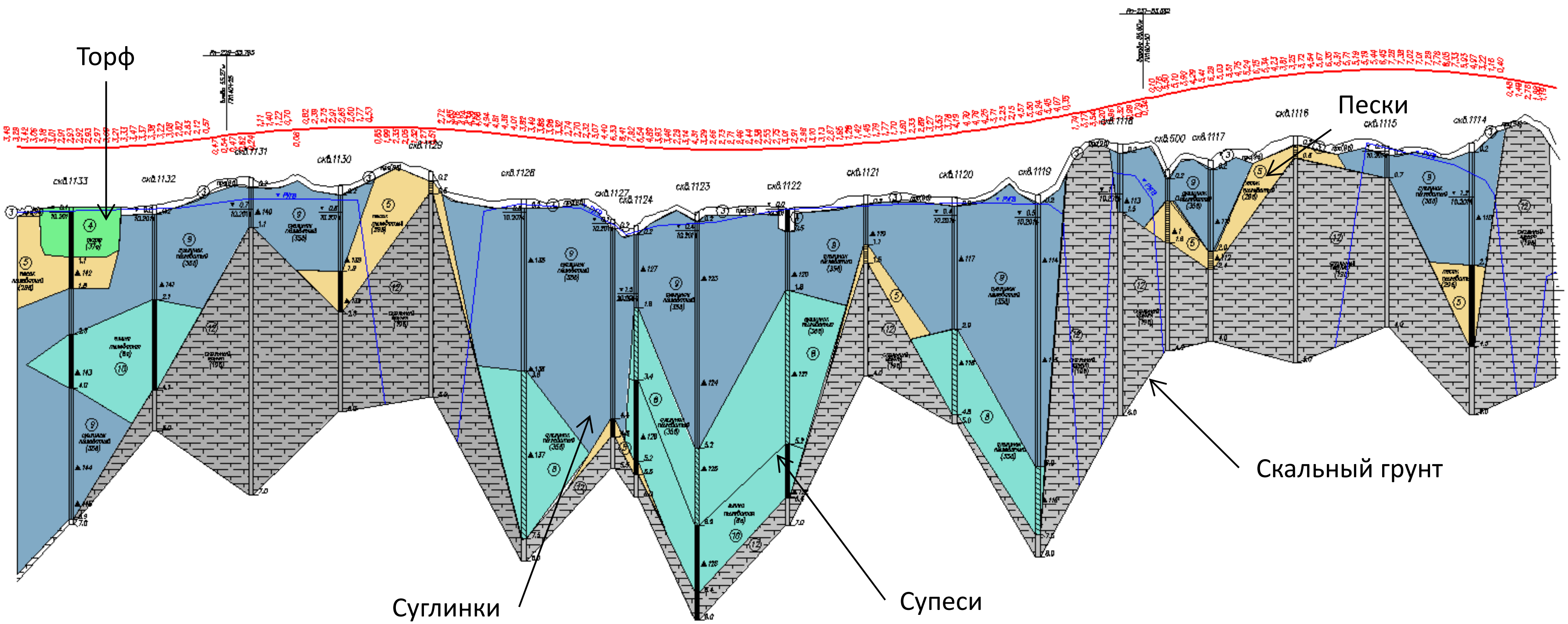
# ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ГРУНТОВЫМИ СВАЯМИ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ

Авторы:
Долгов Павел, нач.отд. геотехники, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний




Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

# СП 22.13330.2016 ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

## Технологии усиления грунтов основания

### Закрепление грунтов

- Струйный метод: Jet-grouting

- Глубинное перемешивание

- ALLU (глубина до 2-10м),
- Грунтоцементные сваи (DMM - Deep Mixing Methods: DSM, WRS, WRE и др.),

- Термические методы

### Армирование грунтов

- Вертикальное
- Железобетонные сваи,
- Цементогрунтовые сваи,
- Столбы из песчаных грунтов или щебня,

- Горизонтальное армирование
- перераспределение нагрузки устройством гибких ростверков

- Наклонное
- Устройство грунтовых нагелей

Jet-grouting

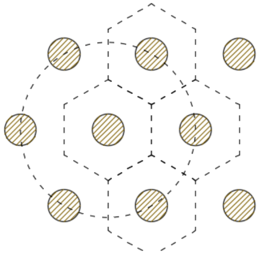
KLEMM Bohrtechnik

Глубинное перемешивание

ALLU One Step Ahead

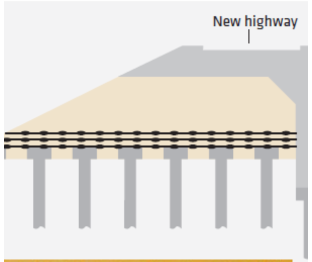
WRS метод

Грунтовые сваи/столбы



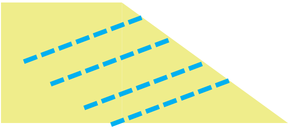
betterground

Гибкий ростверк




TENSARTECH PLATEAU

Армирование нагелями



GEOIZOL-MP

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ группа компаний

**1934 год**

Wilhelm L. Degen  и Sergej Steuermann изобрели первый глубинный виброщуп

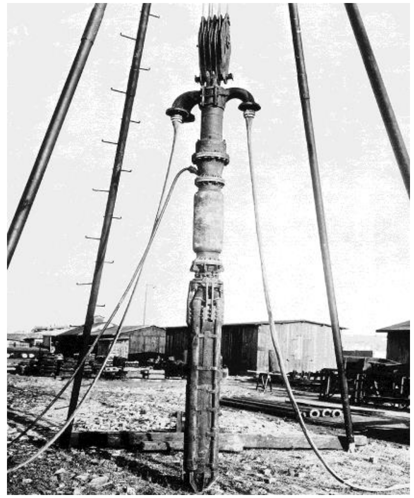



Рис.8. Установка на базе ВВПС 32/19 для устройства вертикальных дрен и песчаных свай:
1–генератор; 2–двухбарабанная лебедка; 3–трактор Т-140 или Т-180; 4–направляющая мачта; 5–виброногружатель; 6–обсадная труба


DEUTSCHE NORM | December 2005

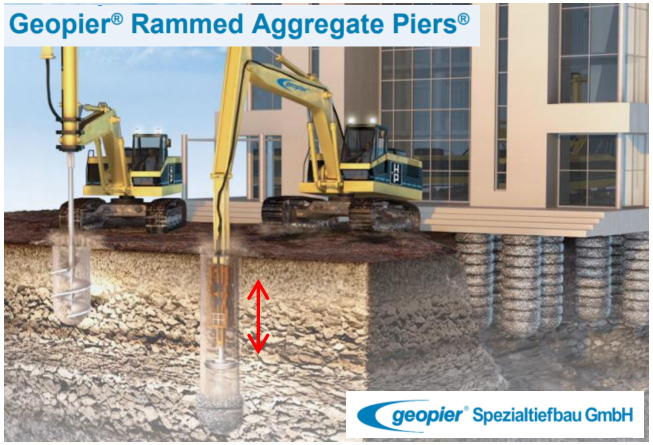
| | DIN EN 14731 | DIN |
|---|---|---|

ICS 93.020

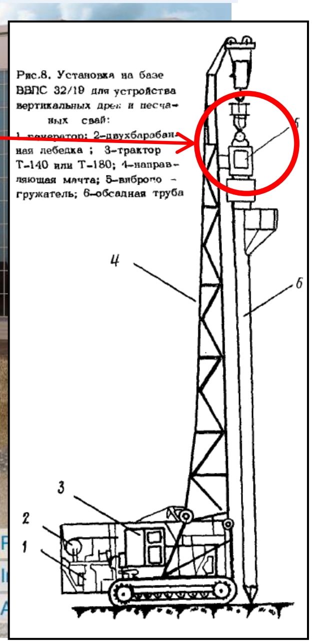
**Execution of special geotechnical works –**
**Ground treatment by deep vibration**
**English version of DIN EN 14731:2005**

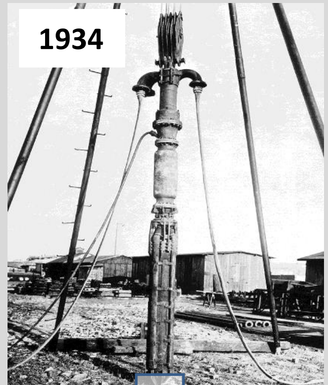
Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

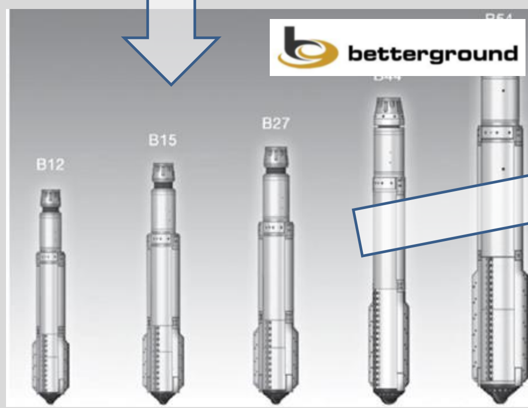
ГЕОИЗОЛ группа компаний





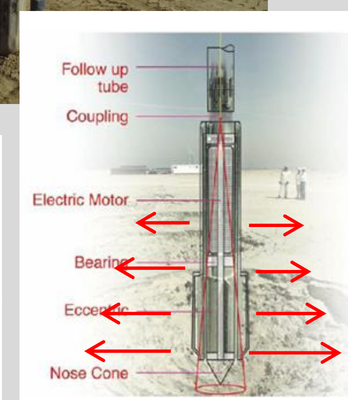




| Vibroflot | | B12 hydraulic | B12 electric | B15 hydraulic | B15 electric |
|---|---|---|---|---|---|
| Motor Force | kW | 94 | 90 | 114 | 105 |
| Rotation Speed | rpm | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| Eccentric Force | kN | 170 | 170 | 190 | 190 |
| Amplitude (at tip) | mm | 9 | 9 | 12 | 12 |
| Diameter (above wear plates) | mm | 292 | 292 | 310 | 310 |
| Length | mm | 2840 | 2840 | 3430 | 3430 |
| Weigth | kg | 1530 | 1530 | 1840 | 2200 |




Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

# ГРУНТОВЫЕ СВАИ-ДРЕНЫ (по технологии глубинного виброуплотнения)

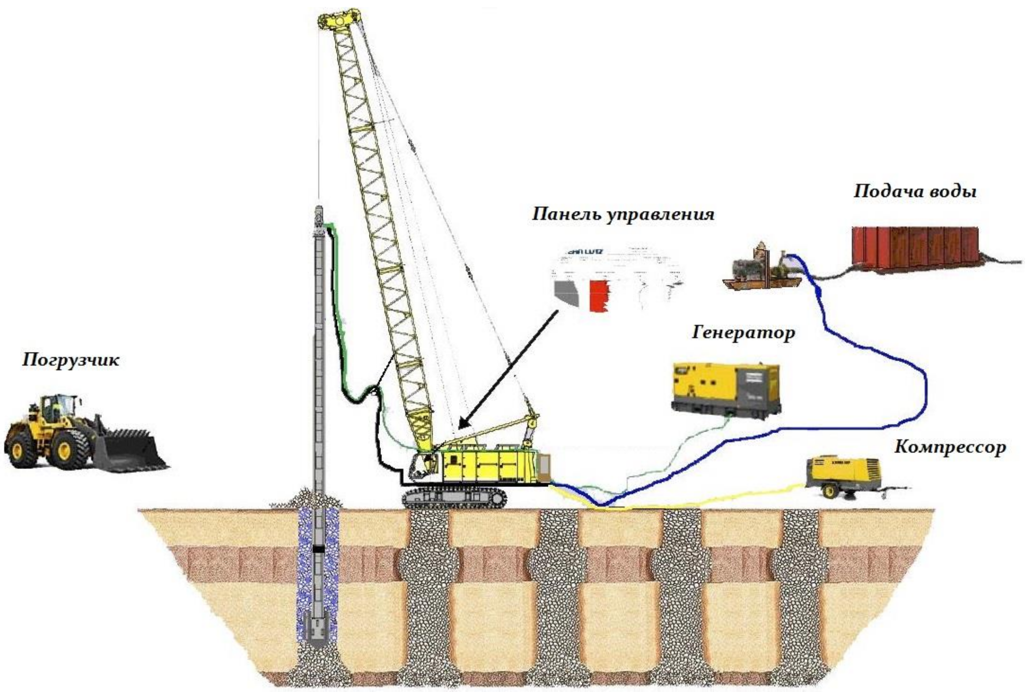
Плюсы:
+ позволяет увеличить несущую способность основания,
+ позволяет уменьшить деформации основания
+ позволяет использовать природные материалы (песок, щебень, гравий, песчано-гравийную смесь)
+ относительно низкая стоимость
+ многократно сокращает скорость стабилизации деформаций (консолидация)
+ хорошо работают на вертикальные и горизонтальные нагрузки
+ позволяет регулировать диаметр и объем материала в зависимости от задачи и грунтовых условий

Минусы:
- При использовании для усиления крайне слабых глинистых грунтов требуется проведение мероприятий по предварительному уплотнению,

Виброколонна погружается с помощью вибрации и подачи воздуха (иногда с минимальной подачей воды для прохождения плотных слоев)

Щебень вводится через специальный привод вдоль вибропогружателя под давлением сжатого воздуха

Виброколонна совершает попеременные движения вверх и вниз для уплотнения щебня и формирования тела сваи. При этом также уплотняется и улучшается окружающий грунтовый массив.



