



МИАКОМ
группа компаний

«Миакком Инжиниринг»

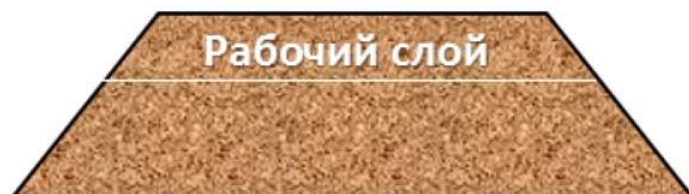
Обеспечение ровности и трещиностойкости цементобетонных покрытий

Федоренко Евгений Владимирович

Сочи, 2016

1. Состояние вопроса

1. Высокие насыпи >3 м



Грунтовое основание (консолидированное)

Влияние слабого грунтового основания незначительно

2. Улицы городов (нулевые места, выемки)



Рабочий слой - слабые грунты $E < 5$ МПа

Влияние слабого грунтового основания существенно

3. Низкие насыпи (<3 м)

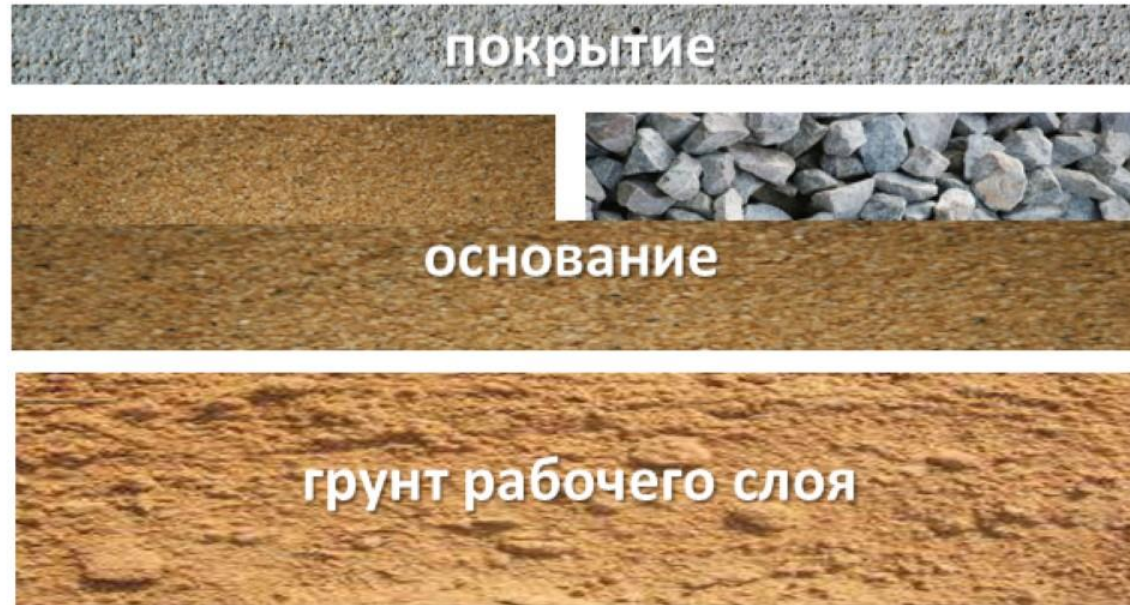


Рабочий слой - слабые грунты $E < 5$ МПа



- Вертикальные смещения
- Проломы
- Трещины

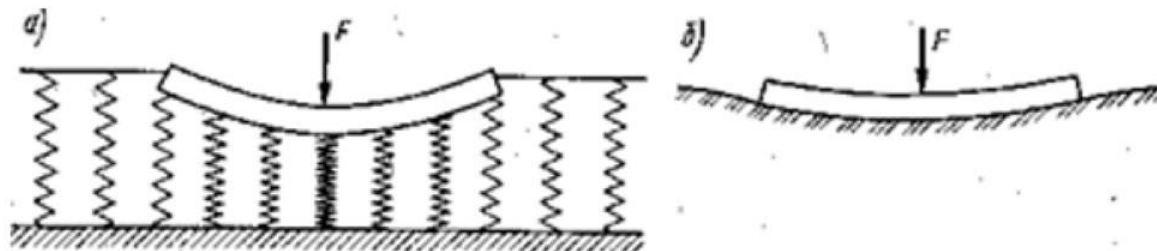




Снижение податливости основания = армирование покрытия

$$\sigma_{\phi} \cdot K_y \leq \sigma_{\text{доп}}$$

σ_{ϕ} - фактическое напряжение; $\sigma_{\text{доп}}$ - допустимое напряжение;
 K_y - коэффициент усталости бетона.



измерители модуля упругости



E_{vd}

Электронный динамический
плотномер грунта Zorn ZFG-3.0



Измеритель модуля упругости грунтов
и оснований дорог ПДУ-МГ4

$E_{v2}=E_y$



Сопоставление

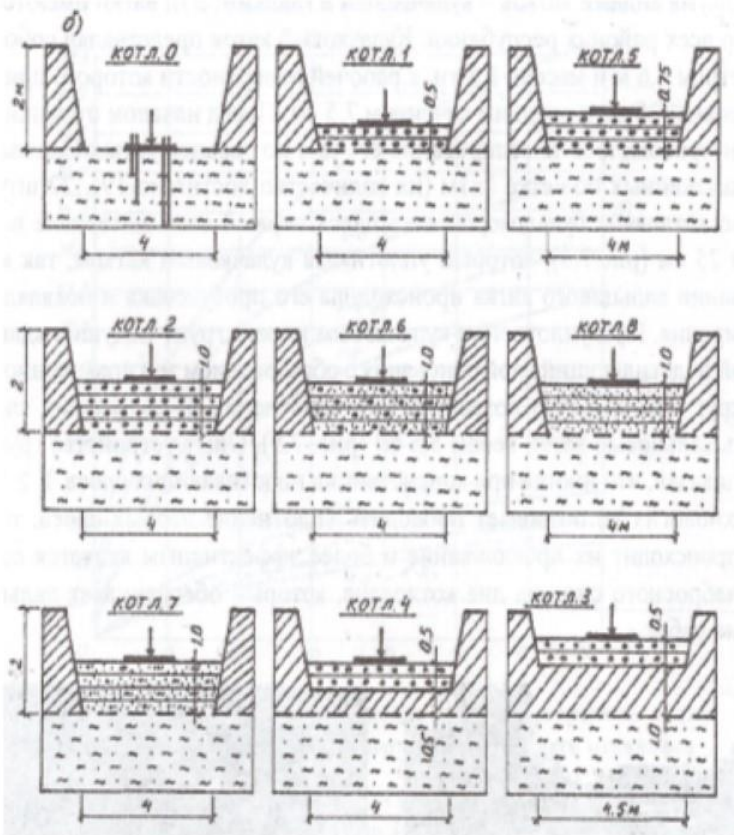
Штамповый модуль по второй ветви нагружения (Ev2) совпадает с модулем упругости прибора динамического уплотнения



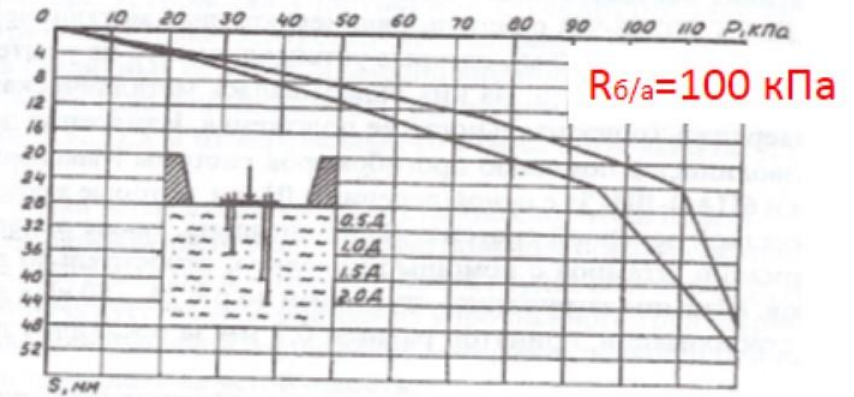
Уплотненные грунтовые подушки

Исследования Р.А. Усманова
(СПбГАСУ)

