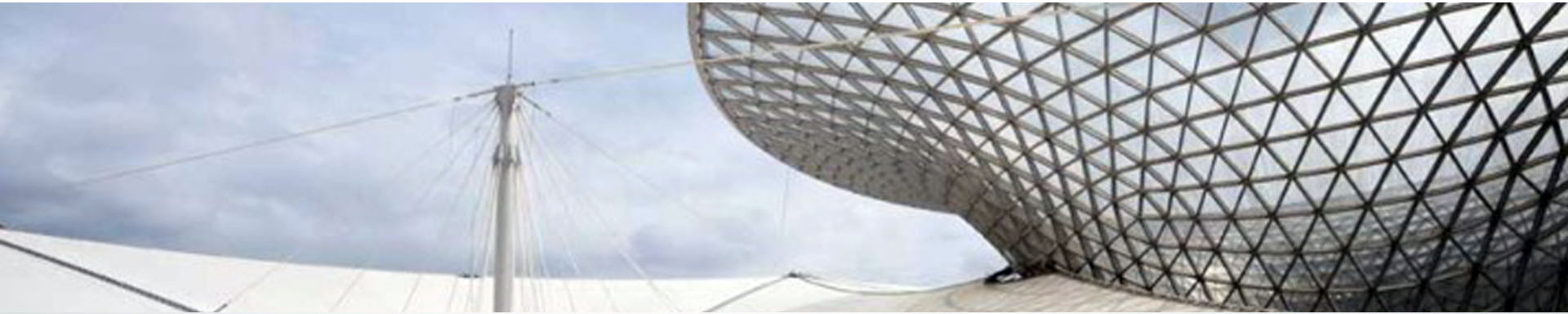
Геотехническое обоснование строительства новой технологической линии по производству цемента в Ленинградской области в ПК SOFiSTiK и WinTUBE

Лалин В.В., д.т.н, профессор,
Яваров А.В. к.т.н,
Беляев Д.И.,
Савченко А.В.

Инженерно-строительный институт, СПбПУ (Политех)

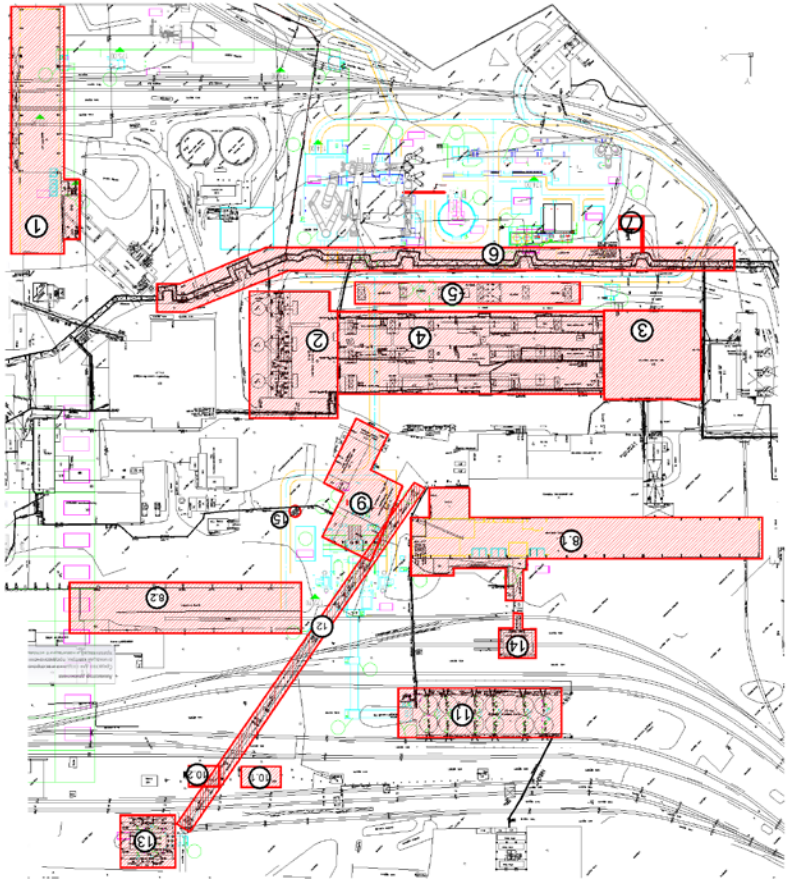


Цель работы:

геотехническое обоснование строительства новой технологической линии по производству цемента.

Задачи:

- ✓ анализ имеющиеся материалов проекта, инженерно-геологических условий площадки строительства
- ✓ выполнение расчетов оснований и фундаментов по I и II группам предельных состояний с помощью инженерных методов.
- ✓ определение типов фундаментов под проектируемые сооружения.
- ✓ расчет осадок проектируемых сооружений и оценка влияния на существующие цеха в программном комплексе SOFiSTiK.
- ✓ разработка требований к программе мониторинга на площадке строительства.



