Сибирский государственный университет путей сообщения

НИЛ "Геотехника, тоннели и метрополитены"

vk.com/geotun

Инженерно-геотехнические изыскания,
проектирование и строительство оснований,
фундаментов и подземных сооружений

ДОКЛАД НА ТЕМУ:

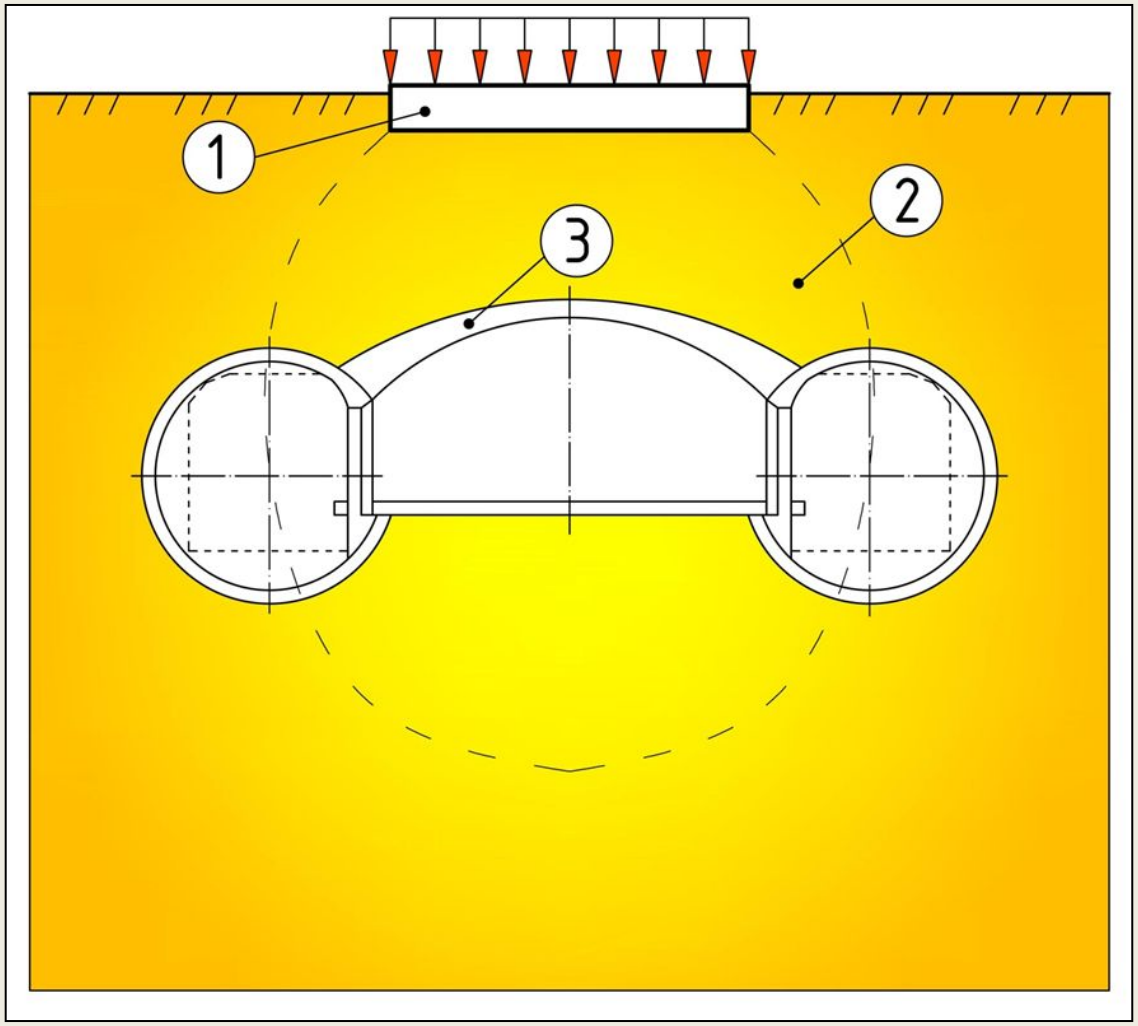
«НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ С УЧЕТОМ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ»

Карян Геворг Гарникович

Полянкин Геннадий Николаевич

Новосибирск – Санкт-Петербург
2017 г.

Решаемая задача / Актуальность



Элементы системы «фундамент – основание – подземное сооружение»: 1 – фундамент сооружения; 2 – основание сооружения; 3 – подземное сооружение

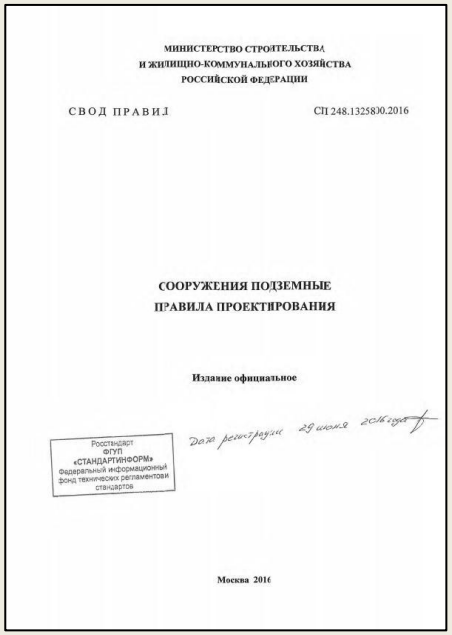
Проектные ситуации

Новое строительство

Подработка территорий

Метод решения / Нормативная база

СП 248.1325800.2016


МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 248.1325800.2016

СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫЕ
ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Издание официальное

Росстандарт
ФГУП
«СТАНДАРТИНФОРМ»
Федеральный информационный
фонд технических регламентов и
стандартов

Дата регистрации 29 июня 2016 года

Москва 2016

СП 22.13330.2011

ФЦС

МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 22.13330.2011

ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Актуализированная редакция

СНиП 2.02.01-83*

Издание официальное

Москва 2011

ГОСТ 27751-2014

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ (МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION (ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 27751—2014

НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВАНИЙ

Основные положения

(EN 1990:2002, NEQ)
(ISO 2394:1998, NEQ)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

+ Расчет оснований по несущей способности в общем случае следует выполнять методами теории предельного равновесия грунтов (ТПРГ).

+ Для совместного расчета сооружения и основания может быть использован метод конечных элементов (МКЭ).

+ Необходимость проведения параллельных расчетов по альтернативным методикам с использованием независимо разработанных CAE-программ.

Основные используемые уравнения ТПРГ

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = X, \\ \dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} = Z, \\ \sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2} = (\sigma_x + \sigma_z + 2c \cdot \mathrm{ctg}\varphi)\sin\varphi. \end{cases}$$

Исходная замкнутая система дифференциальных уравнений первого порядка в частных производных.

$$\sigma_x = \sigma_x(x, z)$$
$$\sigma_z = \sigma_z(x, z)$$
$$\tau_{xz} = \tau_{xz}(x, z)$$

$$\begin{cases} dx = dz \cdot \mathrm{tg}(\alpha + \mu), \\ dx = dz \cdot \mathrm{tg}(\alpha - \mu), \\ d\sigma + 2\sigma\,\mathrm{tg}\varphi \cdot d\alpha = \gamma(dz - dx \cdot \mathrm{tg}\varphi), \\ d\sigma - 2\sigma\,\mathrm{tg}\varphi \cdot d\alpha = \gamma(dz + dx \cdot \mathrm{tg}\varphi). \end{cases}$$

Каноническая система дифференциальных уравнений.