Схема проведения штамповых
экспериментов



Штамповые испытания грунтов основания

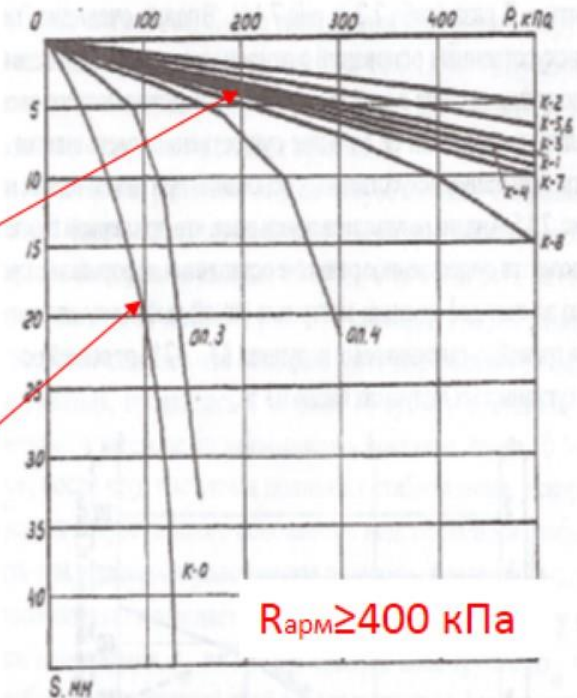


Штамповые испытания

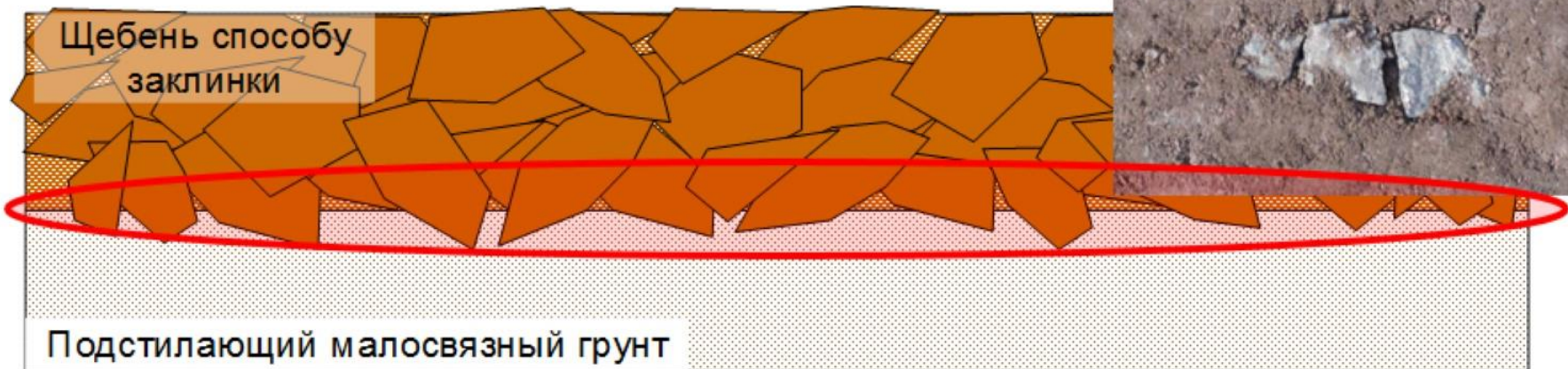
$$\sigma < R$$

Уплотненная
грунтовая подушка

Основание

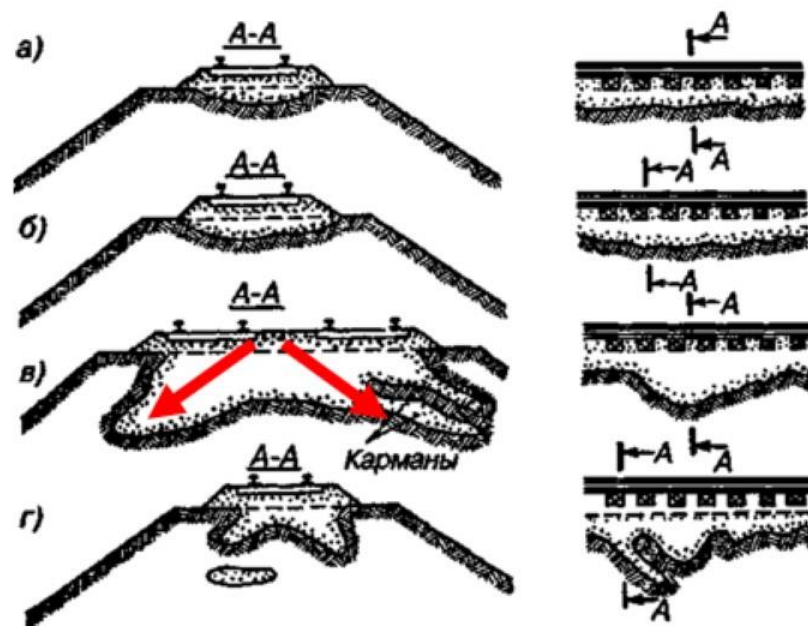


Недостатки конструктивных слоев

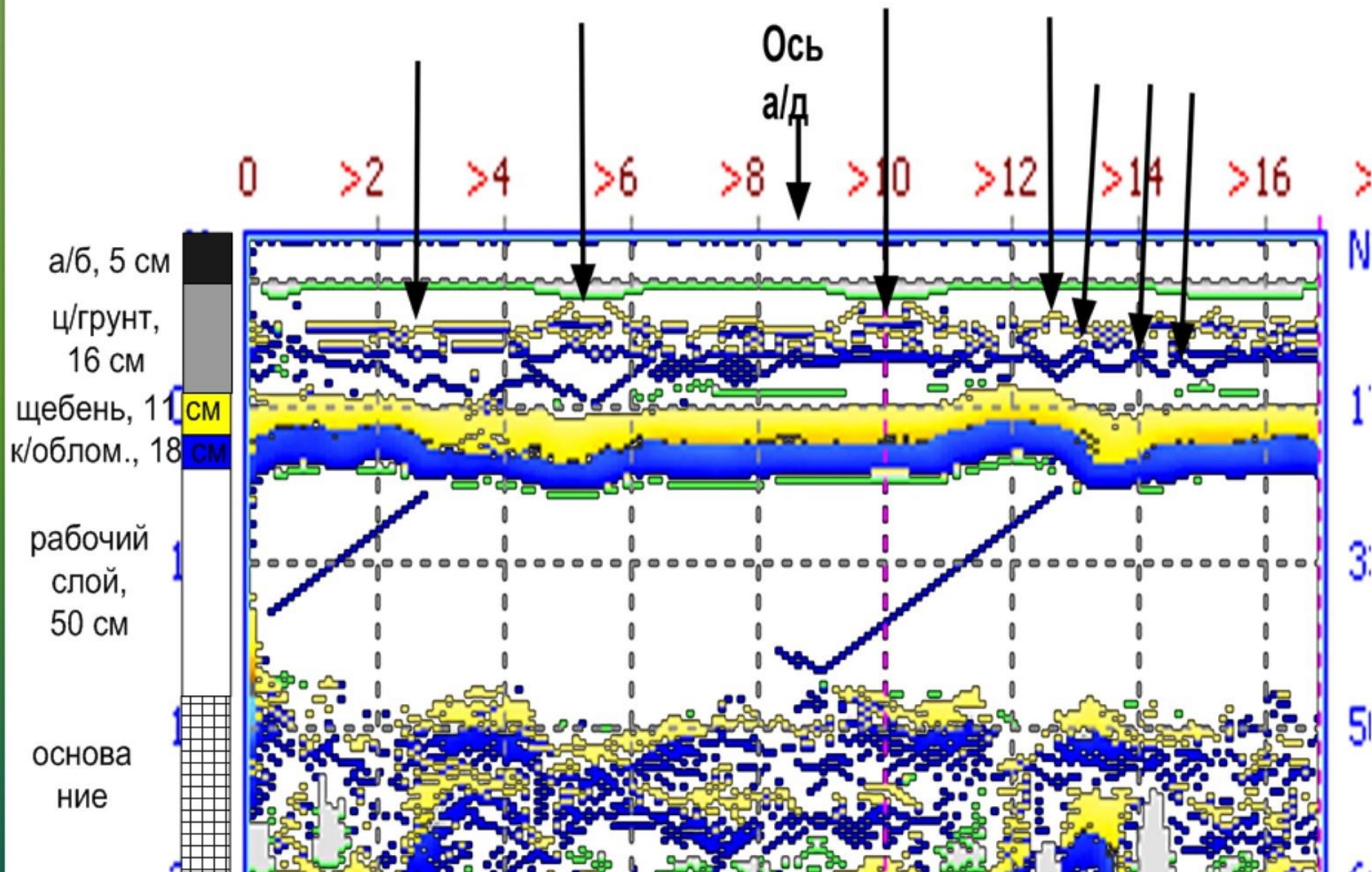


Контакт крупного щебня и мелкого песка – слабый, со временем развиваются микросдвиги

Необходима компенсация касательных напряжений на границе слоев с разной крупностью



Георадарное обследование



Уплотнение рабочего слоя

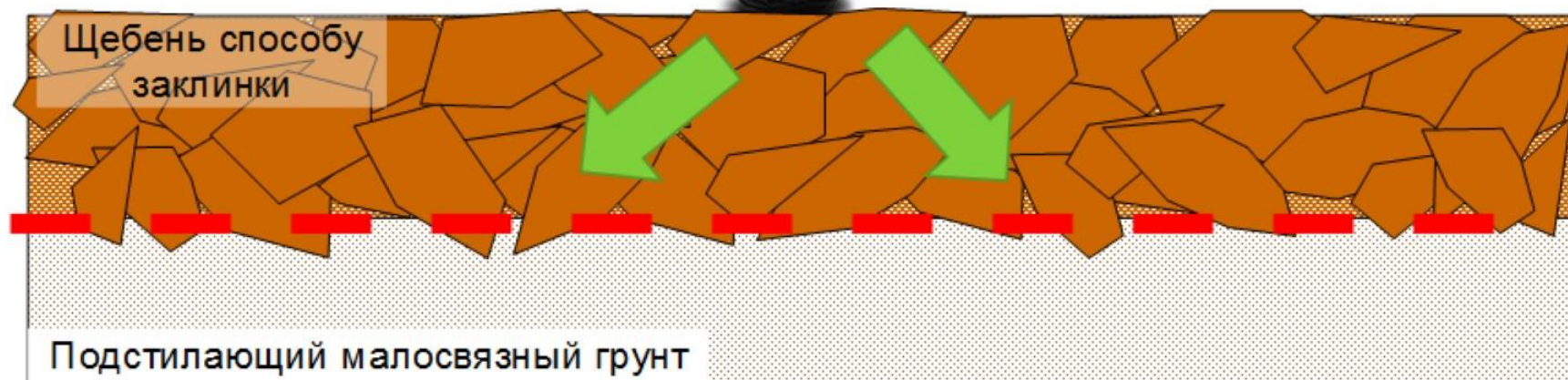
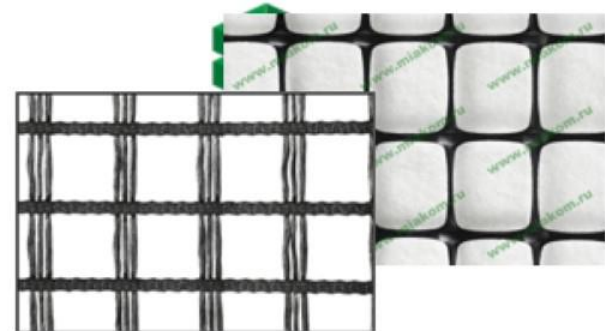
(СП 34.13330-2012)

При невозможности или нецелесообразности выполнения требований указанных пунктов предусматривают мероприятия по обеспечению прочности и устойчивости рабочего слоя или по усилению дорожной одежды:

- устройство морозозащитного слоя;
- регулирование водно-теплового режима земляного полотна;
- укрепление и улучшение грунта рабочего слоя;