План площадки строительства

Эксплуатируемый
цех печной холодный

Эксплуатируемая
эстакада

Эксплуатируемый
склад клинкера

Техническое состояние конструкций эксплуатируемых сооружений

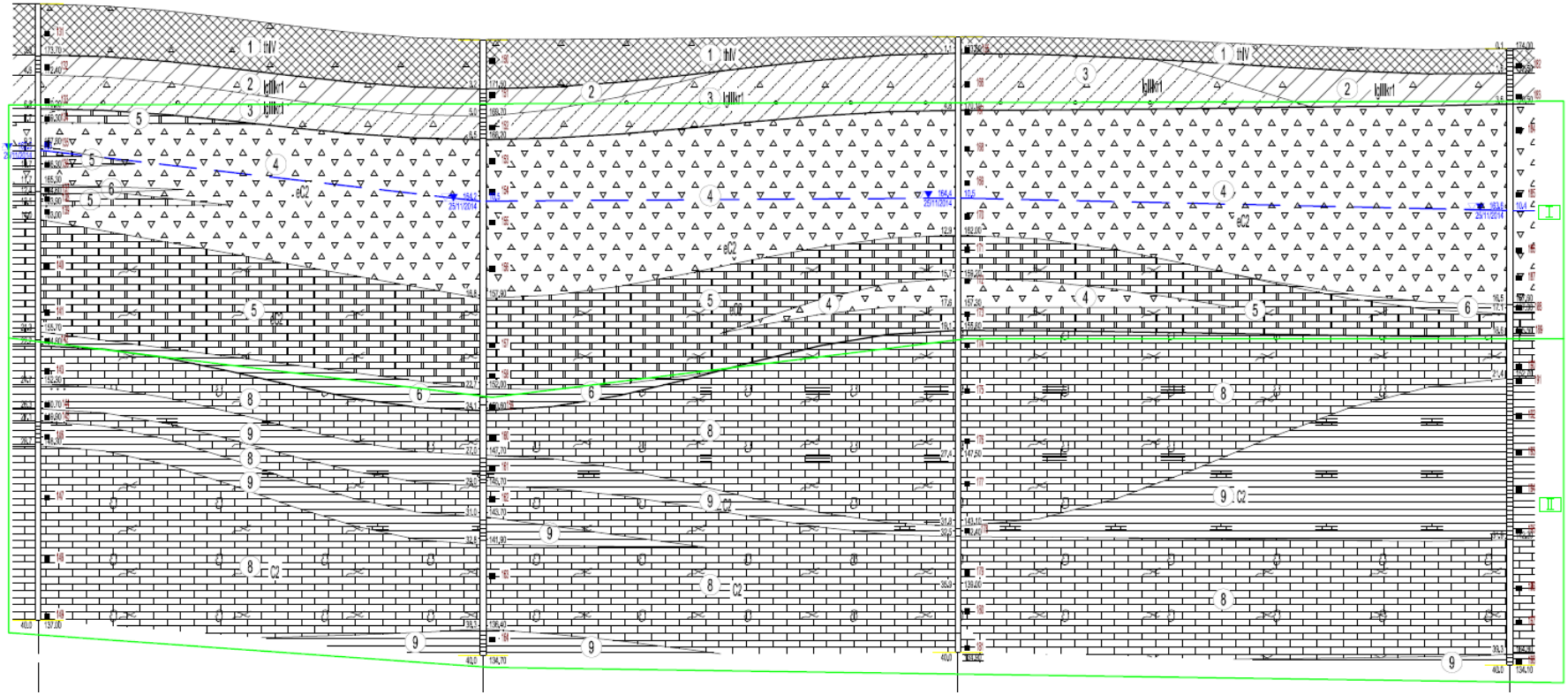
Аварийная колонна.
Отсутствие защитного слоя арматуры.
Повреждение арматуры коррозией.