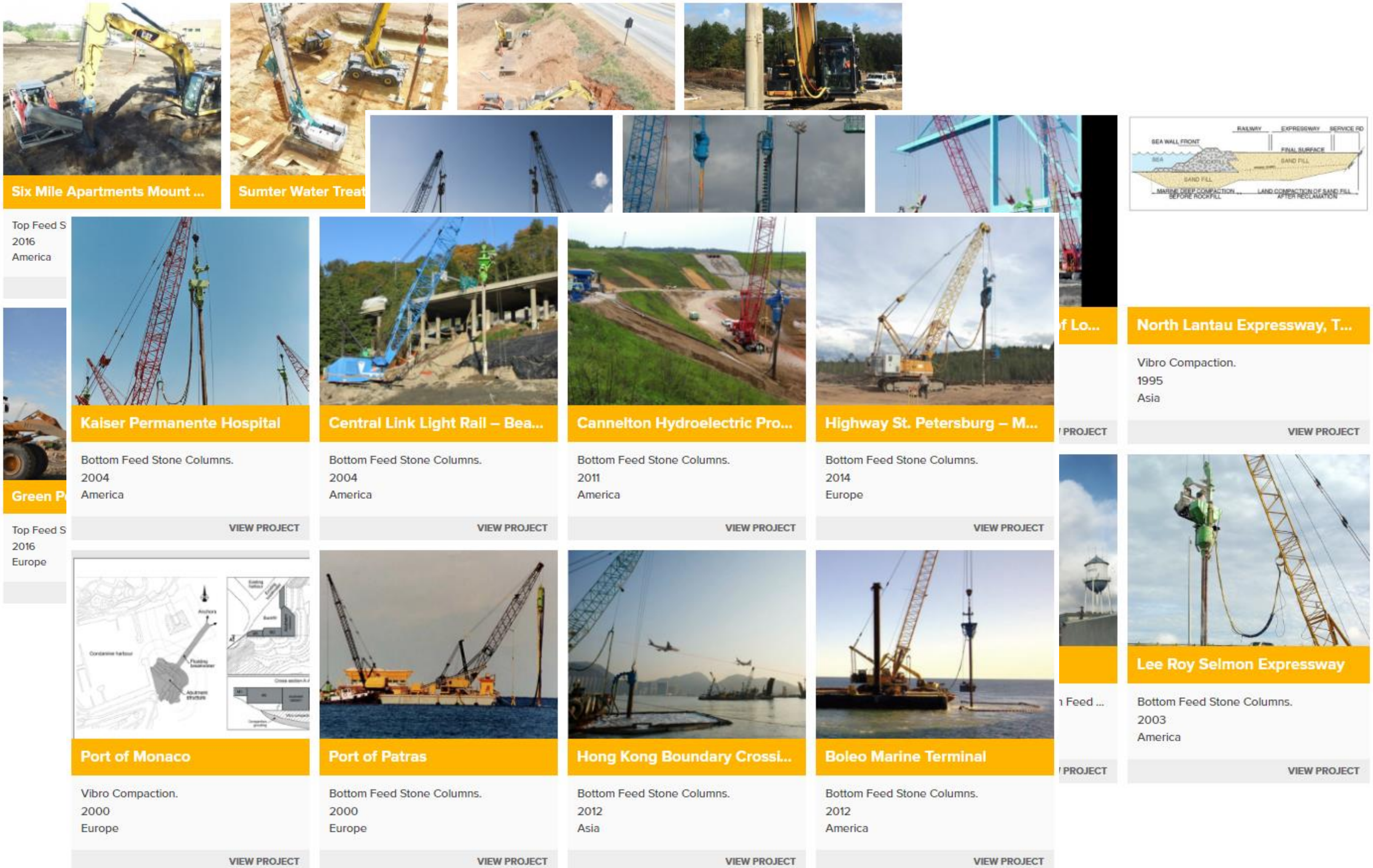

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ группа компаний

betterground
Engineered Ground Improvement

# PROJECTS & CASES

http://www.betterground.com/

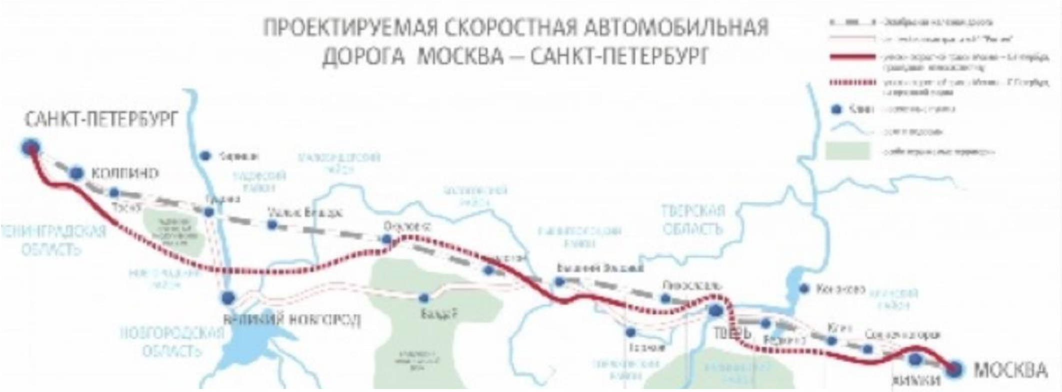


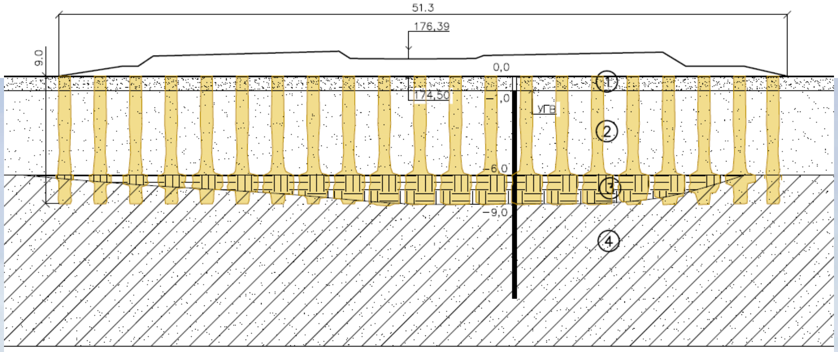


Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru


ГЕОИЗОЛ группа компаний

# Усиление грунтов основания устройством песчаных свай на скоростной трассе Москва-Санкт-Петербург

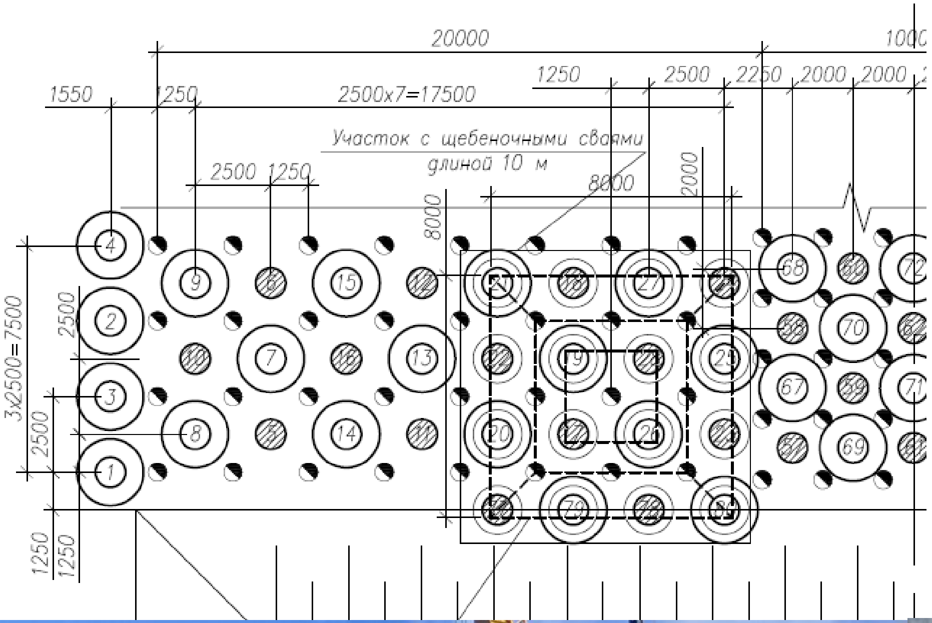


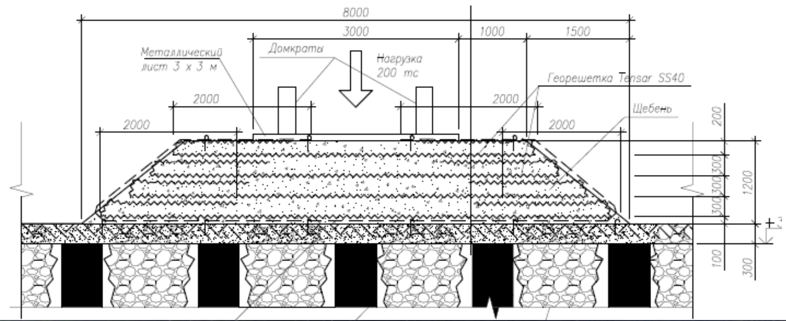




Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний

# Опытный участок усиления грунтов основания автомобильной дороги А-121 «Сортавала», респ. Карелия

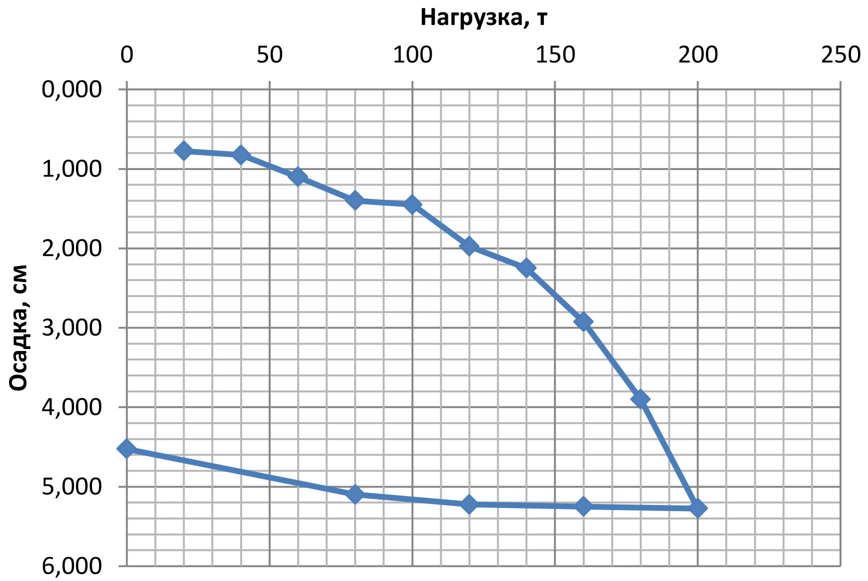


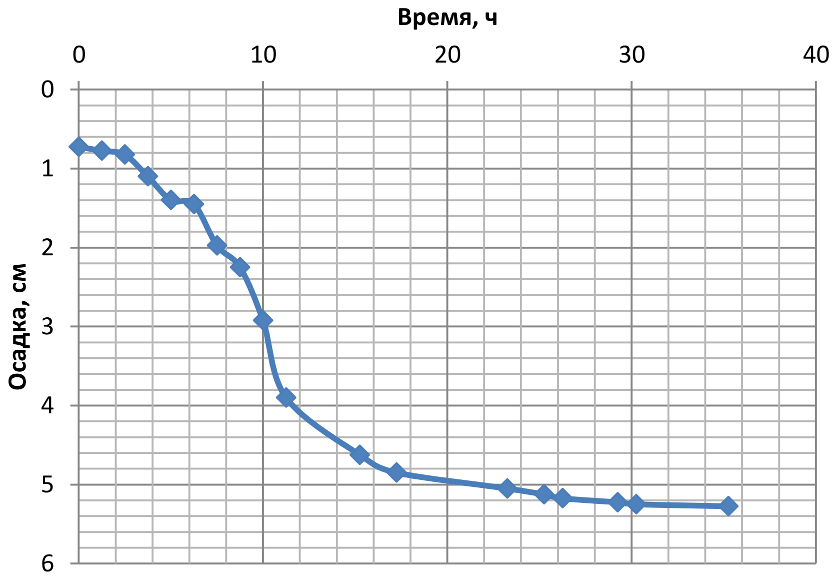




Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний

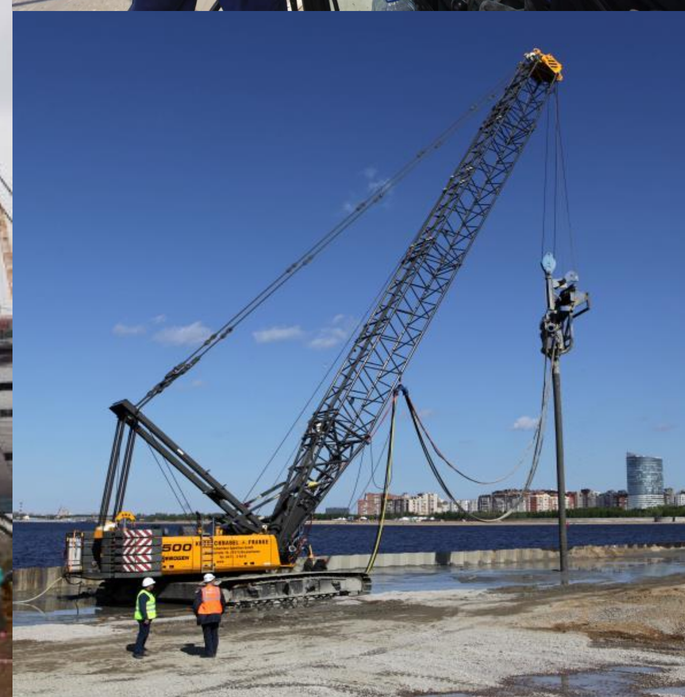
**Результаты испытаний**:
Нагружение производилось последовательными ступенями по 20 т,
Максимальная нагрузка на штамп 3х3м - 200 тс
Общее время испытания составило 35,5 часов,
Максимальная осадка составила 53 мм
Деформации стабилизировались и оставались неизменными на протяжении 5 часов до начала разгрузки.




Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

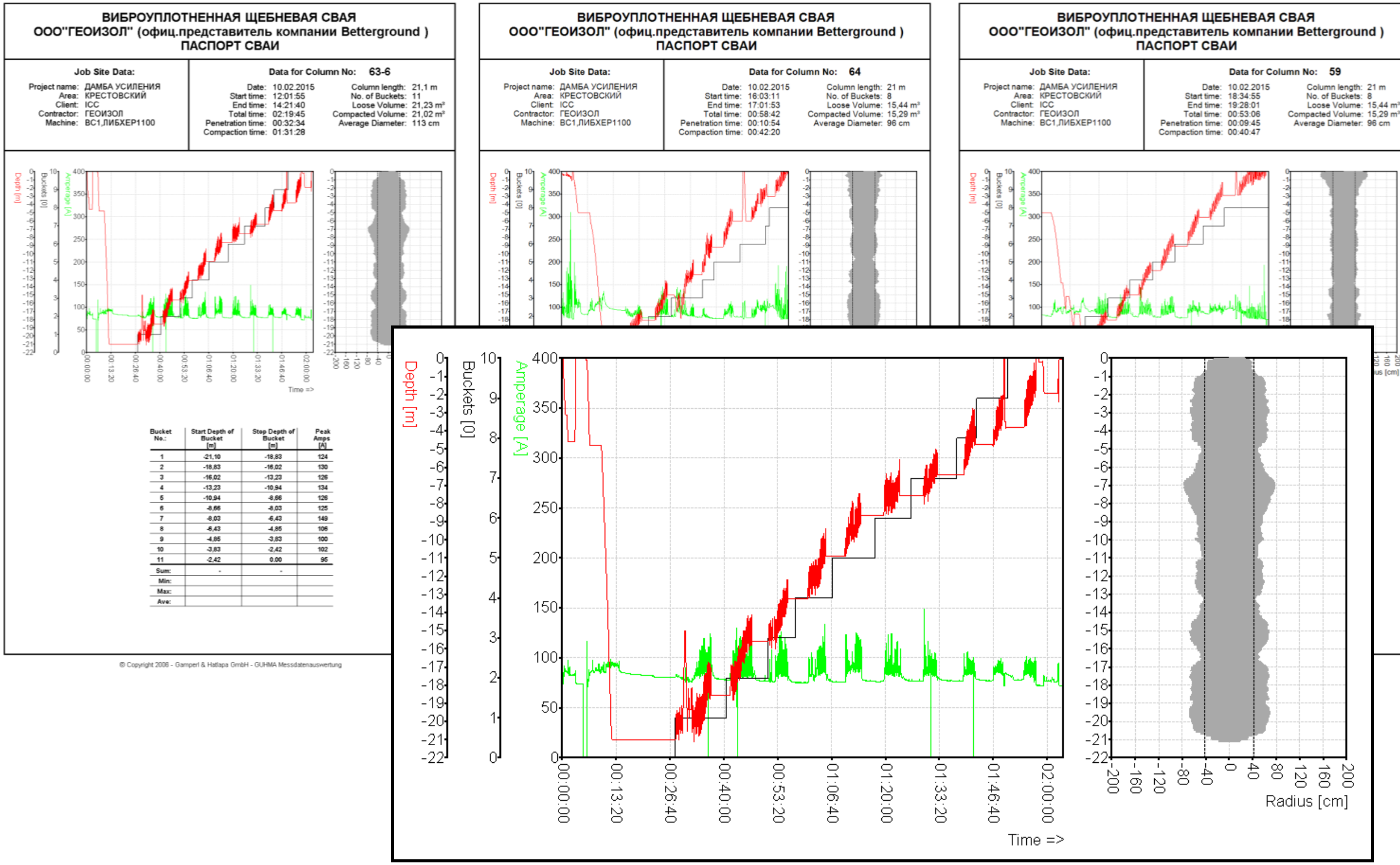
# Усиление основания дамбы искусственного земельного участка. Крестовский остров, г. Санкт-Петербург