- **применение армирующих прослоек из геосинтетических материалов;**
- понижение уровня подземных вод с помощью дренажа;
- применение специальных поперечников земляного полотна в целях его защиты от поверхностной воды (уположенные откосы, бермы);
- сооружение дорожных одежд с техническим перерывом или в две стадии.

Указанные мероприятия назначают на основе технико-экономических расчетов.

Псевдоплита



Эффект армирования дисперсных несвязных грунтов георешетками

Армирование = переуплотнение

ОДМ 218.5-002-2008

$\sigma < \sigma_{\text{доп}}$

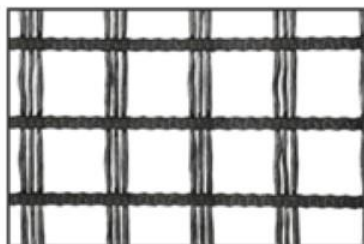


покрытие

основание

Укрепленное
основание

грунт рабочего слоя



Армирующие элементы с
решетчатой структурой

Армирование геоматериалами

Эквивалентный модуль, МПа	Толщина слоев песка/щебня (м) при модуле упругости грунтов земляного полотна			
	40 МПа	60 МПа	80 МПа	100 МПа
140	30/25	25/20	25/15	15/15
160	30/30	30/25	30/20	15/20
180	-	-	30/25	25/25
195	-	-	-	30/30
Армированная конструкция				
160	30/20	15/15	15/15	15/15
180	30/25	30/15	15/15	15/15
195	30/30	30/25	30/15	15/15