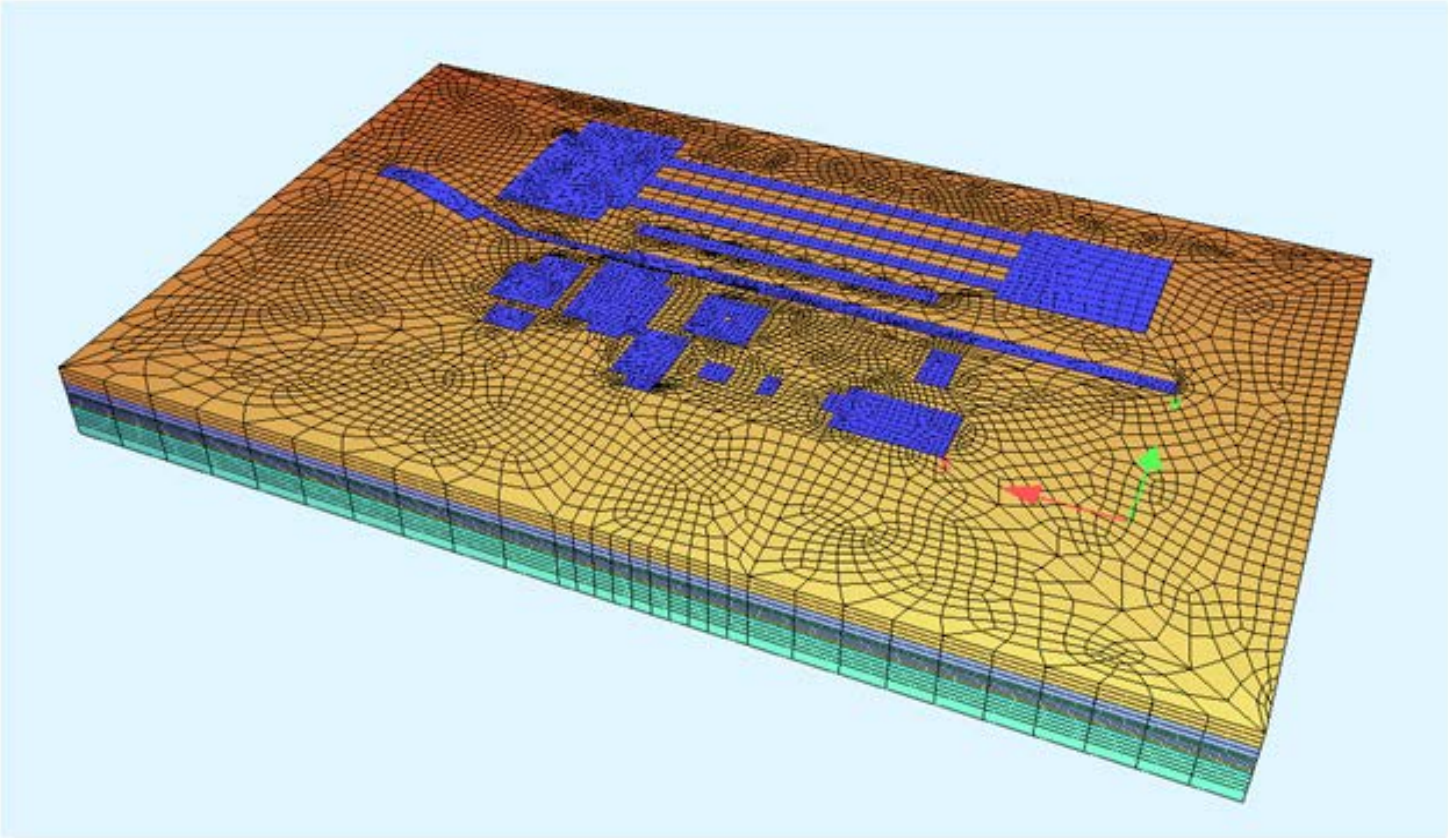
Коррозия бетона. Повреждение защитного слоя бетона и коррозия рабочей арматуры перекрытия. Отсутствует ЛКП стальных балок перекрытия. Коррозия балок перекрытия.

Инженерно-геологические условия площадки строительства

1. Проектируемые здания и сооружения будут возводиться на территории залегания погребенной коры выветривания.
2. Участок изысканий находится в зоне распространения карствующихся пород и относится к категории 5 (относительно устойчивая). Участок работ попадает под категорию области развития пород, подверженных карстообразованию

Инженерно-геологический разрез





Часть конечно-элементной модели вблизи проектируемых и эксплуатируемых сооружений

Грунты площадки строительства

Полускальные грунты – известняки трещиноватые

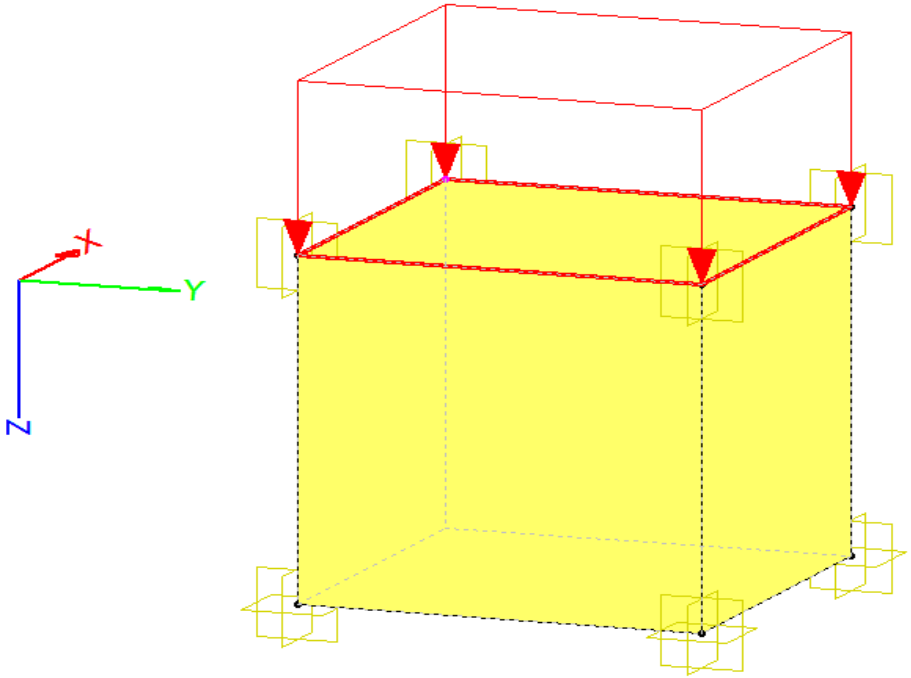
Идеальная упруго-пластическая модель с критерием прочности Кулон-Мора