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний

# Усиление основания дамбы искусственного земельного участка. Крестовский остров, г. Санкт-Петербург



**ВИБРОУПЛОТНЕННАЯ ЩЕБЕВАЯ СВАЯ**
**ООО"ГЕОИЗОЛ" (офиц.представитель компании Betterground )**
**ПАСПОРТ СВАИ**

**Job Site Data:**
Project name: ДАМБА УСИЛЕНИЯ
Area: КРЕСТОВСКИЙ
Client: ICC
Contractor: ГЕОИЗОЛ
Machine: ВС1,ЛИБХЕР1100

**Data for Column No: 63-6**
Date: 10.02.2015
Start time: 12:01:55
End time: 14:21:40
Total time: 02:19:45
Penetration time: 00:32:34
Compaction time: 01:31:28
Column length: 21,1 m
No. of Buckets: 11
Loose Volume: 21,23 m³
Compacted Volume: 21,02 m³
Average Diameter: 113 cm

| Bucket No.: | Start Depth of Bucket [m] | Stop Depth of Bucket [m] | Peak Amps [A] |
|---|---|---|---|
| 1 | -21,10 | -18,83 | 124 |
| 2 | -18,83 | -16,02 | 130 |
| 3 | -16,02 | -13,23 | 126 |
| 4 | -13,23 | -10,94 | 134 |
| 5 | -10,94 | -8,66 | 126 |
| 6 | -8,66 | -8,03 | 125 |
| 7 | -8,03 | -6,43 | 149 |
| 8 | -6,43 | -4,85 | 106 |
| 9 | -4,85 | -3,83 | 100 |
| 10 | -3,83 | -2,42 | 102 |
| 11 | -2,42 | 0.00 | 95 |
| Sum: | - | - | |
| Min: | | | |
| Max: | | | |
| Ave: | | | |



**ВИБРОУПЛОТНЕННАЯ ЩЕБЕВАЯ СВАЯ**
**ООО"ГЕОИЗОЛ" (офиц.представитель компании Betterground )**
**ПАСПОРТ СВАИ**

**Job Site Data:**
Project name: ДАМБА УСИЛЕНИЯ
Area: КРЕСТОВСКИЙ
Client: ICC
Contractor: ГЕОИЗОЛ
Machine: ВС1,ЛИБХЕР1100

**Data for Column No: 64**
Date: 10.02.2015
Start time: 16:03:11
End time: 17:01:53
Total time: 00:58:42
Penetration time: 00:10:54
Compaction time: 00:42:20
Column length: 21 m
No. of Buckets: 8
Loose Volume: 15,44 m³
Compacted Volume: 15,29 m³
Average Diameter: 96 cm

**ВИБРОУПЛОТНЕННАЯ ЩЕБЕВАЯ СВАЯ**
**ООО"ГЕОИЗОЛ" (офиц.представитель компании Betterground )**
**ПАСПОРТ СВАИ**

**Job Site Data:**
Project name: ДАМБА УСИЛЕНИЯ
Area: КРЕСТОВСКИЙ
Client: ICC
Contractor: ГЕОИЗОЛ
Machine: ВС1,ЛИБХЕР1100

**Data for Column No: 59**
Date: 10.02.2015
Start time: 18:34:55
End time: 19:28:01
Total time: 00:53:06
Penetration time: 00:09:45
Compaction time: 00:40:47
Column length: 21 m
No. of Buckets: 8
Loose Volume: 15,44 m³
Compacted Volume: 15,29 m³
Average Diameter: 96 cm

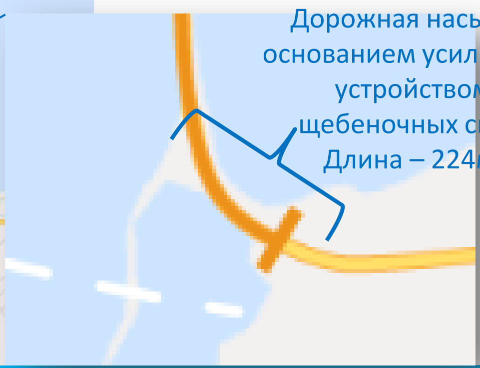


Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний

# Усиление основания насыпи на подходах к Керченскому мосту со стороны Таманского полуострова

Один из крупнейших мостов в России. Он состоит из параллельно расположенных автомобильной и железнодорожной трасс. Его протяженность - 19 км. Трасса начинается на Таманском полуострове, проходит по существующей 5-километровой дамбе и острову Тузла. Затем пересекает Керченский пролив, огибая с севера мыс Ак-Бурун, и выходит на крымский берег.


Источник: *most.life*

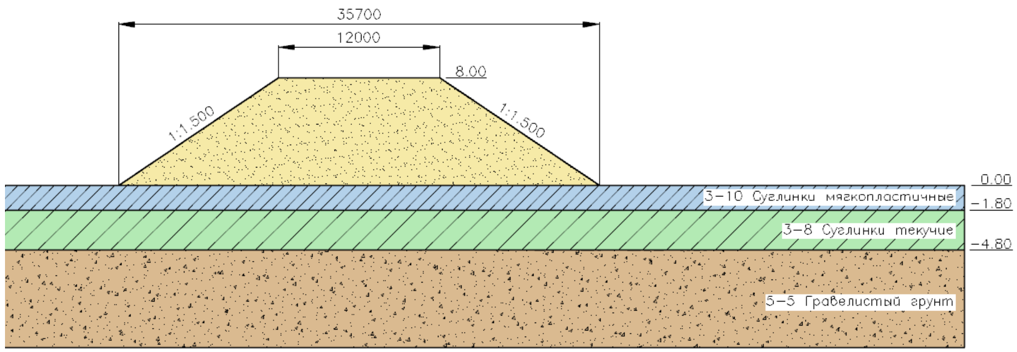
Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

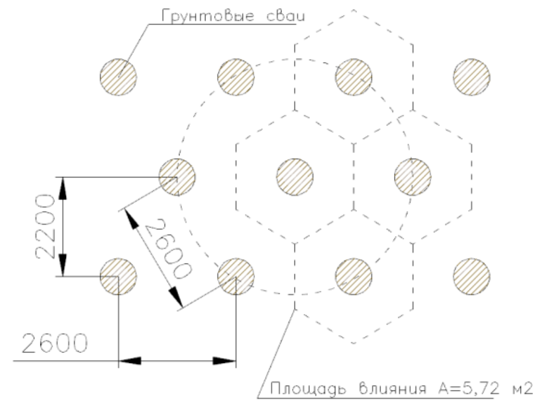
ГЕОИЗОЛ группа компаний

# РАСЧЕТ ОСНОВАНИЯ УСИЛЕННОГО ГРУНТОВЫМИ СВАЯМИ

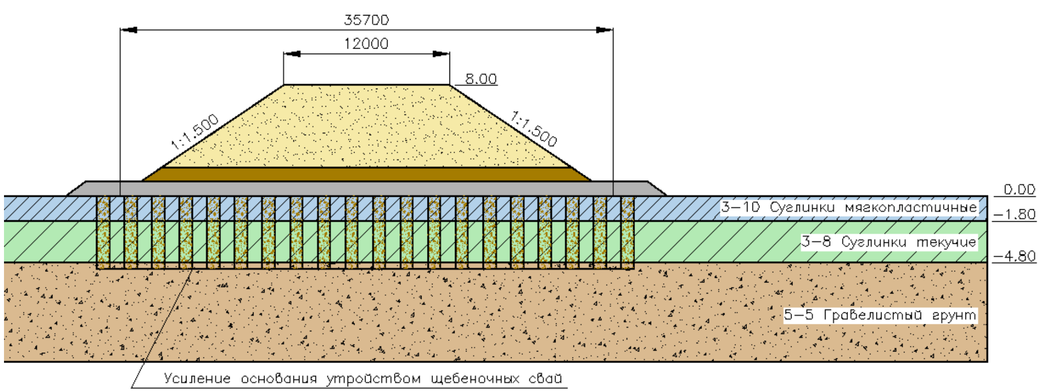
Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