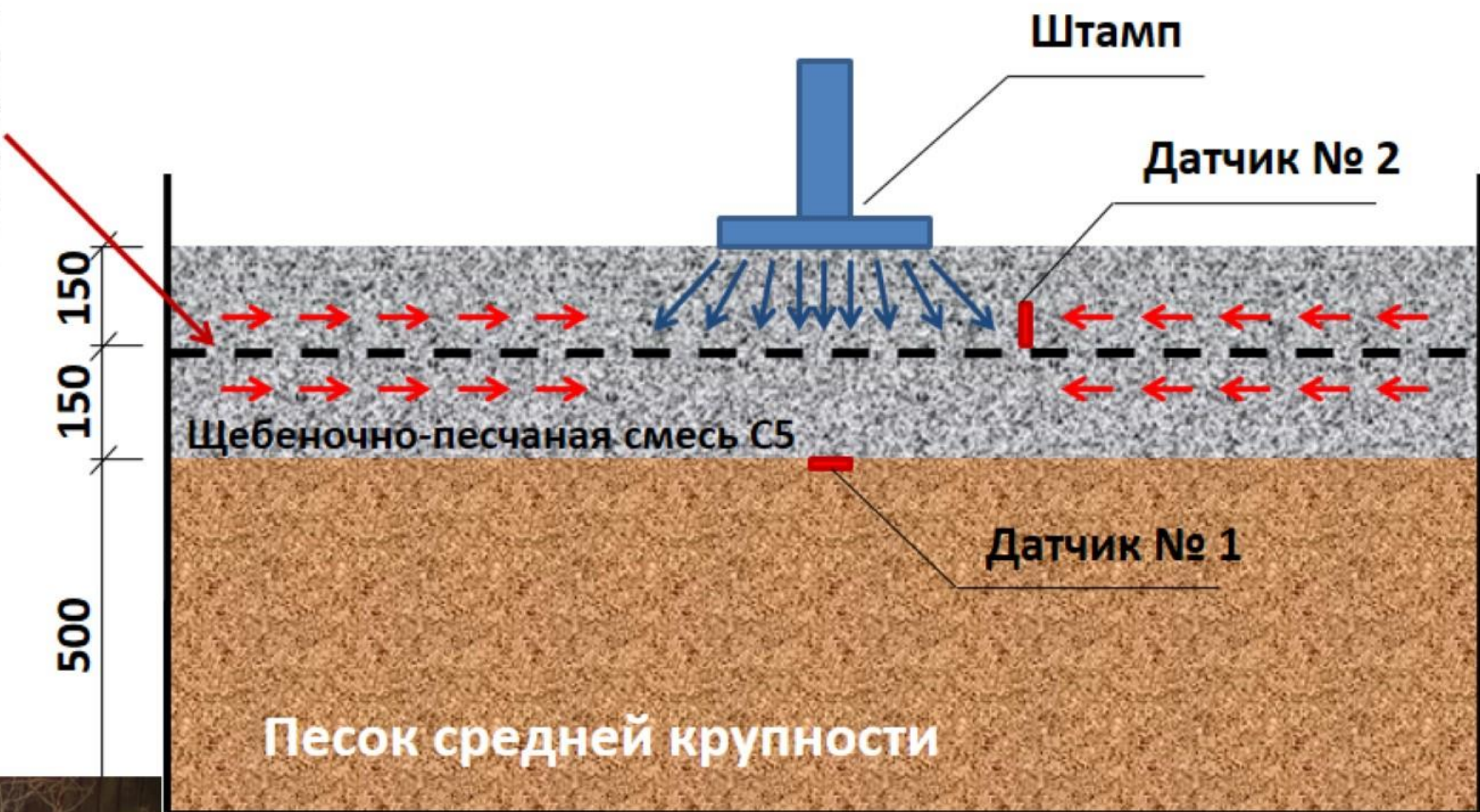
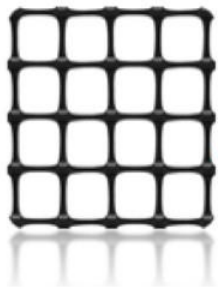
песок



грунт
рабочего слоя

Расчеты выполнены для слоев песка/щебня в диапазоне толщин 15-30 см

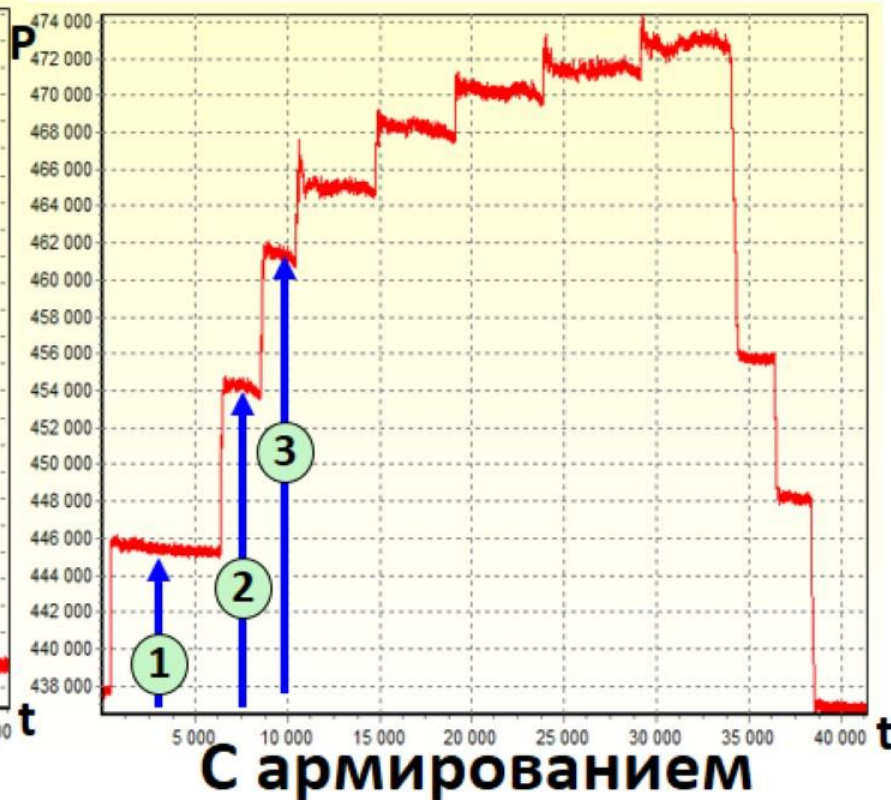
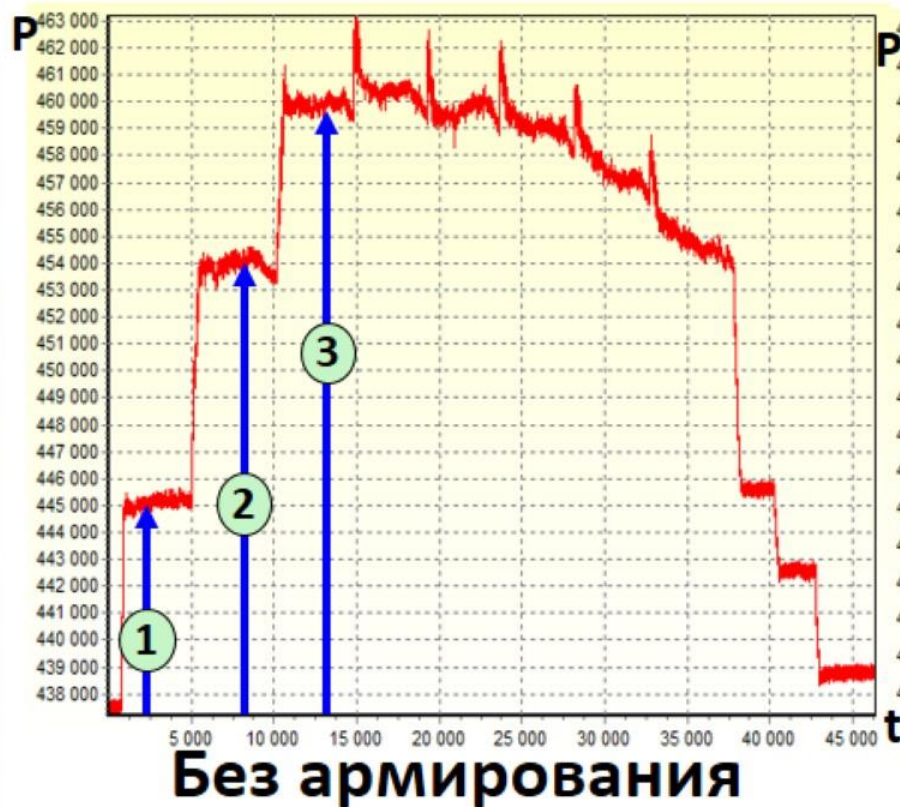
модели