Четвертичные песчано-глинистые отложения

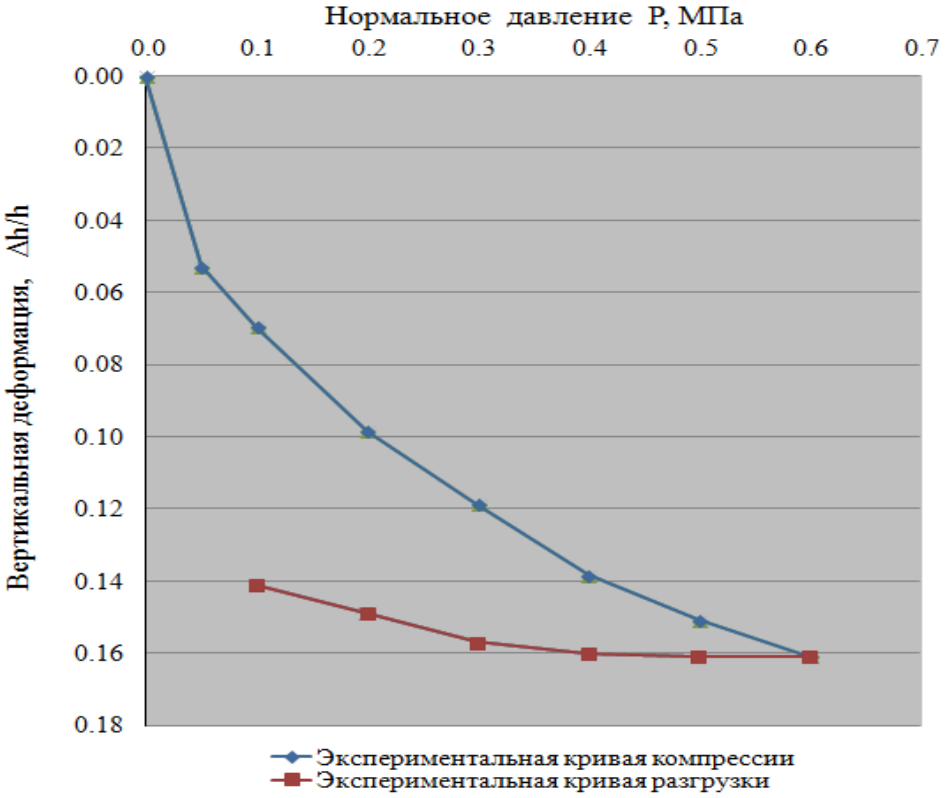
Модель с независимым упрочнением при уплотнении и формоизменении Gran

Моделирование компрессионного испытания

Компрессионный прибор



Экспериментальные данные



Теоретические основы Gran:

1. *Парамонов В.Н.* Расчет оснований зданий и сооружений в физически и геометрически нелинейной постановке : Дис. д-ра техн. наук : 05.23.17, 05.23.02, 1998 - С. 364
2. *Фадеев А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. - М.: Недра, 1987. - С. 221
3. *Benz T.* Small-Strain Stiffness of Soils and its Numerical Consequences // Mitteilungen des Instituts fur Geotechnik Universitat Stuttgart. - 2007. - № 55. - 209 p.
4. *Duncan J.M.* Nonlinear analysis of stress and strain in soils / J.M. Duncan, C.Y. Chang // Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE. -1970. Vol. 96. - P. 1629-1653.
5. *Kondner R.L., Zelasko J.S.* A hyperbolic stress strain relation for sands, Proc. 2nd Pan. Am. I−COSFE Brazil 1, 1963. 289−394 P.
6. *Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G.* The hardening soil model: formulation and verification.// Beyond 2000 in Computional Geotechnics – 10 years of PLAXIS. Balkema, Rotterdam, 1999.
7. *Schanz T. Zur* Modellierung des mechanischen Verhaltens von Reibungsmaterialien // Mitt. Inst, fhr Geotechnik 45. Universitat Stuttgart. Stuttgart, 1998. S. 152.

и другие исследования

Упрочнение при уплотнении

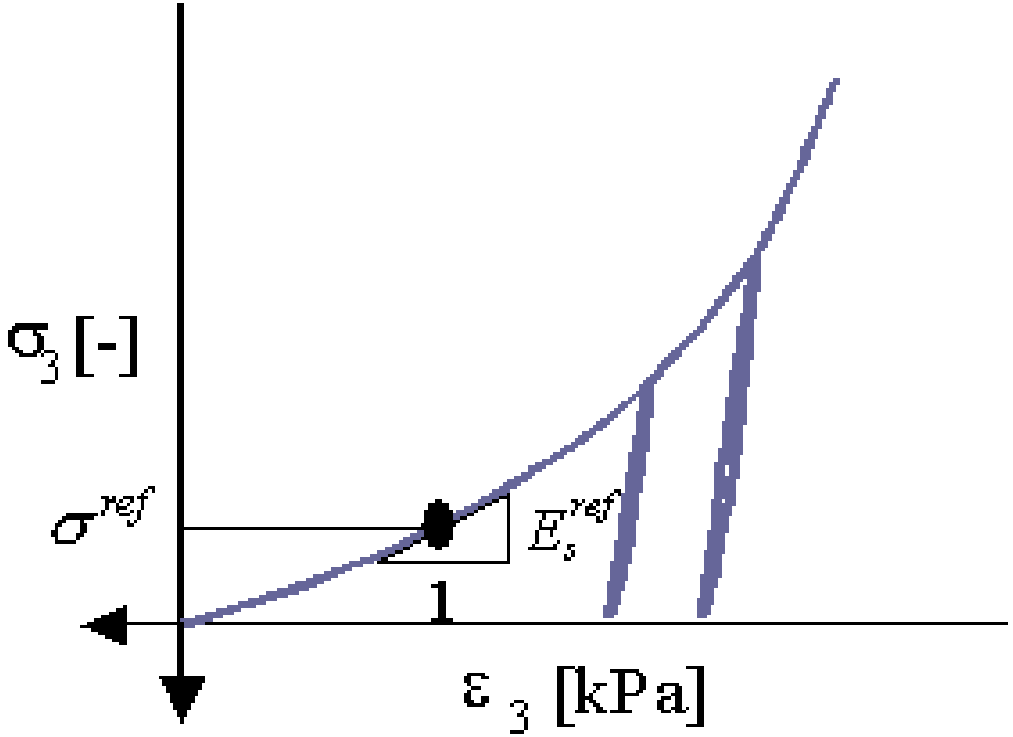


График одометрического испытания

Упрочнение при уплотнении

Зависимость величины одометрического модуля E_s от напряженного состояния σ_3 выражается по:

$$E_s = E_{s,ref}\left(\frac{|\sigma_3|\ \sin\varphi + c\ \cos\varphi}{p_{ref}\ \sin\varphi + c\ \cos\varphi}\right)^m. \qquad (1.1)$$

где p_{ref} - базовое давление, кН/м^2, σ_3- эффективное напряжение, кН/м^2, m - параметр экспоненты, $E_{s,ref}$ - компрессионный касательный модуль при базовом давлении, кН/м^2.

Из Закона Гука:

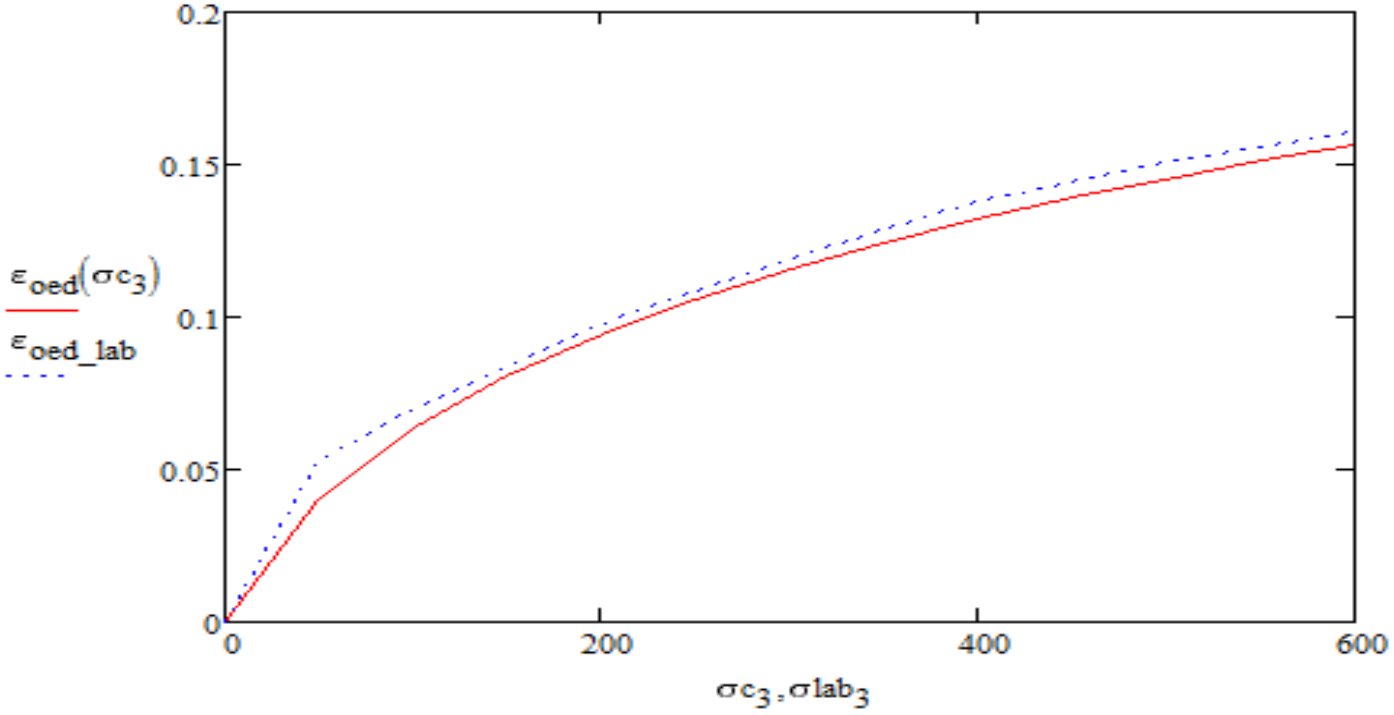
$$d\sigma_3 = E_s\, d\varepsilon_3$$

Выражаем ε_3:

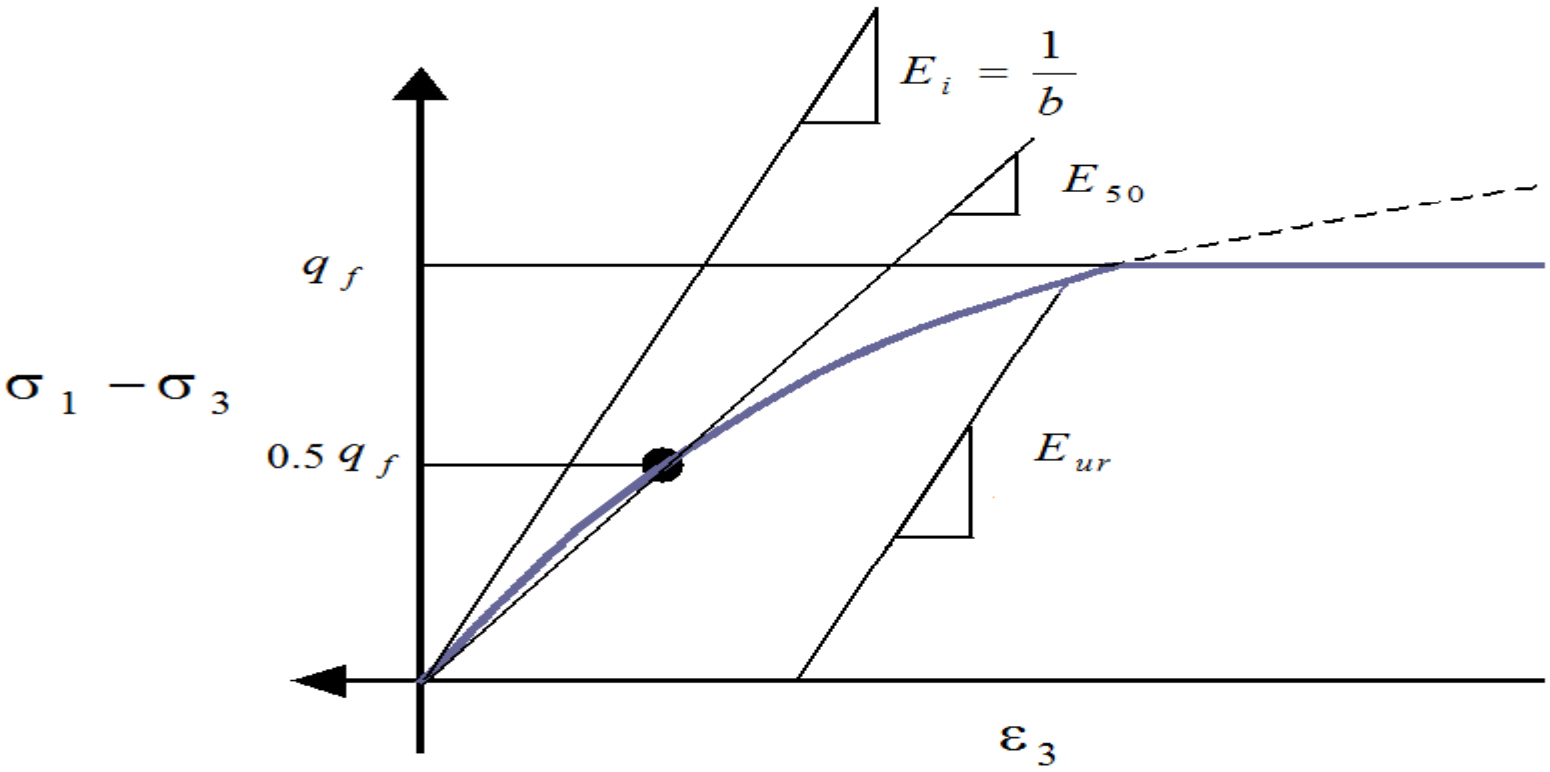
$$\varepsilon_3 = \int_0^P \frac{d\sigma_3}{E_{s,ref}\left(\frac{|\sigma_3|\ \sin\varphi + c\ \cos\varphi}{p_{ref}\ \sin\varphi + c\ \cos\varphi}\right)^m}$$

Упрочнение при уплотнении

$\varepsilon_{oed}(600) = 0.157$



Упрочнение при формоизменении



Упрочнение при формоизменении

Модуль упругости, определяемый из трехосных испытаний, зависит от величины бокового давления σ_1:

$$E_{50} = E_{50,ref}\left(\frac{|\sigma_1|\ \sin\varphi + c\ \cos\varphi}{p_{ref}\ \sin\varphi + \mathrm{c}\ \cos\varphi}\right)^m, \qquad (1.2)$$

где $E_{50,ref}$ - начальный секущий модуль первичного нагружения при базовом давлении, кН/м^2.