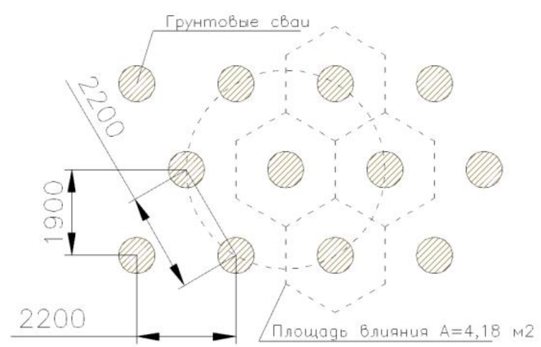
# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ




Вариант 1. Шаг 2,6x2,2
в шахматном порядке



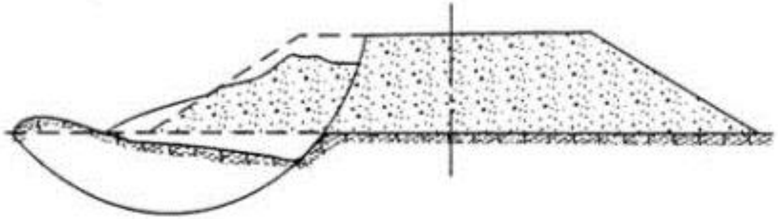




Вариант 2. Шаг 2,2x1,9
в шахматном порядке


Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru


ГЕОИЗОЛ
группа компаний

Вариант без усиления основания. Участок дороги Выборг-Каменногорск



Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

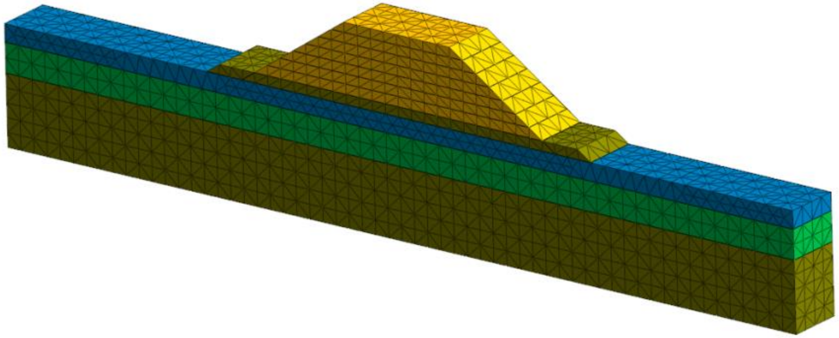
Параметры материалов

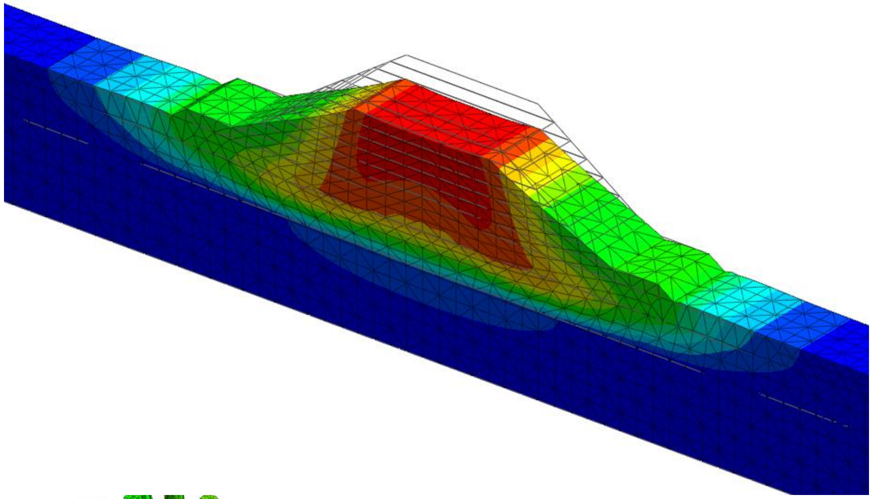
| №ИГИ | | | 3-10 | 3-8 | 5-5 | Материал насыпи | Материал грунтовых свай | Материал гибкого ростверка |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Наименование | | | Суглинки тяжелые пылеватые мягкопластичные | Суглинки тяжелые пылеватые текучие | Гравийный грунт (дресвяный) с песчаным заполнителем, плотный | Песок средней крупности | Щебень | Щебень |
| Геологический индекс | | | lg III | lg III | g III | | | |
| Параметр | Обозначение | Ед. изм | | | | | | |
| General (Общие свойства) | | | | | | | | |
| Модель материала | Material model | - | Мора-Кулона | Мора-Кулона | Мора-Кулона | Мора-Кулона | Мора-Кулона | Мора-Кулона |
| Тип поведения материала | Drainage type | - | Дренированный | Дренированный | Дренированный | Дренированный | Дренированный | Дренированный |
| Удельный вес грунта выше уровня грунтовых вод | ɣunsat | кН/м3 | 19.4 | 17.5 | 21.4 | 18 | 19 | 19 |
| Удельный вес грунта ниже уровня грунтовых вод | ɣsat | кН/м3 | 19.4 | 17.5 | 21.4 | 21 | 19 | 19 |
| Parameters (Параметры) | | | | | | | | |
| Модуль Юнга | E' | кН/м2 | 5 000.0 | 3 000.0 | 47 000.0 | 40 000.0 | 38 000.0 | 38 000.0 |
| Коэффициент Пуассона | ν | - | 0.35 | 0.35 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Сцепление | c | кН/м2 | 12.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 20.0 |
| Угол внутреннего трения | ϕ | град. | 10.0 | 6.0 | 41.0 | 38.0 | 40.0 | 40.0 |

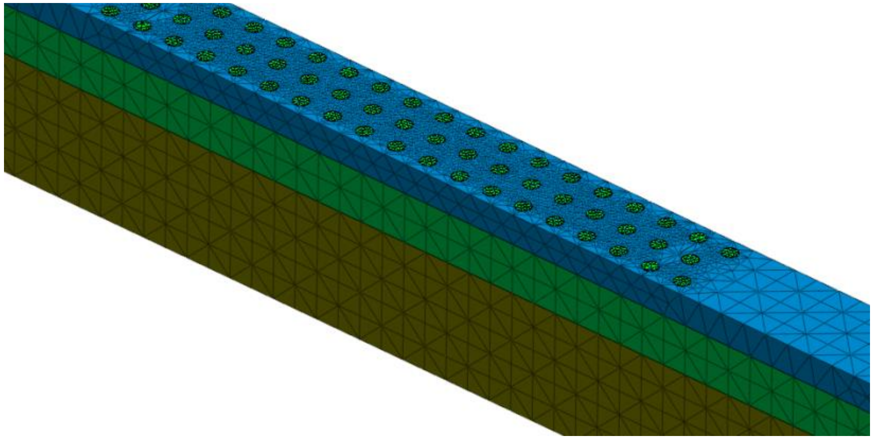
Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

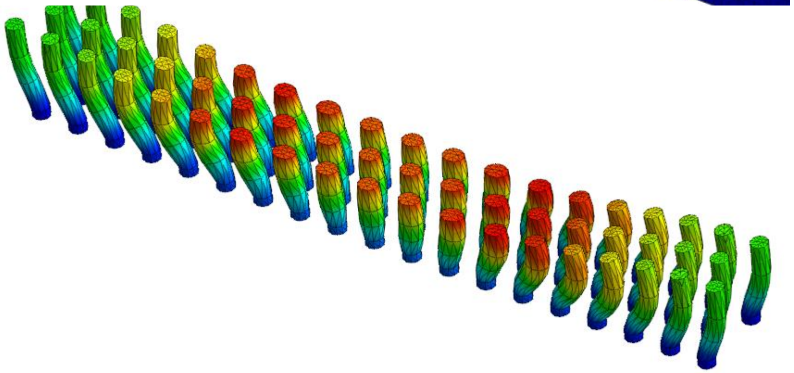
ГЕОИЗОЛ группа компаний

# 3D





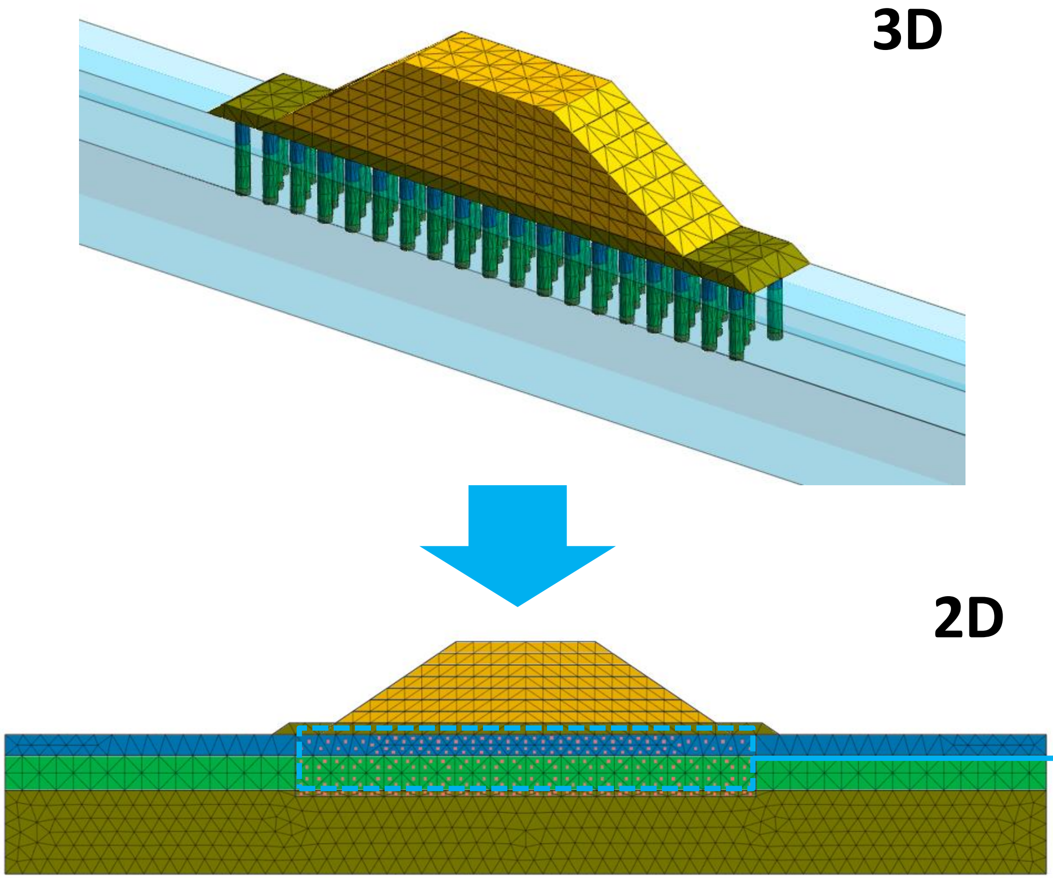




**Недостатки:**

- Требует навыков пространственного моделирования,
- Затратный по времени,
- Нет возможности дальнейшей проверки аналитическими методами