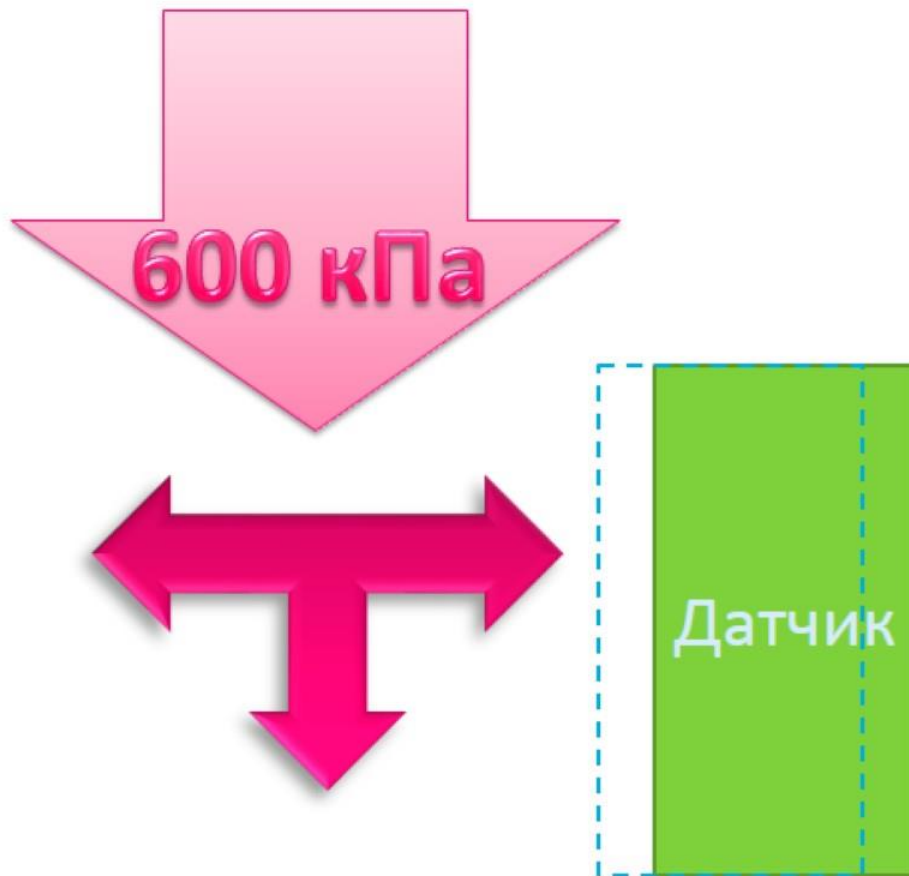


Результаты измерений



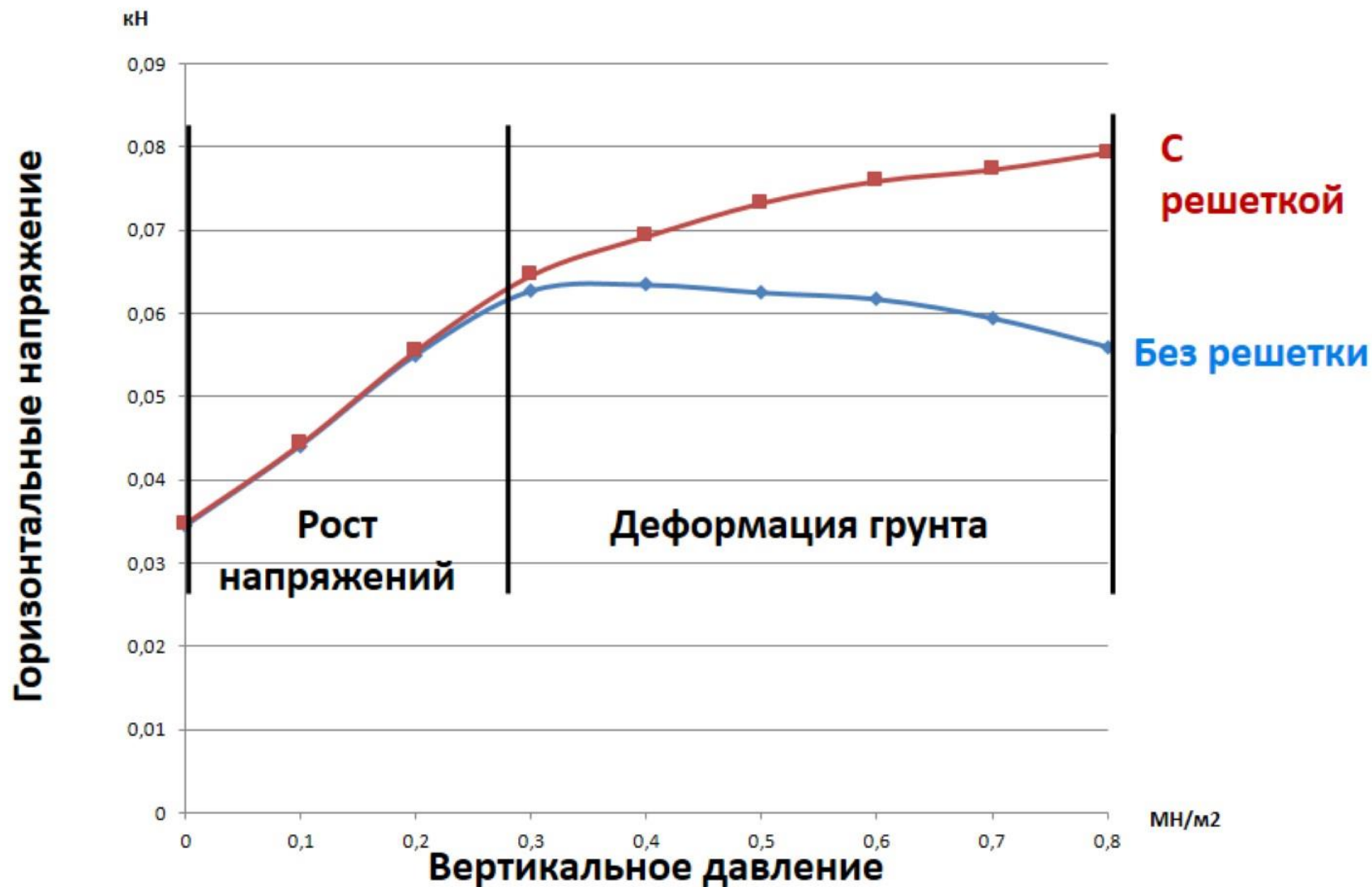
Датчик горизонтального
давления





100 кПа	23 кПа
200 кПа	50 кПа
300 кПа	73 кПа
400 кПа	71 кПа
500 кПа	68 кПа
600 кПа	50 кПа

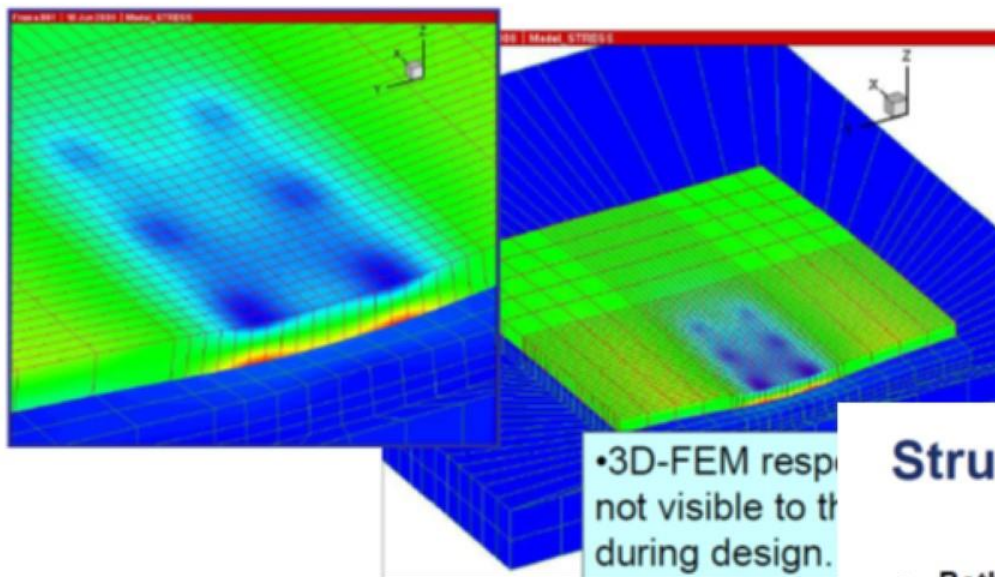
Результаты испытаний



1. Сплошная среда – продолжение совершенствования принятой методики путем численного моделирования МКЭ.
2. Дискретная среда – возобновление старого направления и его дальнейшее развитие путем моделирования ДЭМ.