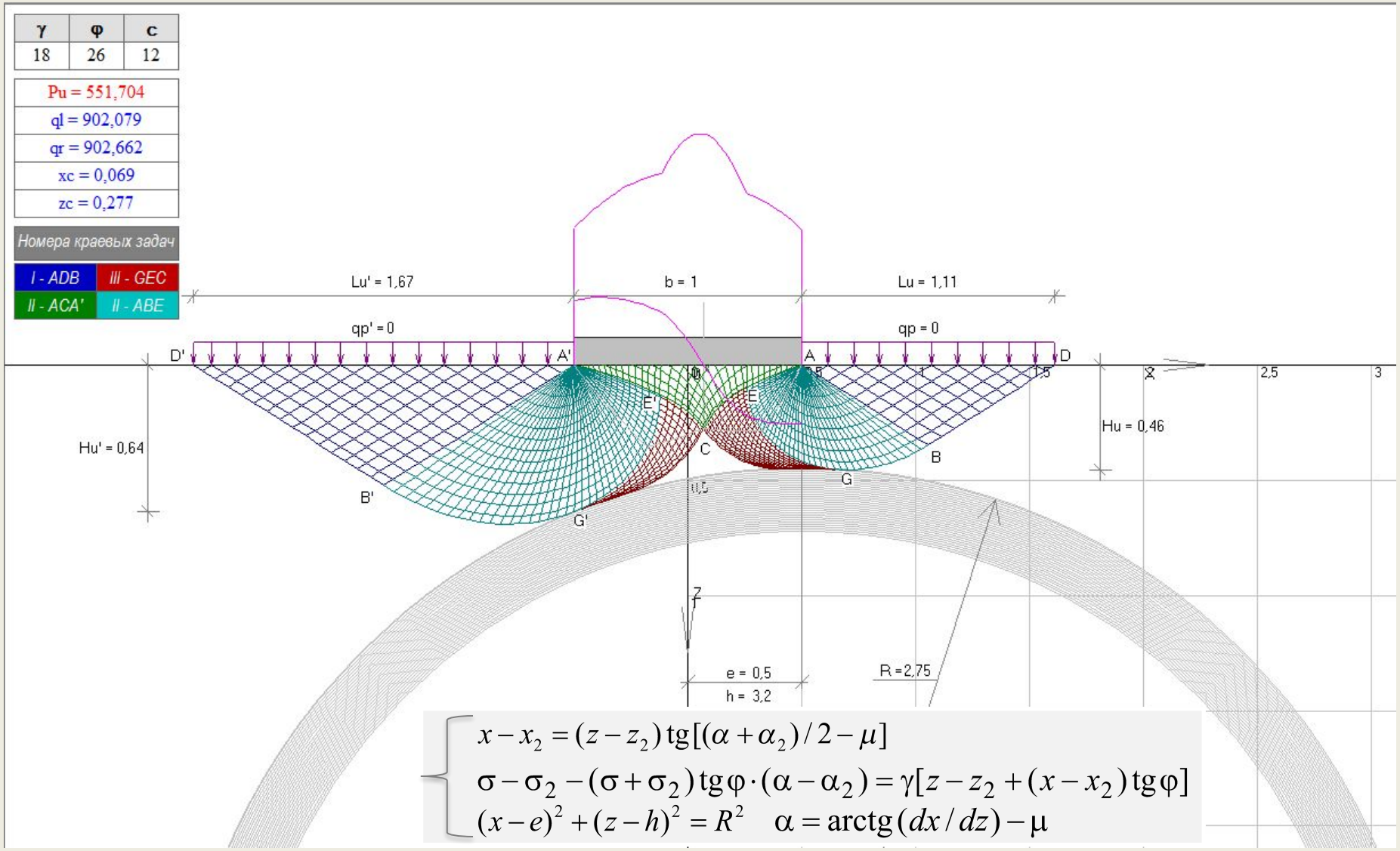
$$\sigma\ (x, z)$$
$$\alpha\ (x, z)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi \qquad \mathrm{tg}2\alpha = \frac{2\tau_{xz}}{\sigma_z - \sigma_x}$$

$$\left.\begin{matrix} \sigma_x \\ \sigma_z \end{matrix}\right\} = \sigma(1 \mp \sin\varphi\cos 2\alpha) - c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi,$$

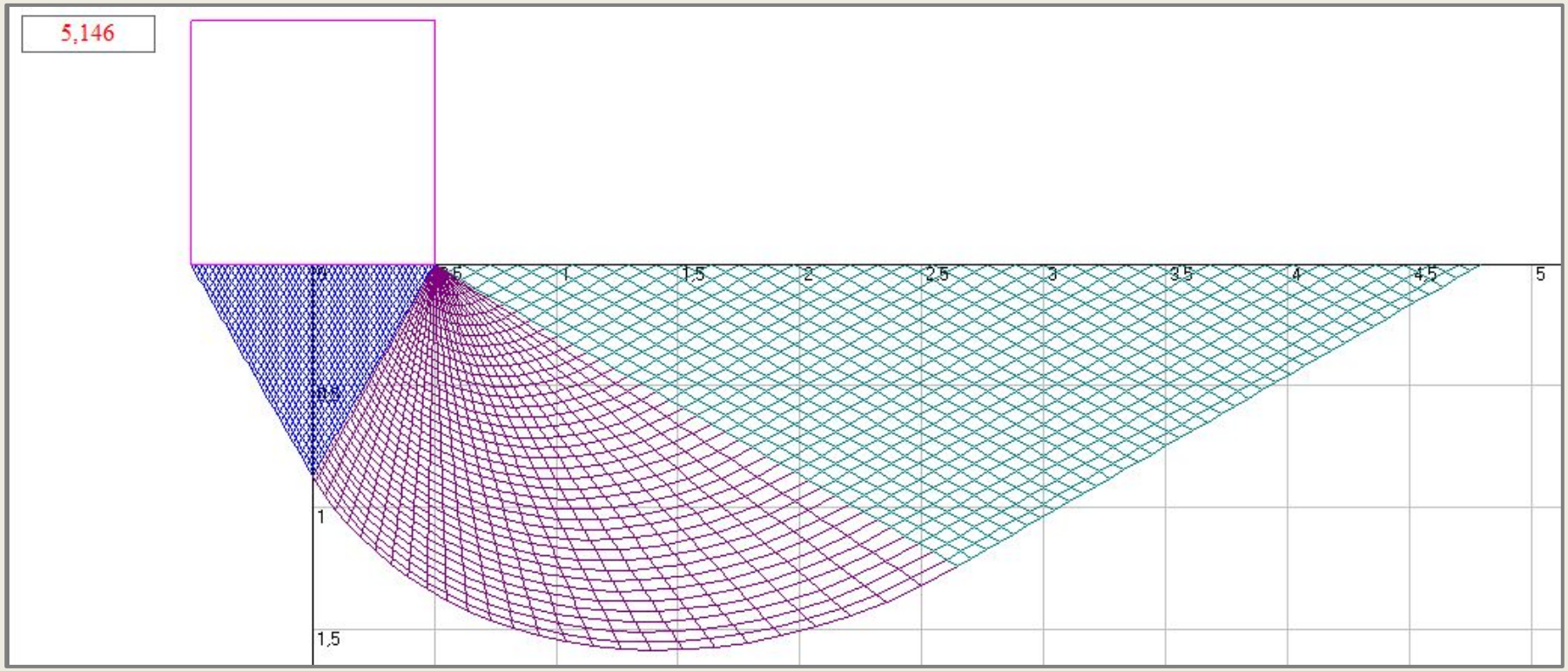
$$\tau_{xz} = \sigma\sin\varphi\sin 2\alpha.$$