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru




Удельное сцепление
Угол внутреннего трения

Модуль деформации

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

# The Design of Vibro Replacement

Heinz J. Priebe

| | |
|---|---|
| Foundation Pressure | 130.00 kN/m² |
| Column Distance | 1.52 m |
| Row Distance | 1.32 m |
| Grid Area | 2.00 m² |
| Load Level | -1.00 m |
| Column Depth | 10.00 m |
| Considered Depth | 20.00 m |

Column Material

| | |
|---|---|
| Unit Weight | 19.00 kN/m³, below 1.60 m Depth 12.00 kN/m³ |
| Constrained Modulus | 100.00 MN/m² |
| Friction Angle | 40.00 Degrees |
| Press. Coefficient | .22 |

**Subsoil Strata**

| No. | TopL. [m] | Dia. [m] | A/AC | DS [MN/m²] | DC/DS | gamma [kN/m³] | my | phi [degree] | c [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -1.00 | .00 | ***** | 50.00 | 2.00 | 19.00 | .33 | 35.00 | .00 |
| 2 | .00 | .75 | 4.53 | 20.00 | 5.00 | 18.00 | .33 | 25.00 | 5.00 |
| 3 | .40 | .75 | 4.53 | 2.00 | 50.00 | 16.00 | .33 | .00 | 25.00 |
| 4 | 1.00 | .75 | 4.53 | 1.00 | 100.00 | 15.00 | .33 | .00 | 20.00 |
| **5** | **1.60** | **.75** | **4.53** | **1.00** | **100.00** | **5.00** | **.33** | **.00** | **20.00** |
| 6 | 8.20 | .60 | 7.08 | 10.00 | 10.00 | 7.00 | .33 | .00 | 30.00 |
| 7 | 9.00 | .60 | 7.08 | 20.00 | 5.00 | 9.00 | .33 | 30.00 | .00 |
| 8 | 10.00 | .00 | ***** | 20.00 | 5.00 | 9.00 | .33 | 30.00 | .00 |
| 9 | 20.00 | .00 | ***** | 20.00 | 5.00 | 9.00 | .33 | 30.00 | .00 |

Ground Water Table 1.60 m

| | | | |
|---|---|---|---|
| Top L. | = | Top Level of Stratum Concerned | |
| Dia. | = | Column Diameter | |
| A | = | Grid Area Resp. Reference Area | |
| AC | = | Cross-sectional Area of Column | |
| DC | = | Constrained Modulus of Backfill | |
| DS | = | Constrained Modulus | ) |
| gamma | = | Unit Weight | ) |
| my | = | Poisson's Ratio | ) of Soil |
| phi | = | Friction Angle | ) |
| c | = | Cohesion | ) |

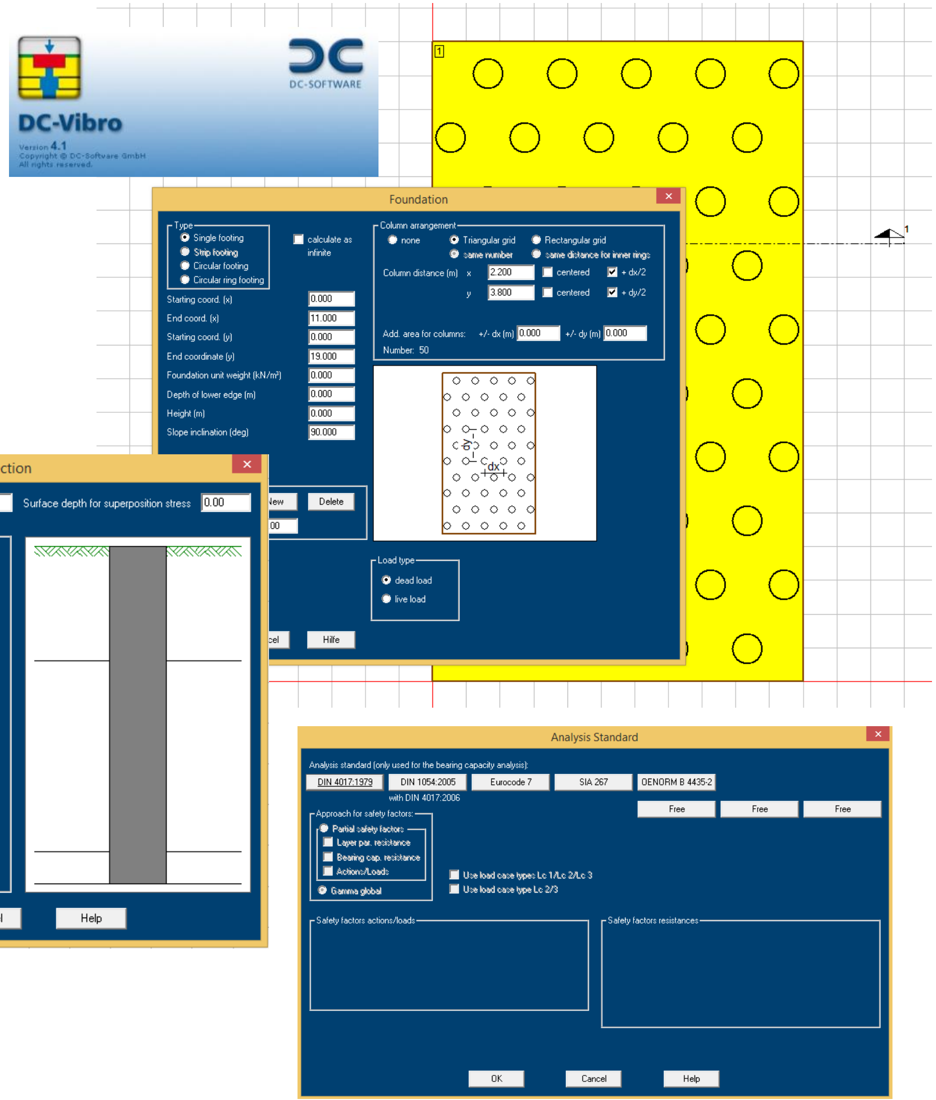
**Soil Improvement**

| No. | n0 | d(A/AC) | n1 | m1 | phi1 [degree] | c1 [kN/m²] | fd | n2 | m2 | phi2 [degree] | c2 [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | Layer without Stone Columns! | | | | | | |
| 2 | 2.34 | 1.17 | 2.01 | .50 | 33.16 | 2.49 | ***** | 1.88 | .47 | 32.67 | 2.66 |
| 3 | 2.34 | .09 | 2.31 | .57 | 25.41 | 10.84 | 1.16 | 2.68 | .63 | 27.73 | 9.34 |
| 4 | 2.34 | .05 | 2.32 | .57 | 25.54 | 8.61 | 1.21 | 2.82 | .65 | 28.44 | 7.09 |
| **5** | **2.34** | **.05** | **2.32** | **.57** | **25.54** | **8.61** | **1.27** | **2.94** | **.66** | **28.98** | **6.80** |
| 6 | 1.78 | .52 | 1.72 | .42 | 19.35 | 17.45 | 1.24 | 2.13 | .53 | 24.04 | 14.05 |
| 7 | 1.78 | 1.17 | 1.65 | .40 | 34.25 | .00 | ***** | 1.57 | .36 | 33.90 | .00 |
| 8 | | | | | Layer without Stone Columns! | | | | | | |