3D-FEM Stress Response

Stress σ_{yy} Contours Displayed Using NikePlot

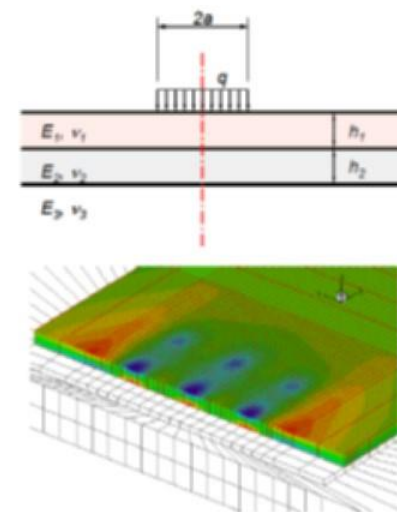


Момент приземления Боинга 777

Моделирование взаимодействия самолетов с жестким покрытием аэродромных одежд

Structural Models in FAARFIELD 1.3

- Both layered elastic (LEAF) and 3D-FEM (NIKE3D) are used in FAARFIELD.
- Flexible pavement design
 - LEAF is used for all structural computations.
 - For flexible, no advantage to using 3D-FEM.
- Rigid pavement design
 - LEAF is used to generate a preliminary thickness.
 - Final iterations are done using 3D-FEM.



Исследования в грунтовой лотке

Многоканальная тензостанция



Датчики давления



Измеритель
модуля упругости

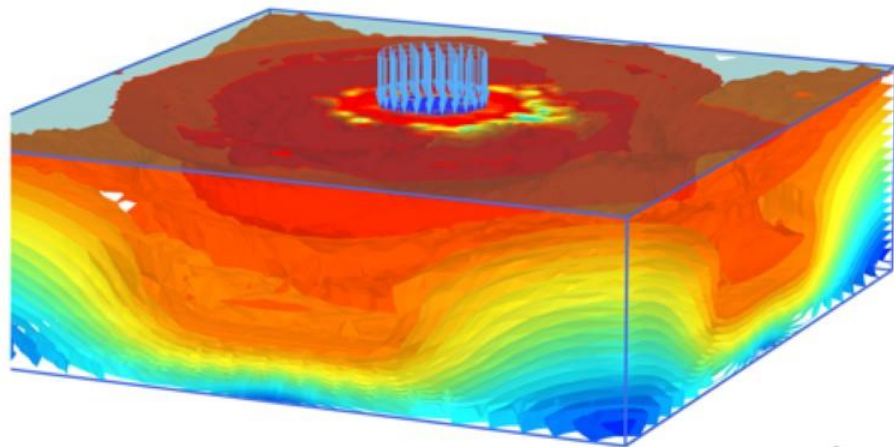
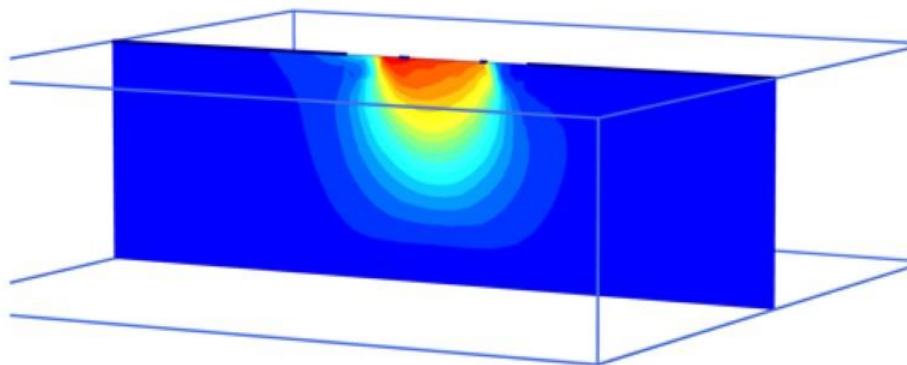
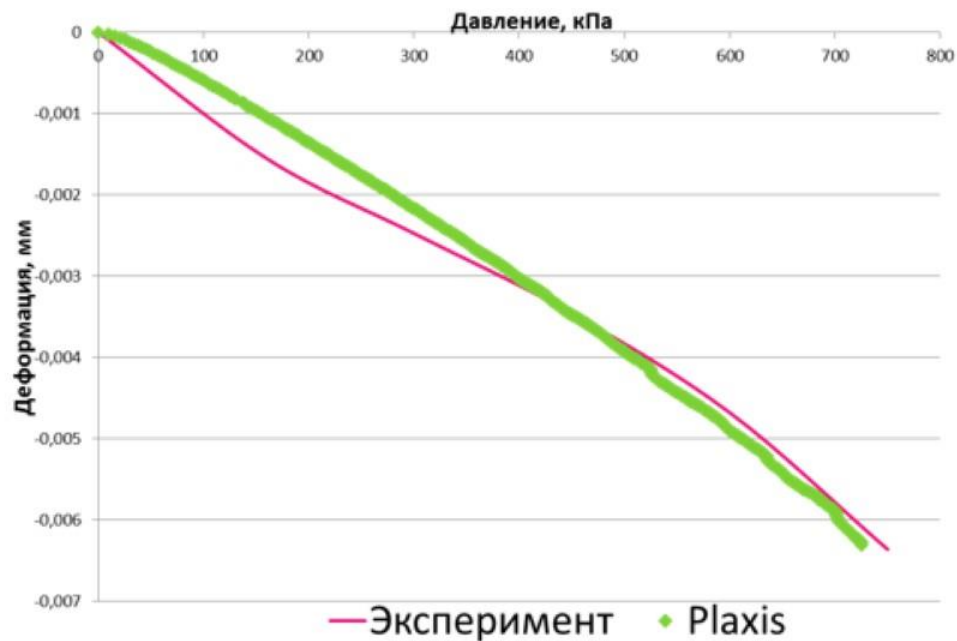
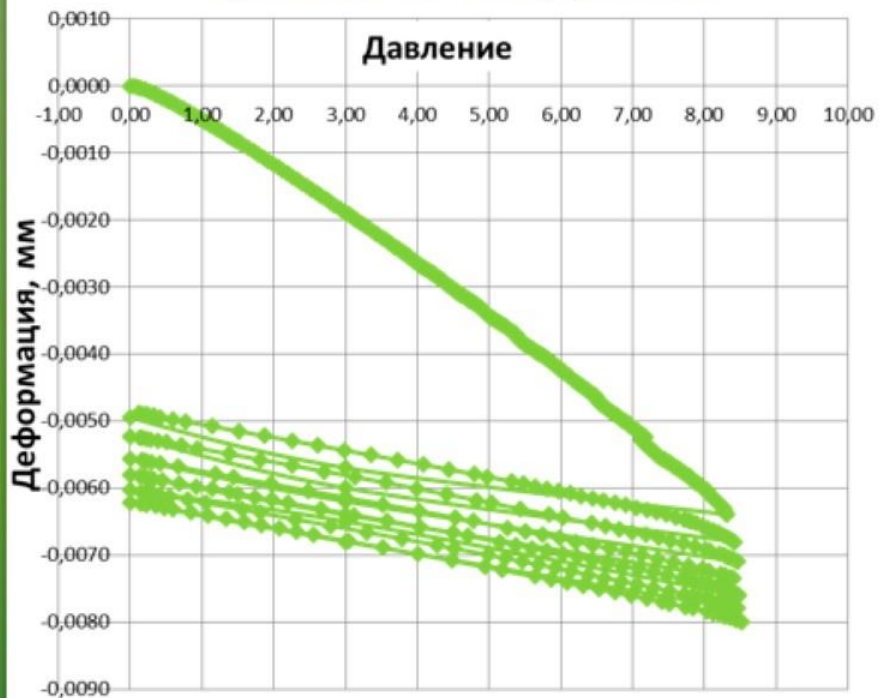