Пример расчета методами ТПРГ



$$\begin{cases} x - x_2 = (z - z_2)\,\mathrm{tg}[(\alpha + \alpha_2)/2 - \mu] \\ \sigma - \sigma_2 - (\sigma + \sigma_2)\,\mathrm{tg}\,\varphi \cdot (\alpha - \alpha_2) = \gamma[z - z_2 + (x - x_2)\,\mathrm{tg}\,\varphi] \\ (x - e)^2 + (z - h)^2 = R^2 \quad \alpha = \mathrm{arctg}\,(dx/dz) - \mu \end{cases}$$

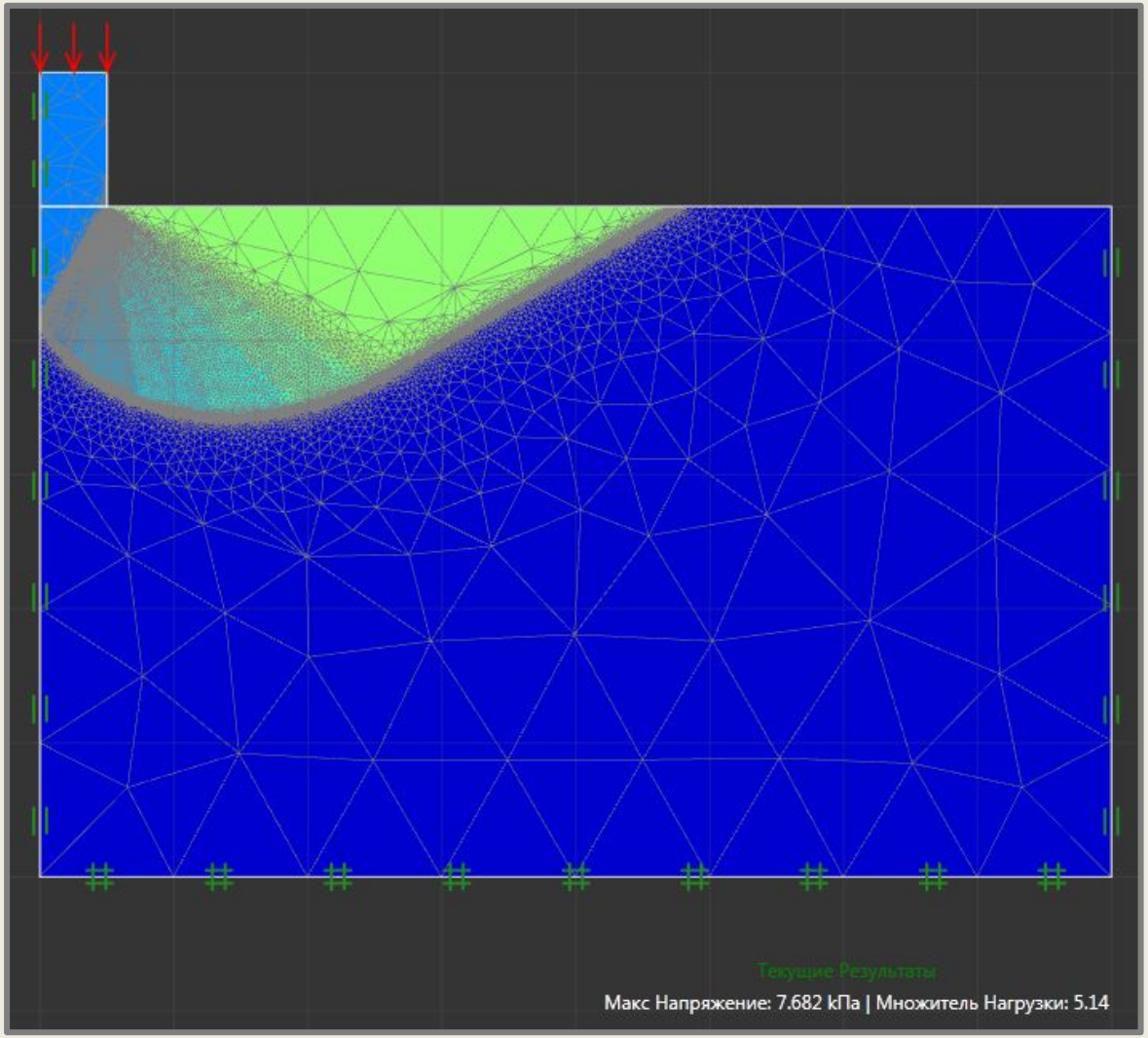
Вдавливание штампа в идеально-упругопластическую среду



Исходные данные:

$\phi = 0°$, $c = 1$; $\phi = 10°$, $c = 0{,}616$; $\phi = 20°$, $c = 0{,}347$; $\phi = 30°$, $c = 0{,}171$; $\phi = 40°$, $c = 0{,}0683$.