The Proportional Loads on Columns are Approximated to m = 1 - 1/n

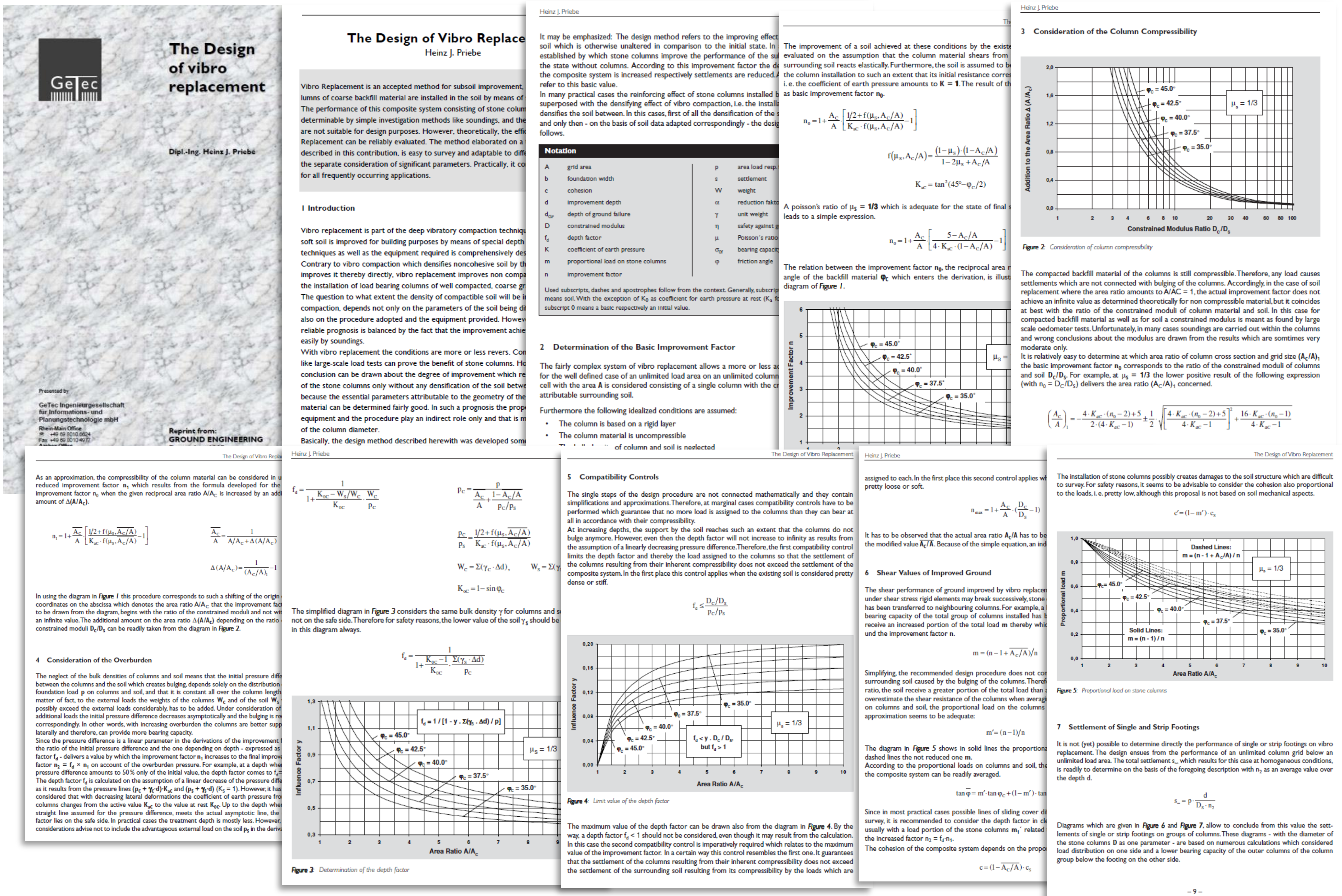
| | | | |
|---|---|---|---|
| n0 | = | Basic Improvement Factor | |
| d(A/AC) | = | Addition to the Area Ratio (Column Compressibility) | |
| n1 | = | Improvement Factor (with Column Compressibility)<br>(—> Recommended for Failure Analyses if n1 < n2) | |
| fd | = | Depth Factor (Overburden Constraint)<br>(***** —> Overridden by Control Checking!) | |
| n2 | = | Improvement Factor (Add. with Overburden Constraint) | |
| m1,2 | = | Proportional Load on Columns | ) |
| phi1,2 | = | Friction Angle of Compound | ) Attributable to n1 resp. n2 |
| c1,2 | = | Cohesion of Compound | ) |

| Settlement | Depth [m] | Infinite Load Area [cm] | w/o Impr. [cm] | Over-burden [kN/m²] |
|---|---|---|---|---|
| | -1.00 | .26 | .26 | .0 |
| | .00 | .14 | .26 | 19.0 |
| | .40 | 1.37 | 3.66 | 26.2 |
| | 1.00 | 2.45 | 6.90 | 35.8 |
| | 1.60 | 25.81 | 75.93 | 44.8 |
| | 8.20 | .48 | 1.03 | 77.8 |
| | 9.00 | .41 | .65 | |
| | 10.00 | 6.46 | 6.46 | 92.4 |
| | | 37.37 | 95.14 | |




Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний




Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний

## Прочностные характеристики усиленного массива. DC-Vibro

| | | Характеристики природного грунта | | Характеристики усиленного грунта. Шаг 2.6x2.2 | | | | Характеристики усиленного грунта. Шаг 2.2x1.9 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № ИГЭ | Наименование | Удельное сцепление, кПа | Угол внутреннего трения, град | Удельное сцепление, кПа | | Угол внутреннего трения, град | | Удельное сцепление, кПа | | Угол внутреннего трения, град | |
| 3-10 | Суглинки тяжелые пылеватые мягкопластичные | 12.0 | 10.0 | 7.67 | -36.1% | 22.57 | +125.7% | 6.67 | -44.4% | 25.2 | +152% |
| 3-8 | Суглинки тяжелые пылеватые текучие | 3.0 | 6.0 | 1.91 | -36.3% | 20.42 | +240.3% | 1.65 | -45% | 23.48 | +291.3% |
| 5-5 | Гравийный грунт (дресвяный) с песчаным заполнителем, плотный | 2.0 | 41.0 | 1.43 | -28.5% | 40.72 | -0.68% | 1.34 | -33% | 40.67 | -0.8% |

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

## Упрощенная методика определения характеристик усиленного массива, основанная на методе Priebe

$$n = 1 + \frac{A_C}{A} \cdot \left[ \frac{5 - A_C / A}{4K_{aC} \cdot (1 - A_C / A)} - 1 \right] \qquad (1)$$

$$m' = (n - 1) / n \qquad (2)$$

$$K_{aC} = \tan^2(45^o - \varphi_C / 2) \qquad (3)$$

$$\tan \overline{\varphi} = m' \cdot \tan \varphi_C + (1 - m') \tan \varphi_s \qquad (4)$$

$$c' = (1 - m') \cdot c_s \qquad (5)$$

$\varphi_s$ -угол внутреннего трения грунта

$\varphi_c$ -угол внутреннего трения материала щебеночных свай

$m'$ - пропорциональный параметр, определяемый по формуле (2)

n – коэффициент усиления, который рассчитывается в зависимости от отношения площадей щебеночных свай и усиленного массива и определяемый по формуле (1)

$A_c$ - площадь щебеночной сваи,

$A_s$ - площадь влияния щебеночной сваи,

$K_{aC}$ - коэффициент активного давления материала щебеночных свай, определяемый по формуле (3)

$c_s$ -удельное сцепление грунта

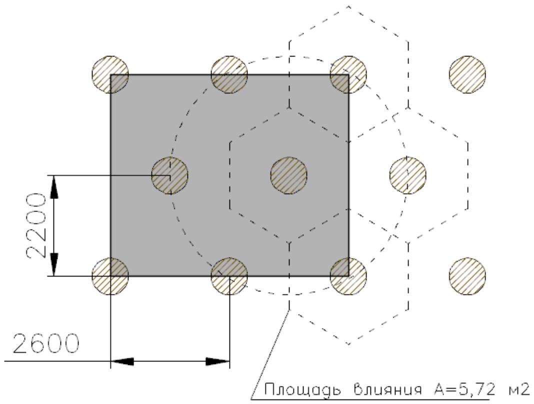
$\overline{c}$ -удельное сцепление усиленного массива

### Сравнение результатов расчета в программе DC-Vibro и упрощенным методом

| | | Характеристики природного грунта | | Характеристики усиленного грунта. Шаг 2.6x2.2 | | | | | | Характеристики усиленного грунта. Шаг 2.2x1.9 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № ИГЭ | Наименование | Удельное сцепление, кПа | Угол внутреннего трения, град | Удельное сцепление, кПа | | | Угол внутреннего трения, град | | | Удельное сцепление, кПа | | | Угол внутреннего трения, град | | |
| | | | | DC-Vibro | Упрощенный метод | Соотношение | DC-Vibro | Упрощенный метод | Соотношение | DC-Vibro | Упрощенный метод | Соотношение | DC-Vibro | Упрощенный метод | Соотношение |
| 3-10 | Суглинки тяжелые пылеватые мягкопластичные | 12.0 | 10.0 | 7.7 | 7.5 | -1.7% | 22.6 | 22.9 | +1.5% | 6.7 | 6.5 | -2.6% | 25.2 | 25.7 | +1.8% |
| 3-8 | Суглинки тяжелые пылеватые текучие | 3.0 | 6.0 | 1.9 | 1.9 | -1.3% | 20.4 | 20.7 | +1.4% | 1.7 | 1.6 | -1.6% | 23.5 | 23.8 | +1.5% |
| 5-5 | Гравийный грунт (дресвяный) с песчаным заполнителем, плотный | 2.0 | 41.0 | 1.4 | 1.3 | -12.1% | 40.7 | 40.6 | -0.22% | 1.3 | 1.1 | -19.2% | 40.7 | 40.5 | -0.3% |

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ УСИЛЕННОГО МАССИВА

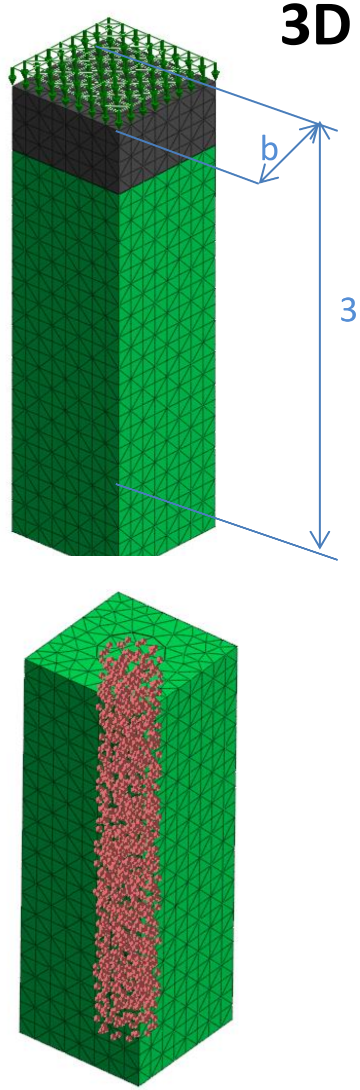



$$\mathrm{Eoed} = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon}$$

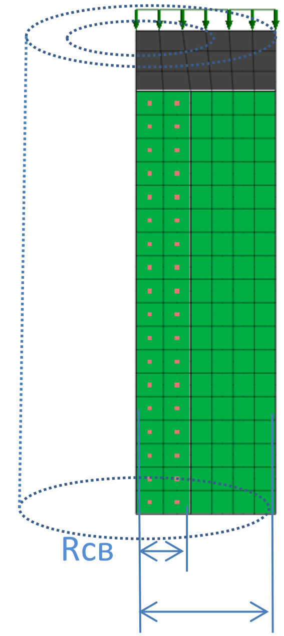
$$\mathrm{E}' = \mathrm{Eoed} \times \beta$$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$$