Штамповая установка



3D моделирование лотка

Циклическое нагружение

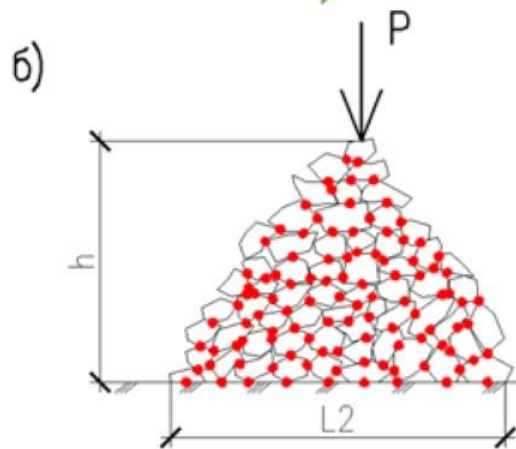
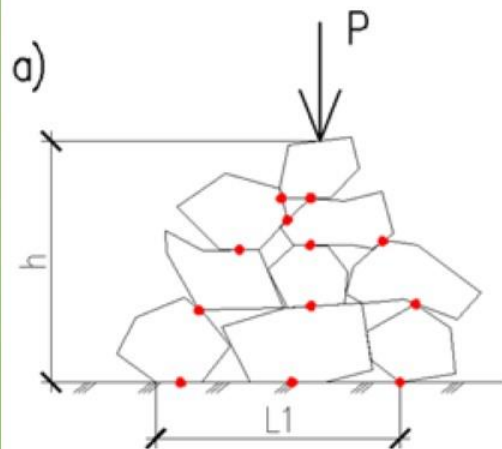


Теоретическое обоснование ДЭМ

Сплошная среда

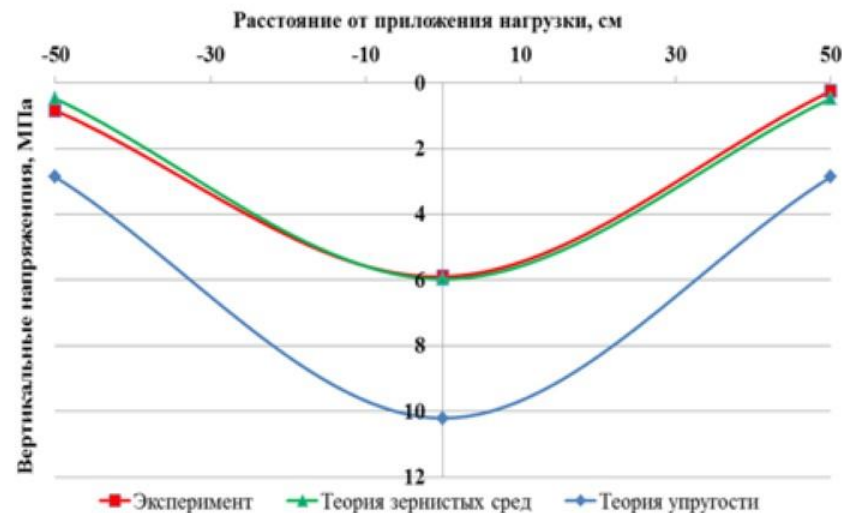
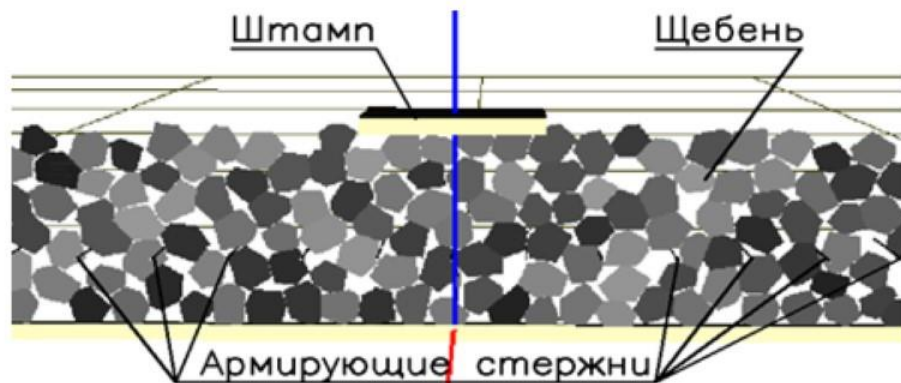


Дискретная среда



Теория о механике
зернистых сред
И.И. Кандаурова
60-е года 20 века

Механизм взаимодействия армирующих прослоек с зернистым грунтом с позиции теорий И.И. Кандаурова и П. Роу (предпосылки)



Mathcad - [Рабочий рес.1]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal Arial 30

My Site

$P_1 = 0.504$	$a_1 = 0$ - положение 1 камня вдоль X	$f_1 = -0.05$ - положение 1 камня вдоль Y
$\frac{l_x}{2} = 0$	$a_2 = -0.1$ - положение 2 камня вдоль X	$f_2 = -0.15025$ - положение 2 камня вдоль Y
$z = 0.001$	$a_3 = -0.20025$ - положение 3 камня вдоль X	$f_3 = -0.05$ - положение 3 камня вдоль Y
$\nu = 0.35$	$a_4 = 0.10025$ - положение 4 камня вдоль X	$f_4 = -0.15025$ - положение 4 камня вдоль Y
	$a_5 = 0$ - положение 5 камня вдоль X	$f_5 = -0.2505$ - положение 5 камня вдоль Y
	$a_6 = -0.20025$ - положение 6 камня вдоль X	$f_6 = -0.2505$ - положение 6 камня вдоль Y
	$a_7 = -0.10025$ - положение 7 камня вдоль X	$f_7 = -0.35075$ - положение 7 камня вдоль Y
	$a_8 = 0.1$ - положение 8 камня вдоль X	$f_8 = -0.35075$ - положение 8 камня вдоль Y
	$a_9 = 0.20025$ - положение 9 камня вдоль X	$f_9 = -0.05$ - положение 9 камня вдоль Y
	$a_{10} = 0.20025$ - положение 10 камня вдоль X	$f_{10} = -0.2505$ - положение 10 камня вдоль Y

$l_x = 0.1$ длина равномерной нагрузки

$S_x = 0.05$ ширина равномерной нагрузки

$$\sigma_{21}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_1}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_1}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_1+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_1-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{22}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_2}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_2}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_2+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_2-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{23}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_3}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_3}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_3+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_3-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{24}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_4}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_4}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_4+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_4-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{25}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_5}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_5}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_5+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_5-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{26}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_6}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_6}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_6+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_6-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