Вдавливание штампа в идеально-упругопластическую среду



OptumG2

Размеры расчетной области
8x5 м

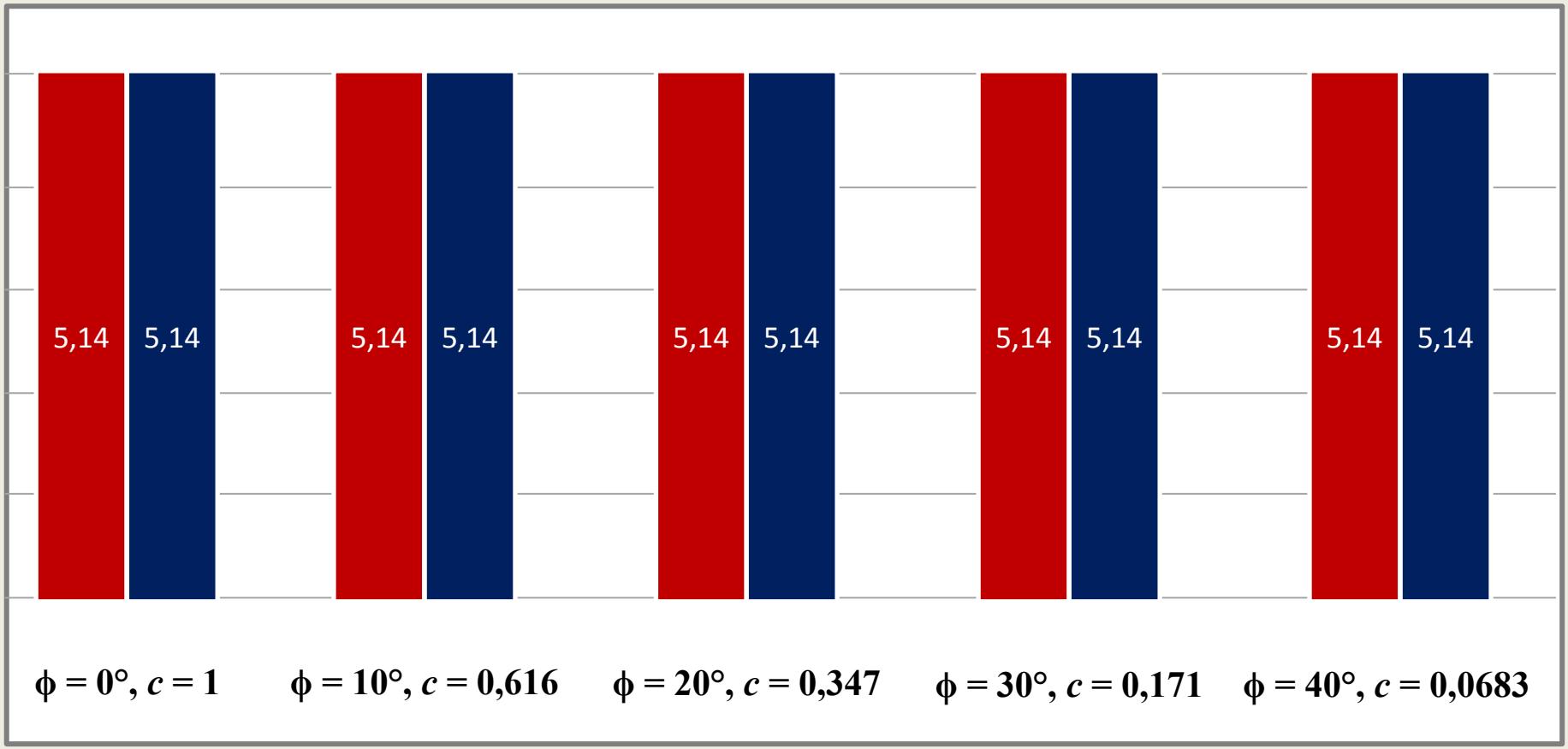
Конечно-элементная сетка
адаптивная
количество итераций – 25
начальное кол-во эл. – 50 тыс.

Модель материала
грунт – Кулона-Мора

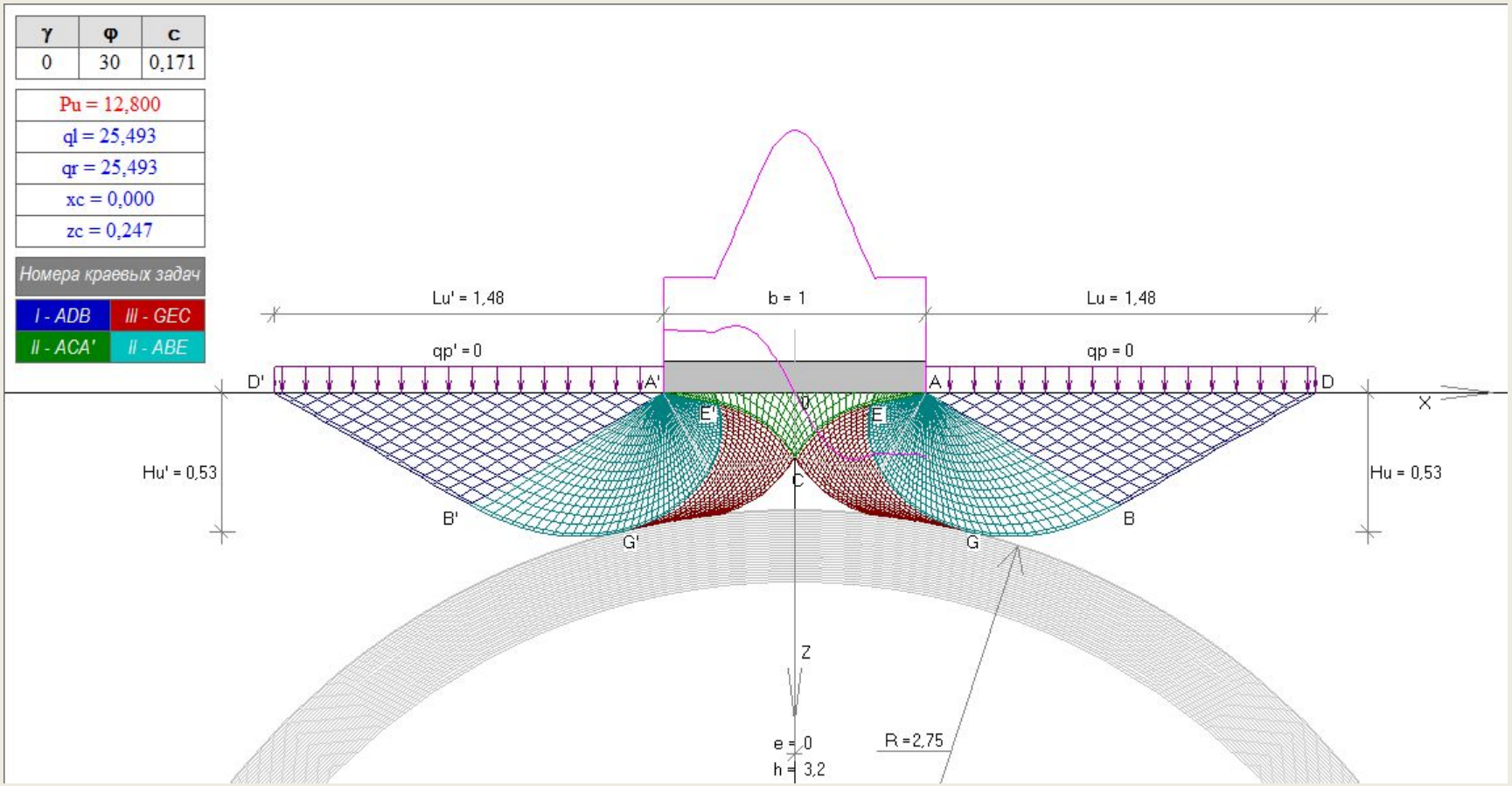
Тип расчета
Finite Element Limit Analysis

Исходные данные: $E = 1000$; $\nu = 0{,}3$; $\gamma=0$;
$\phi = 0°$, $c = 1$; $\phi = 10°$, $c = 0{,}616$; $\phi = 20°$, $c = 0{,}347$; $\phi = 30°$, $c = 0{,}171$; $\phi = 40°$, $c = 0{,}0683$.