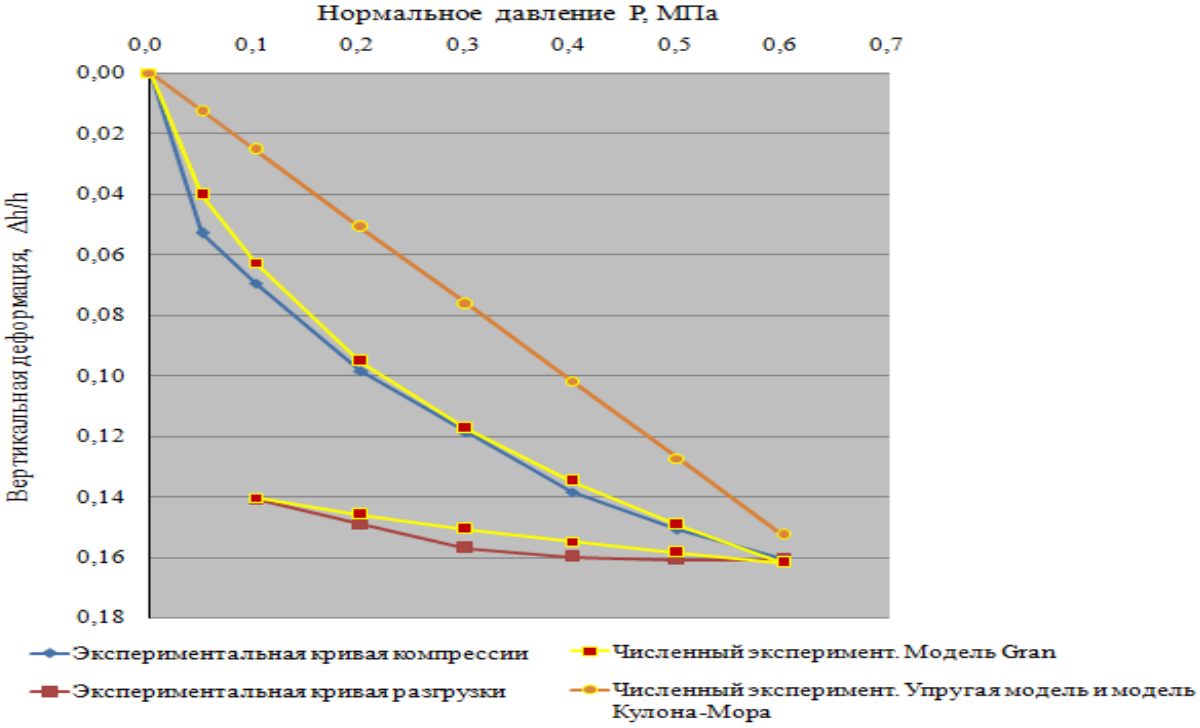
На основании эмпирических данных принято считать, что

$$E_{50,ref} \approx E_{s,ref}. \qquad (1.3)$$

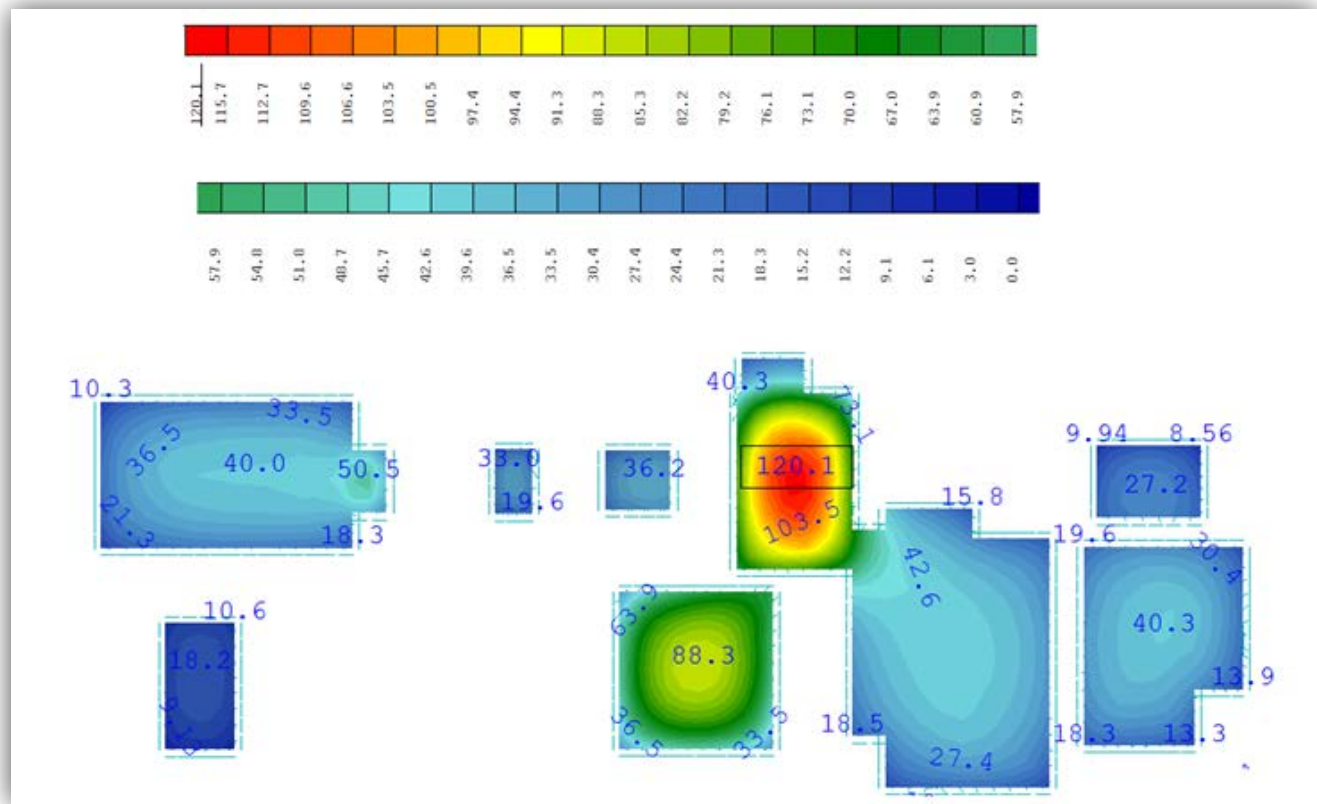
Параметры модели Gran для суглинка

№	Характеристика	Единица измерения	Значение
1	Угол внутреннего трения ϕ	[°]	28.7
2	Коэффициент сцепления c	[kN/m2]	20
3	Предел прочности на растяжение f_t	[kN/m2]	0
4	Угол дилатансии v	[°]	0
5	Компрессионный касательный модуль упругости Es, ref (GRAN−extended)	[kN/m2]	6700
6	Коэффициент бокового давления грунта k_0 (GRAN−extended)	[−]	0.52
7	Секущий модуль упругости при начальном нагружения E_{50},ref	[°]	4700
8	Показатель m >= 0	[kN/m2]	0.4
9	Показатель потери несущей способности 0.5< Rf< 1.0	[−]	0.9
10	Опорный уровень напряжений pref	[kN/m2]	100