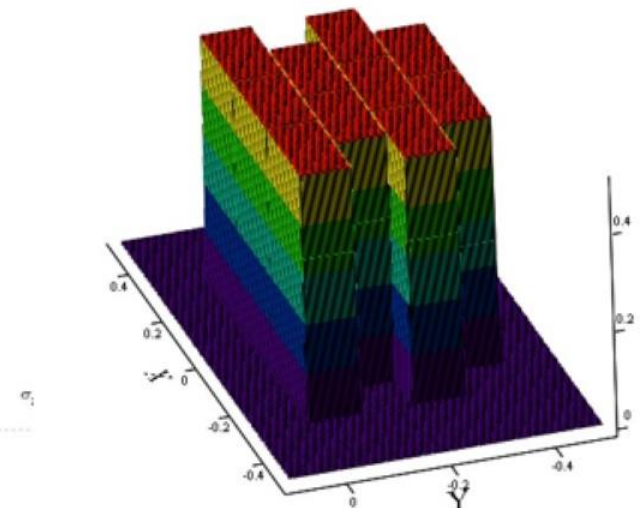
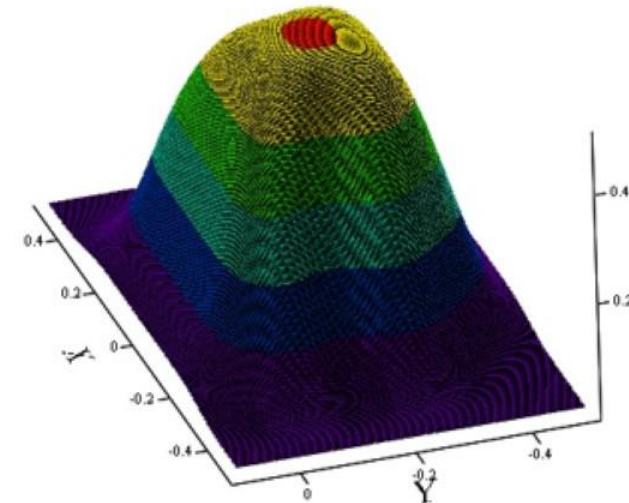
$$\sigma_{27}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_7}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_7}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_7+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_7-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{28}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_8}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_8}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_8+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_8-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{29}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_9}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_9}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_9+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_9-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

$$\sigma_{210}(x, y) = \frac{P_1}{4} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x+1+a_{10}}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-1+a_{10}}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{y-f_{10}+c}{z\sqrt{2\nu}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{y-f_{10}-c}{z\sqrt{2\nu}} \right) \right)$$

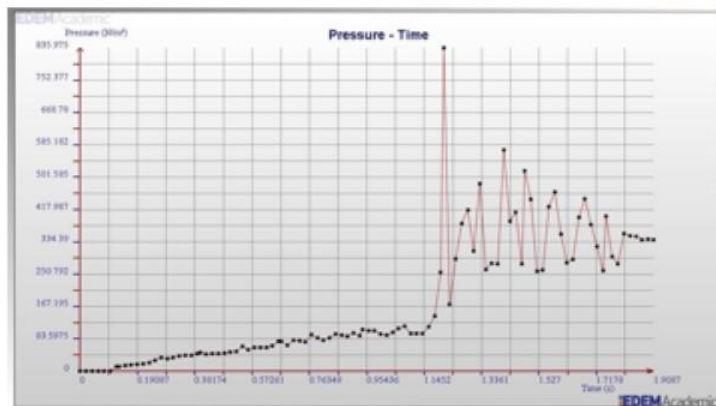
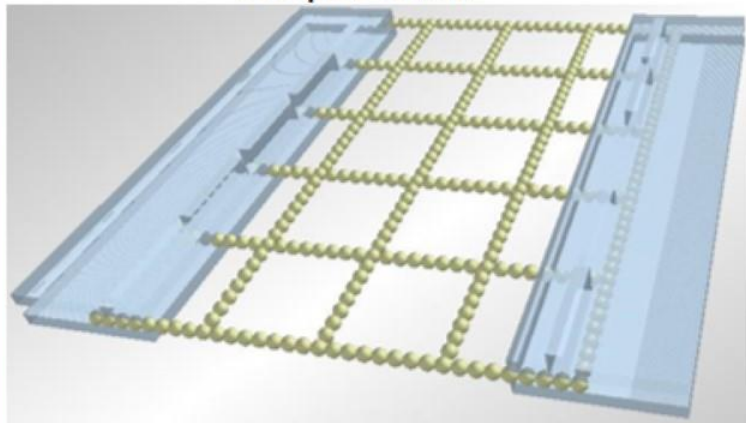
Распределение напряжений под плитами



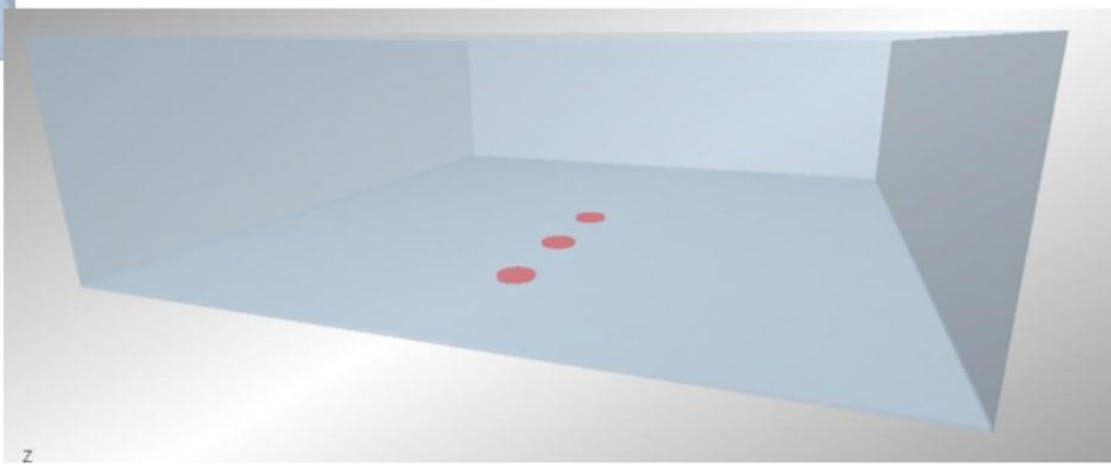
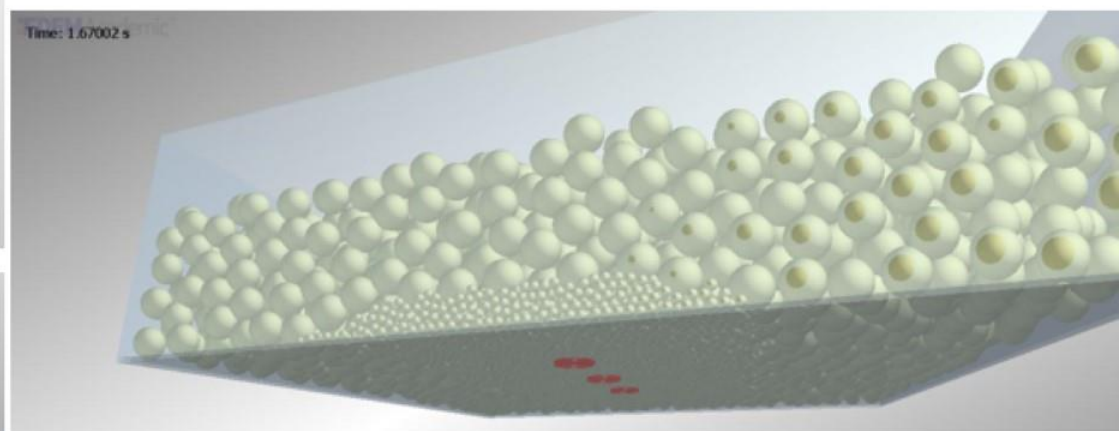
Математическая теория, реализованная в
программе Mathcad

Дискретно-элементный метод

Моделирование элемента -
георешетка



Численное моделирование
экспериментов в лотке



1. Использование геосинтетических материалов в несвязных конструктивных слоях основания позволяет сформировать псевдоплиту, которая обеспечивает:

- снижение концентрации контактного давления под краями плит;
- работу несвязного грунта как связного;
- снижает остаточные деформации;
- предотвращает образование микросдвигов в подстилающих несвязных грунтах;
- уменьшает податливость основания;
- компенсирует неоднородность прочности бетона.

2. Для учета влияния геосинтетических прослоек рекомендуется численное моделирование с использованием МКЭ и ДЭМ.

Благодарю за внимание!

Группа компаний «МИАКОМ»

«Миакон Инжиниринг»

197022, Санкт-Петербург, пр. Медиков, д. 5

Тел./факс: (812) 334-11-78, тел.: (812) 334-12-21

Эл. почта: evgeniy@miakom.ru

Сайт: www.miakom.ru