Сравнение ТПРГ с МКЭ



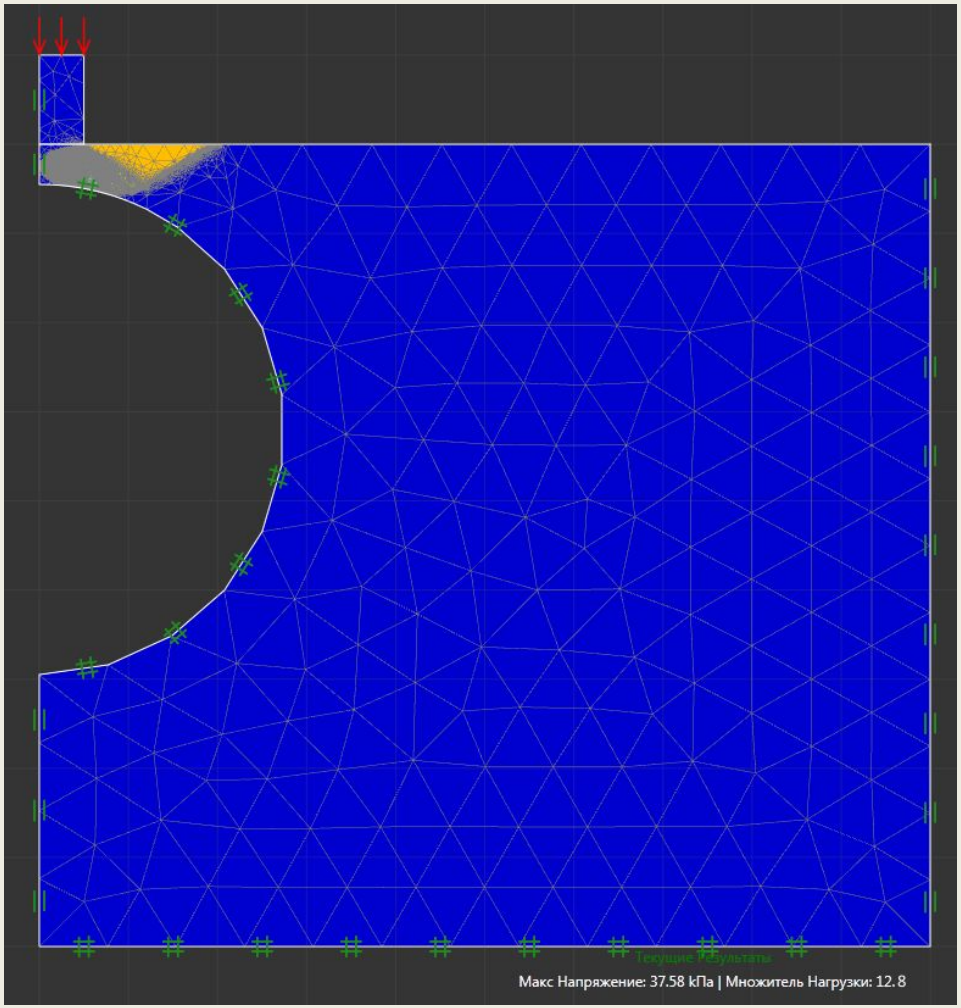
Предельная нагрузка с учетом подземного сооружения. ТПРГ



Исходные данные:

$\phi = 0°$, $c = 1$; $\phi = 10°$, $c = 0{,}616$; $\phi = 20°$, $c = 0{,}347$; $\phi = 30°$, $c = 0{,}171$; $\phi = 40°$, $c = 0{,}0683$.

Предельная нагрузка с учетом подземного сооружения. МКЭ



OptumG2

Размеры расчетной области
10x9 м

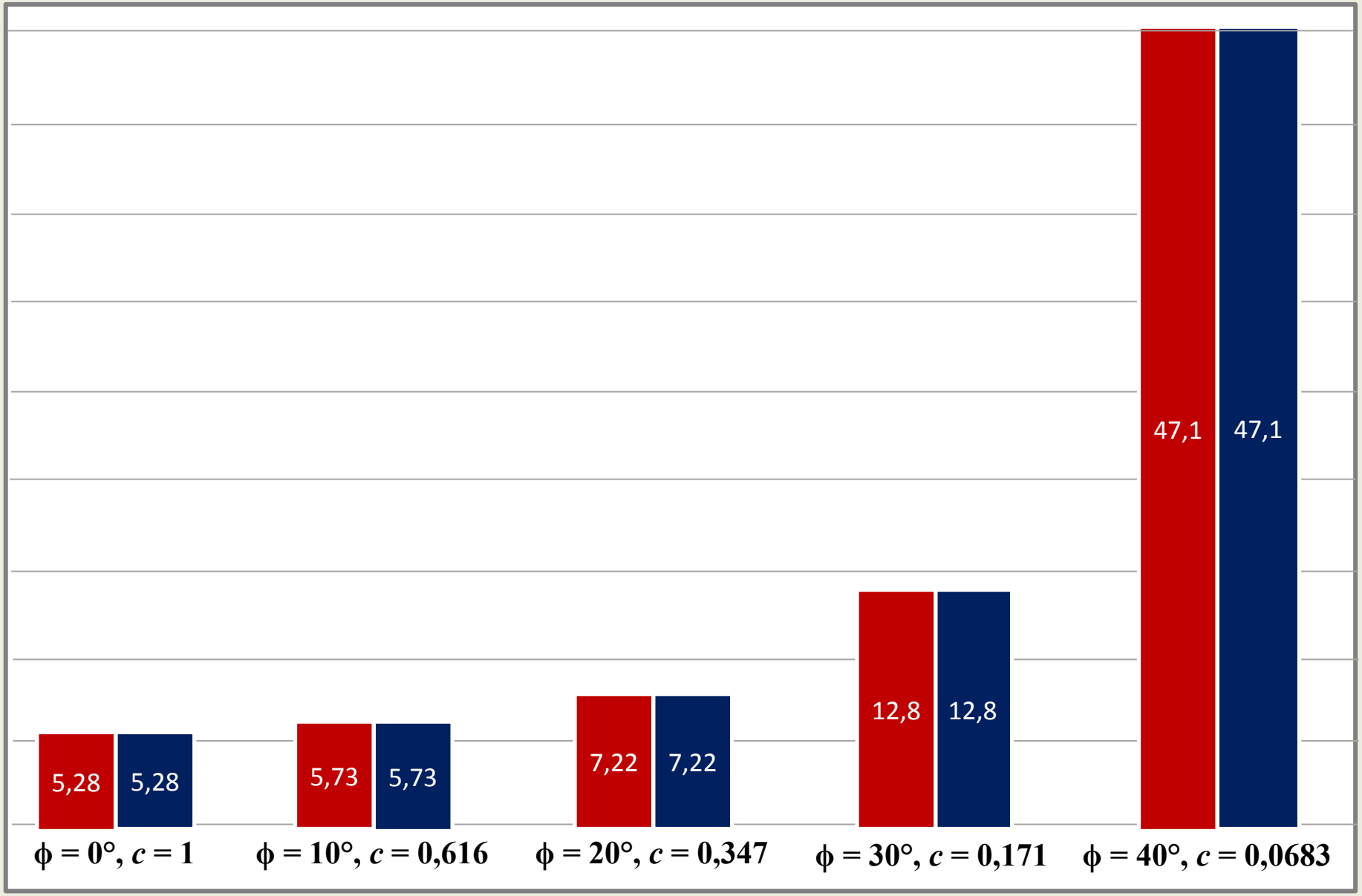
Конечно-элементная сетка
адаптивная
количество итераций – 25
начальное кол-во эл. – 80 тыс.