## 3D




## 2D, Axisymmetric




$$b = \sqrt{A/\pi}$$


Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

Сравнение результатов определения модуля деформации в плоской и пространственной постановке

| | | Результаты определения одометрического модуля деформации Eoed, кН/м2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Шаг свай усиления 2.6x2.2 | | | Шаг свай усиления 2.6x2.2 | | |
| №ИГЭ | Наименование | 3D | 2D | % | 3D | 2D | % |
| 3-10 | Суглинки тяжелые пылеватые мягкопластичные | 11 675.68 | 11 428.57 | 2.1% | 13 432.84 | 13 043.48 | 2.9% |
| 3-8 | Суглинки тяжелые пылеватые текучие | 7 474.05 | 7 272.73 | 2.7% | 9 137.06 | 8 750.00 | 4.2% |
| 5-5 | Гравийный грунт (дресвяный) с песчаным заполнителем, плотный | 61 891.12 | 61 855.67 | 0.1% | 61 224.49 | 61 403.51 | -0.3% |

По результатам проведения испытаний численным методом,
значения одометрического модуля в плоской осесимметричной постановке **2D**
**от 2,1% до 4,2% менее** полученных в пространственной постановке

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

## Параметры усиленного грунта

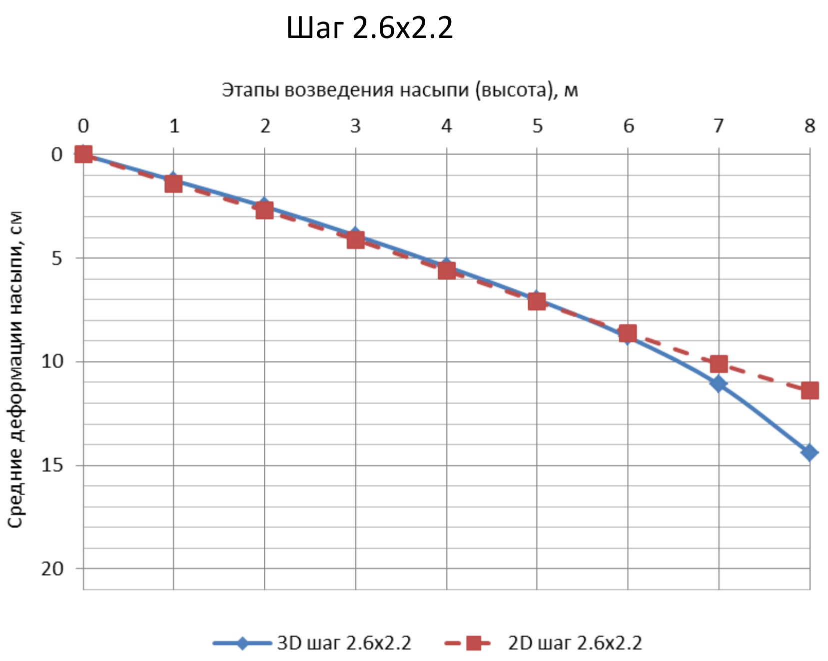
| | | Характеристики природного грунта | | | Характеристики усиленного грунта. Шаг 2.6x2.2 | | | | | | Характеристики усиленного грунта. Шаг 2.2x1.9 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № ИГЭ | Наименование | Удельное сцепление, кПа | Угол внутреннего трения, град | Модуль деформации | Удельное сцепление, кПа | | Угол внутреннего трения, град | | Модуль деформации | | Удельное сцепление, кПа | | Угол внутреннего трения, град | | Модуль деформации | |
| 3-10 | Суглинки тяжелые пылеватые мягкопластичные | 12.0 | 10.0 | 5 000.0 | 7.7 | -36% | 22.6 | 126% | 8 491.4 | 70% | 6.7 | -44% | 25.2 | 152% | 9 691.3 | 94% |
| 3-8 | Суглинки тяжелые пылеватые текучие | 3.0 | 6.0 | 3 000.0 | 1.9 | -36% | 20.4 | 240% | 5 403.6 | 80% | 1.7 | -45% | 23.5 | 291% | 6 501.3 | 117% |
| 5-5 | Гравийный грунт (дресвяный) с песчаным заполнителем, плотный | 2.0 | 41.0 | 47 000.0 | 1.4 | -29% | 40.7 | -1% | 38 536.1 | -18% | 1.3 | -33% | 40.7 | -1% | 38 254.4 | -19% |

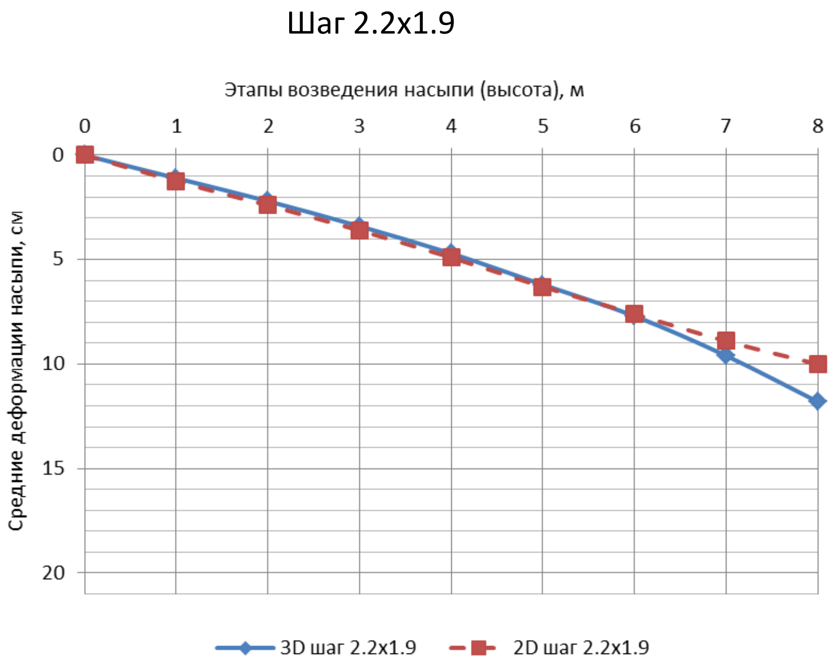
По результатам расчетов,

- Удельное сцепление усиленного массива уменьшилось,
- Угол внутреннего трения **увеличился** от **126 %** до **291 %**
- Модуль деформации **увеличился** от **70%** до **117%**

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

# СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА В ПЛОСКОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ





Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru


ГЕОИЗОЛ
группа компаний

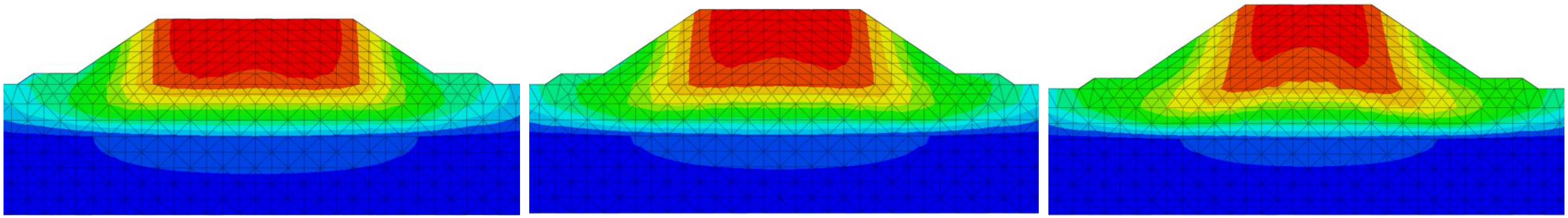
Графические результаты расчета при шаге 2,2х1,9 м

**3D**

Насыпь 6 м

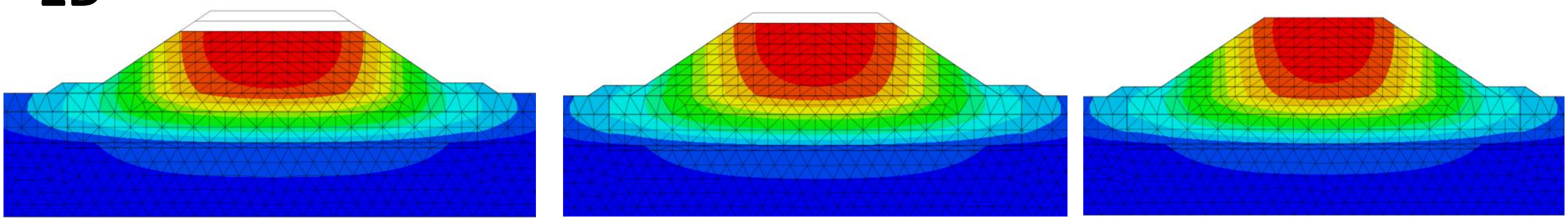
Насыпь 7 м

Насыпь 8 м



Куст = 1,109

**2D**



Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

# ВЫВОДЫ

**1.** Представленная в презентации упрощенная методика определения прочностных характеристик усиленного массива позволяет определить характеристики с точностью ±**3%** в сравнении с оригинальной аналитической методикой

**2. Определение модуля деформации** усиленного массива методом конечных элементов **возможно в плоской постановке с осесимметричными граничными условиями.** Разница в полученных результатах 3D и 2D составила от **2,1%** до **4,2%**

**3.** При использовании представленных рекомендаций:
Разница между пространственным и плоским решениям **в пределах линейной зависимости** деформаций **не превышает 10%,** при определении деформаций

**4. При расчете насыпей** высотой **более 6 м** на слабом основании при усилении основания грунтовыми сваями, **рекомендуется** выполнять расчеты **в пространственной постановке**

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru

ГЕОИЗОЛ
группа компаний

Автор: Долгов Павел, инженер-геотехник, ООО «ГЕОИЗОЛ Проект»
Тел.: +7-921-943-77-20
E-mail: pdolgov@geoizol.ru