Сравнение численных и экспериментальных данных

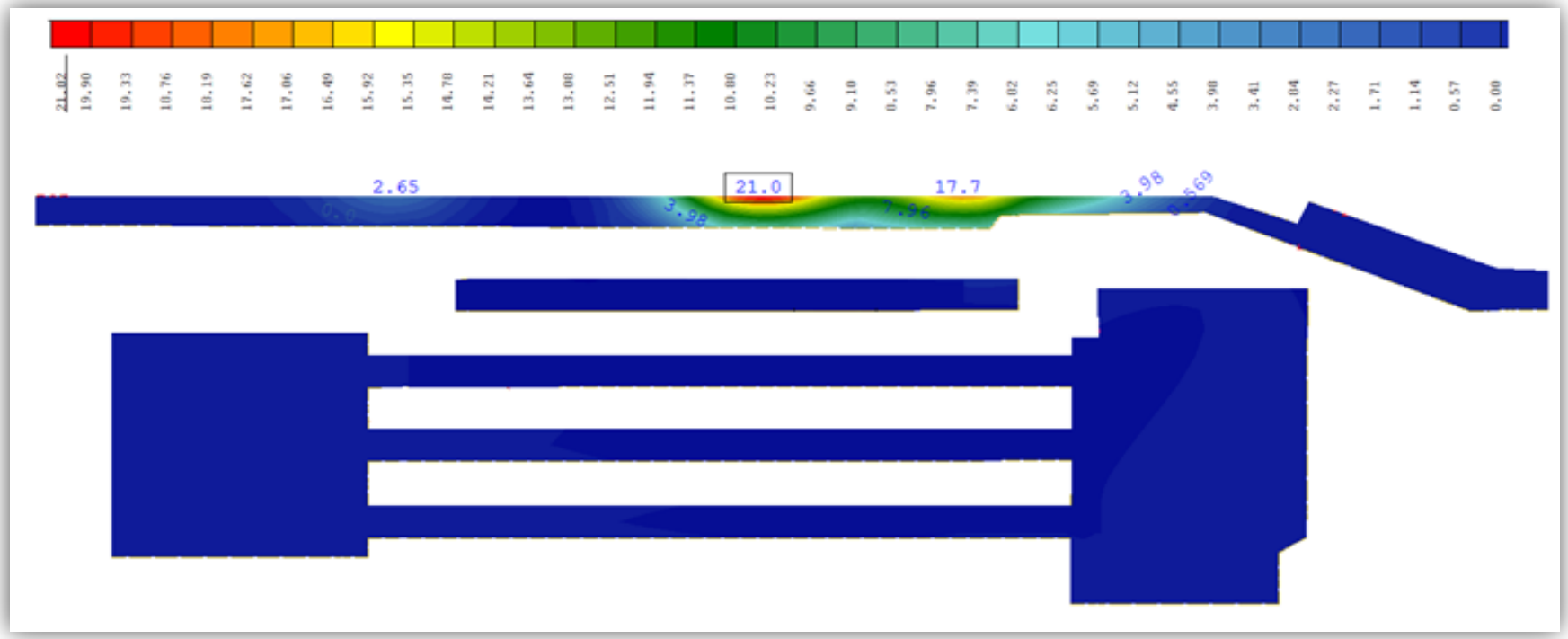


Результаты проведенных расчетов



Изополя вертикальных перемещений проектируемых сооружений

Результаты проведенных расчетов



Изополя дополнительных вертикальных перемещений существующей застройки

Выводы:

1. Проектируемые здания и сооружения будут возводится на территории залегания погребенной коры выветривания.. Для данных грунтов характерна **изменчивость физико-механических характеристик в пределах слоя и сложное пространственное залегание.**

Осадки фундаментов на перечисленных элювиальных грунтах будут иметь неравномерный характер.

Ввиду залегания на площадке потенциально карстующихся пород при строительстве и эксплуатации сооружений рекомендуется проводить мероприятия по предотвращению карстообразования.

3. В связи со сложными инженерно-геологическими условиями все здания в зоне влияния **перед началом строительства должны быть переведены, как минимум, во 2-ю категорию технического состояния.**

4. Для тяжело нагруженных фундаментов рекомендуется применять свайные фундаменты с опиранием на слаботрещиноватые известняки.

5. Расчет оснований и фундаментов выполнен с применением инженерных методов и численного моделирования в программном комплексе **SOFiSTiK с применением нелинейной модели Gran,** позволяющей учитывать независимое упрочнение при уплотнении и сдвиге, дилатансию и рагзгрузку-повторное нагружение.

Спасибо за внимание!

Визитная карточка:

Яваров Александр Валерьевич
Доцент СПбПУ, к.т.н.
Геотехнические обоснования строительства
Расчеты уникальных зданий и сооружений
Полевые и лабораторные испытания грунтов

E-mail: yavarov_av@mail.ru
Моб.: +7-911-024-10-12