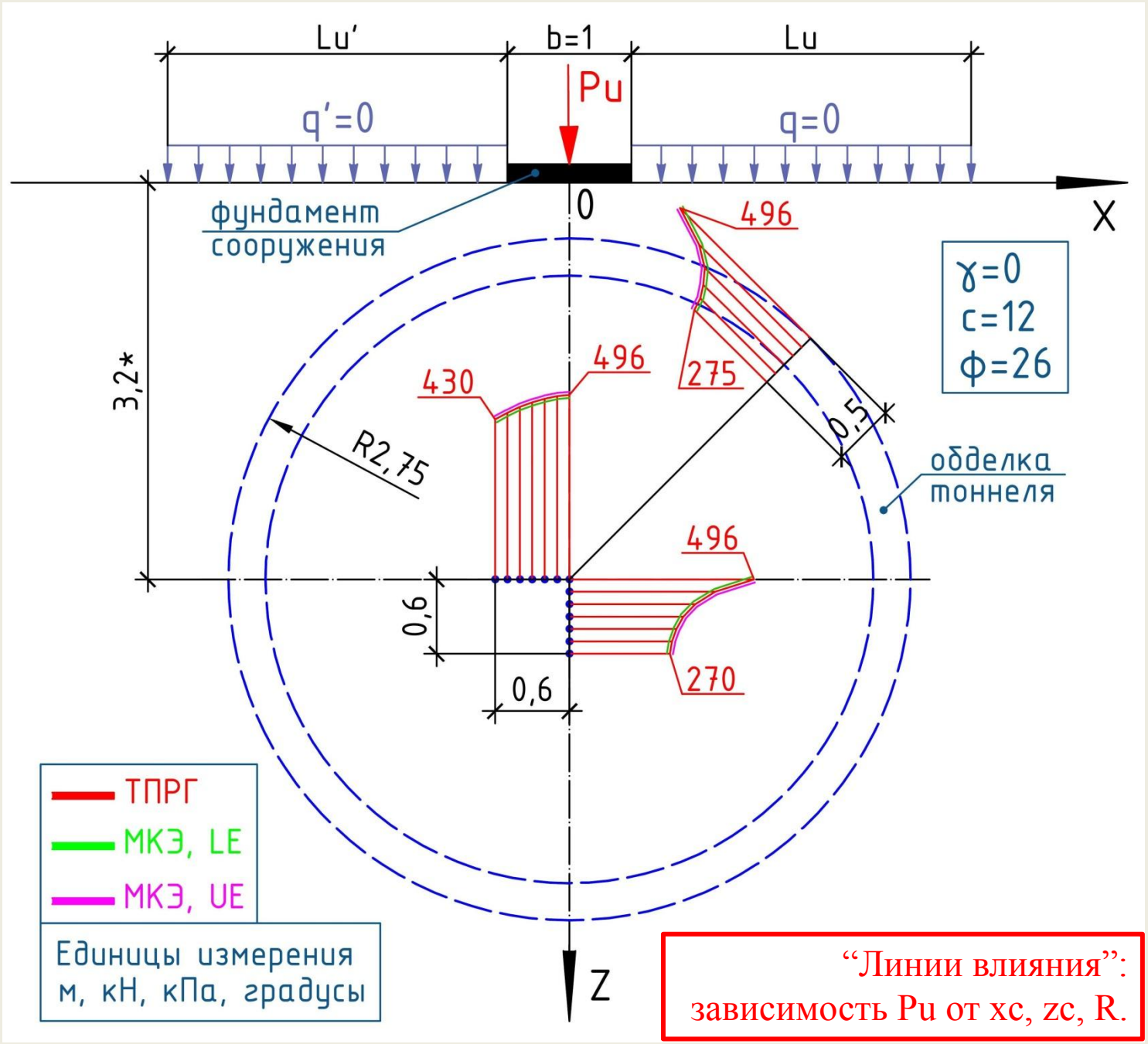
Модель материала
грунт – Кулона-Мора

Тип расчета
Finite Element Limit Analysis

Исходные данные: E = 1000; ν = 0,3; γ=0;
ϕ = 0°, c = 1; ϕ = 10°, c = 0,616; ϕ = 20°, c = 0,347; ϕ = 30°, c = 0,171; ϕ = 40°, c = 0,0683.

Сравнение ТПРГ с МКЭ

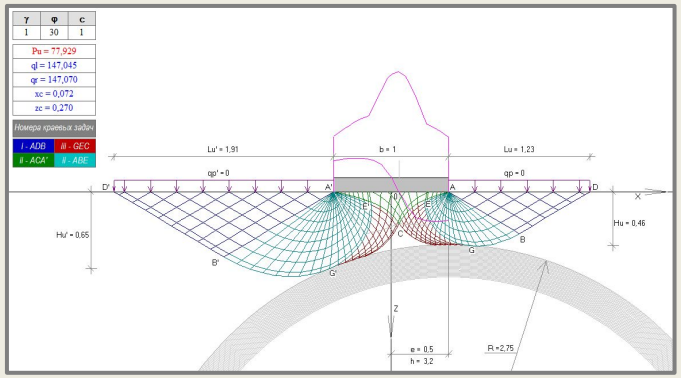




Пример расчета с реальной геологией и геометрией.

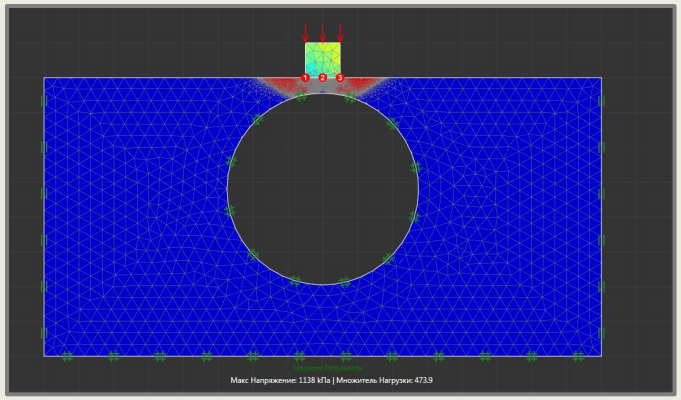
“Линии влияния”: зависимость Pu от xc, zc, R.

