipindustriale.it>



Сейсмические подушки из метаматериалов

Преимущества

Стоимость

типичная стоимость составляет 1.8-3% от стоимости сооружения, что дешевле или сопоставимо со стоимостью резинометаллических сейсмоизоляторов

Долговечность

долговечность сопоставима со сроком службы самого сооружения (метаматериалы не нуждаются в замене, в отличие от резинометаллических сейсмоизоляторов

Защита фундаментных конструкций

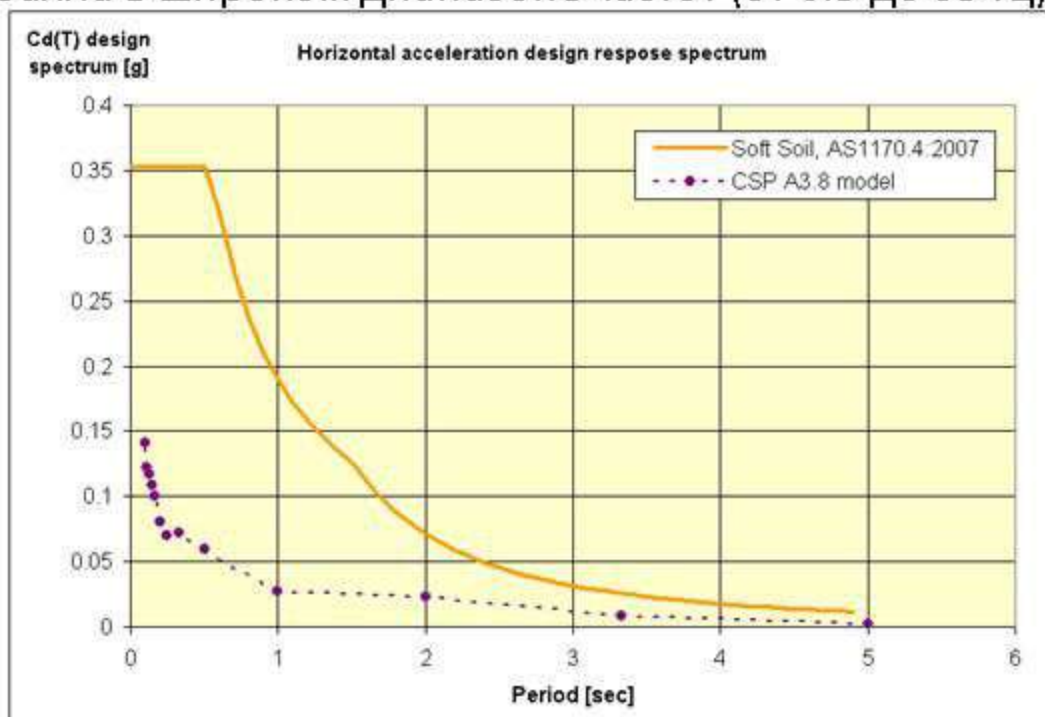
защита как вышележащих частей сооружения, так и его фундаментных конструкций, тогда как известные решения на основе сейсмоизоляторов оставляют незащищенными фундаментные конструкции.

Сейсмические подушки из метаматериалов

Преимущества

Частотный диапазон

Применение сейсмических подушек позволят снизить уровень ускорений (PGA) на поверхности земли на полтора и более балла в широком диапазоне частот (от 0.5 до 35 Гц)



По данным Marathon Alliance®

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!