Три подхода к определению предельной нагрузки



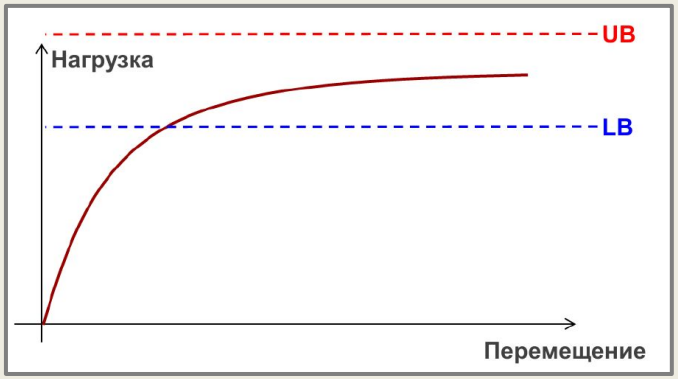
Определение предельной нагрузки методами теории предельного равновесия грунтов .

1



Определение предельной нагрузки напрямую в OptumG2 посредством Finite Element Limit Analysis.

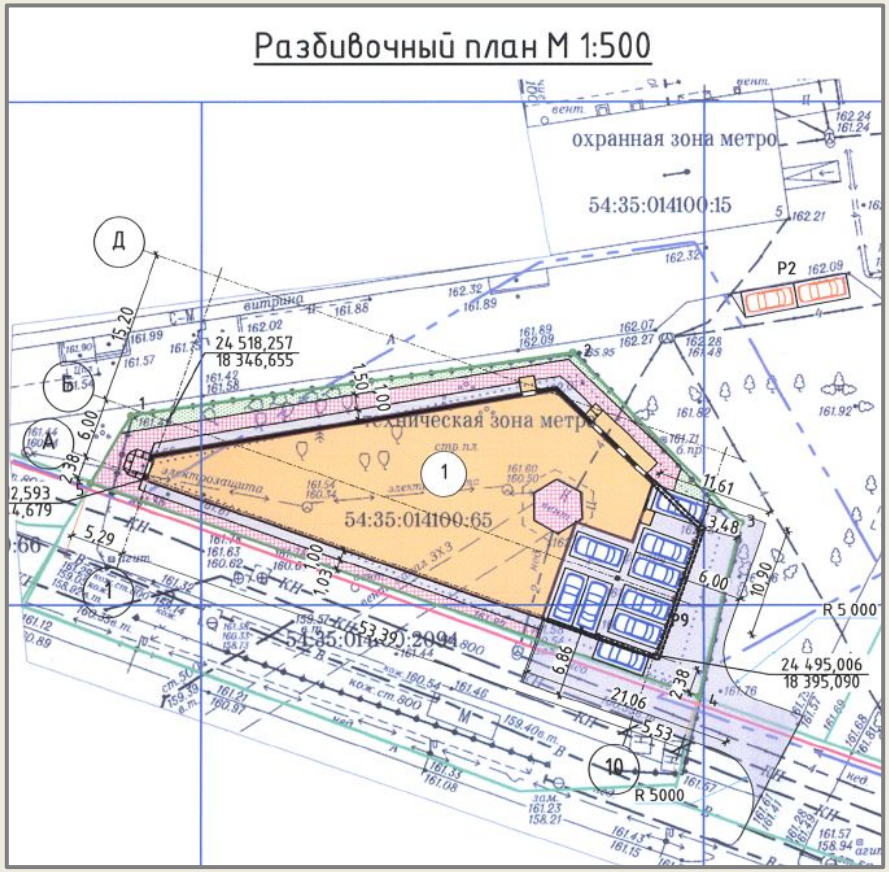
2

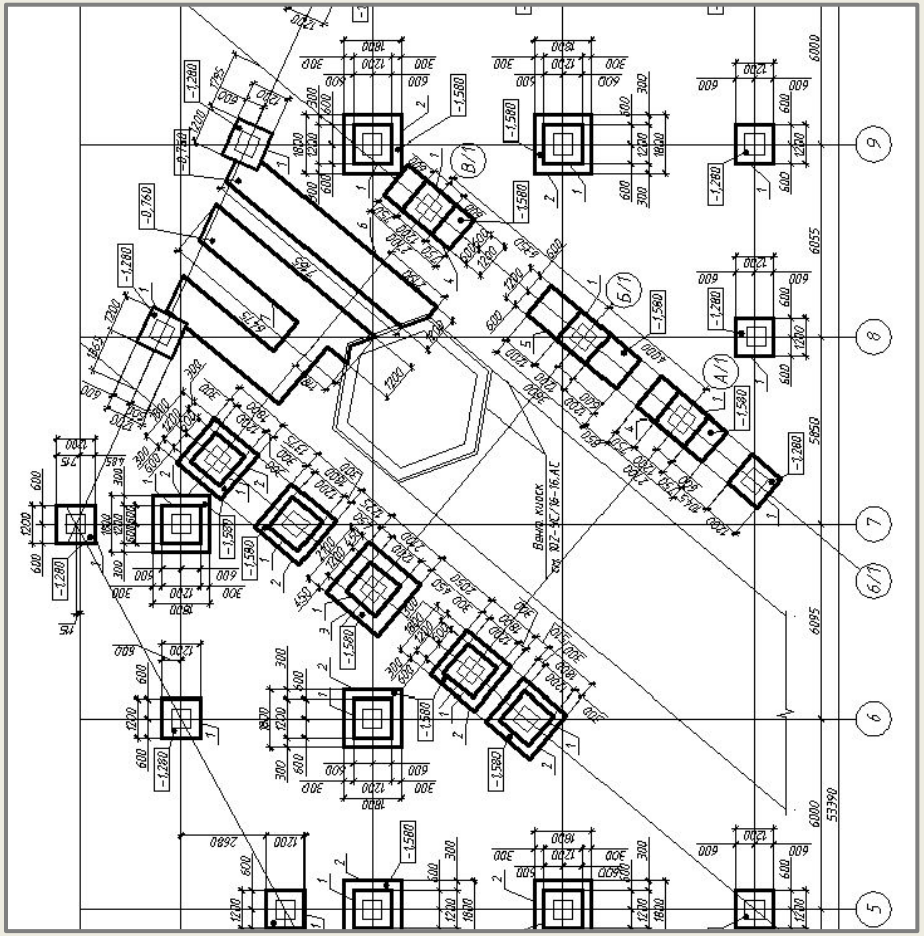


Определение предельной нагрузки путем анализа графика «нагрузка-перемещение» а также развития зон пластических деформаций.

3

Геотехнический прогноз с оценкой влияния строительства здания на сооружения ст. «Березовая роща» в Новосибирске



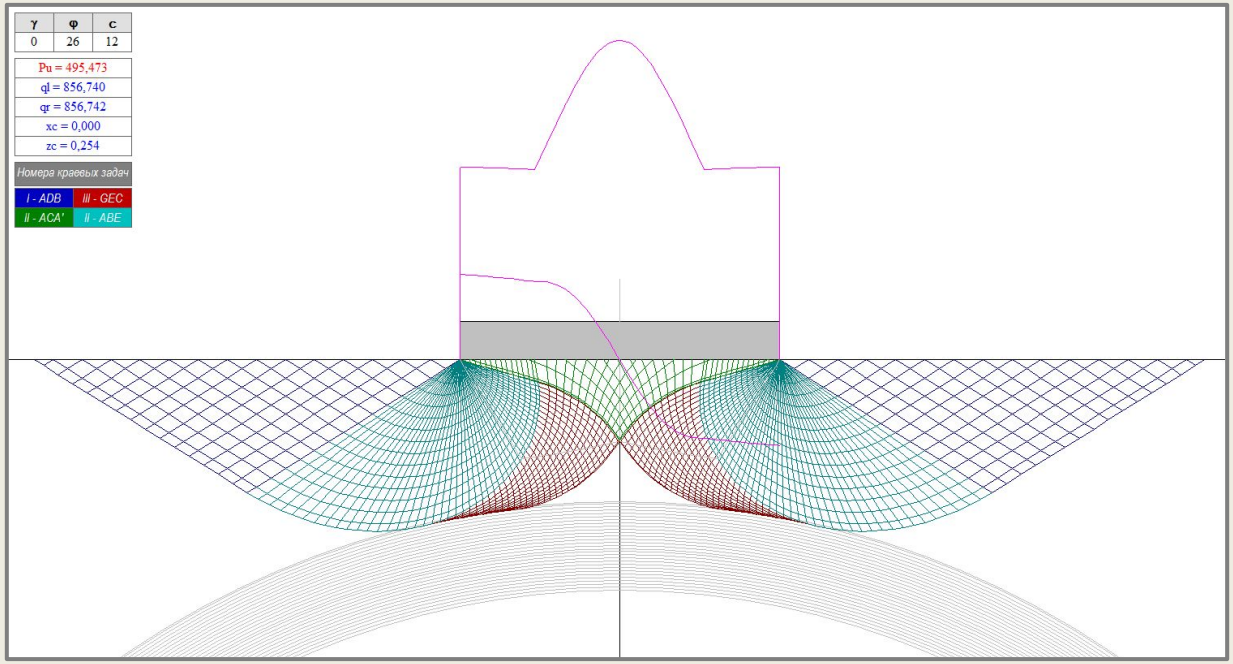


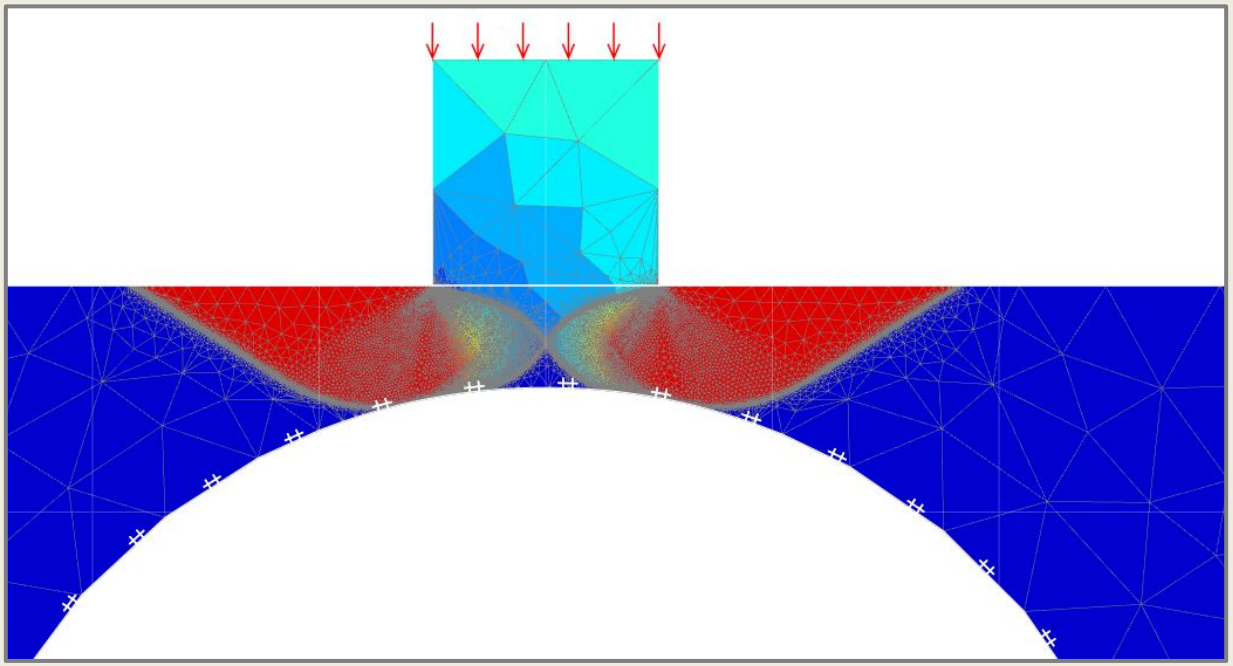
Выводы

- Получено строгое статическое решение ТПРГ задачи о несущей способности основания с учетом подземного сооружения.
- Проанализированы и сопоставлены факторы, влияющие на несущую способность основания: геометрия сооружений, физико-механические характеристики грунта и др.
- Выполнено сравнение полученного решения ТПРГ с расчетами МКЭ в реализации OptumG2 (Limit Analysis и упругопластический расчет).
- Установлена зависимость:

Оценка снизу (МКЭ, LB) <=ТПРГ< Оценка сверху (МКЭ, UB).

- Расхождение результатов расчета ТПРГ и Limit Analysis применительно к решаемой задаче составило (0-0,5)%.


γ φ c
0 26 12
Pu = 495,473
ql = 856,740
qr = 856,742
xc = 0,000
zc = 0,254
Номера краевых задач
I - ADB
III - GEC
II - ACA'
II - ABE



Сибирский государственный университет путей сообщения

НИЛ "Геотехника, тоннели и метрополитены"

vk.com/geotun

Инженерно-геотехнические изыскания,
проектирование и строительство оснований,
фундаментов и подземных сооружений

Благодарим за внимание!

Карян Геворг Гарникович

Полянкин Геннадий Николаевич

Наши контакты: 906-994-41-41, k.00741@yandex.ru; / 913-737-21-12, polyankin@mail.ru.

Теорема об Оценке Снизу:

Конструкция из упруго-пластического материала *не* подвергнется разрушению под действием поля напряжений удовлетворяющих:

+ Уравнениям равновесия
+ Граничным условиям для напряжений
+ Критерию пластичности

Следовательно, соответствующая нагрузка является *оценкой снизу.*

Теорема об Оценке Сверху:

Для поля перемещений, удовлетворяющих:

+ Соотношениям деформация - перемещение
+ Ассоциированному режиму течения
+ Граничным условиям для перемещений

Соотношение внутренней и внешней работы превышает или равно работе сил при разрушении системы. Отсюда получаем *оценку сверху*.