



**Санкт-Петербургский
Государственный Политехнический
Университет
Кафедра Строительная механика и
Теория упругости**



**Подбор параметров модели грунтов с независимым
упрочнением GRAN в программном комплексе
SOFiSTiK для сложных грунтовых условий Санкт-
Петербурга**

*Д.т.н. , профессор,
зав. кафедрой СМиТУ СПбГУ Лалин В.В.
Аспирант Яваров А.В.*

Санкт-Петербург

2012 г.

История вопроса:

1. *Болдырев Г.Г.* Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2008. – 696 с.
2. *Бугров А.К.* Механика грунтов. - СПб: СПбГПУ, 256 стр., 2006 - С. 256.
3. *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
4. *Фадеев А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. - М.: Недра, 1987. - С. 221
5. *Benz T.* Small-Strain Stiffness of Soils and its Numerical Consequences // Mitteilungen des Instituts für Geotechnik Universität Stuttgart. - 2007. - № 55. - 209 p.
6. *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.
7. *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.
8. *Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G.* The hardening soil model: formulation and verification.// Beyond 2000 in Computational Geotechnics – 10 years of PLAXIS. Balkema, Rotterdam, 1999.
9. *Schanz T.* Zur Modellierung des mechanischen Verhaltens von Reibungsmaterialien // Mitt. Inst. für Geotechnik 45. Universität Stuttgart. Stuttgart, 1998. S. 152.

Модели грунтов:

- Идеальная упруго-пластическая модель **MOHR-COULOMB** с неассоциированным законом течения, изотропным упрочнением, с параметром вязкости, ползучести, дилатансией и сопротивлением растяжению;
- Идеальная упруго-пластическая модель **DRUCKER/PRAGER** с неассоциированным законом течения с изотропным упрочнением, с параметром вязкости, ползучести и сопротивлением растяжению;
- Модель с независимым упрочнением формоизменения и уплотнения **GRAN** сопротивлением растяжению, дилатансией;

Модели грунтов:

- **Модель набухающего грунта Swell с учетом вязкости.**
- **Модель скальных грунтов ROCK с учетом развития систем трещин.**

- **User Defined Material Laws.**

Модель Гран основана на работах:

1. *Desai C.S., Christian J.T. Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Chapter 2, McGraw–Hill Book Company, 1973.*
2. *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.*
3. *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.*
4. *Ohde J. Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund // Der Bauingenieur. 1939. № 20. H. 33/34. S. 451-459.*
5. *Ohde J. Grundbaumechanik, Huette, BD, III, 27. Auflage. 1951*
6. *Rowe P.W. The Stress-dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact, Proc. Roy. Soc. A. 269, 1962, 500-527 P.*
7. *Schanz T. Zur Modellierung des mechanischen Verhaltens von Reibungsmaterialien // Mitt. Inst, fhr Geotechnik 45. Universitat Stuttgart. Stuttgart, 1998. S. 152.*

Упрочнение при уплотнении

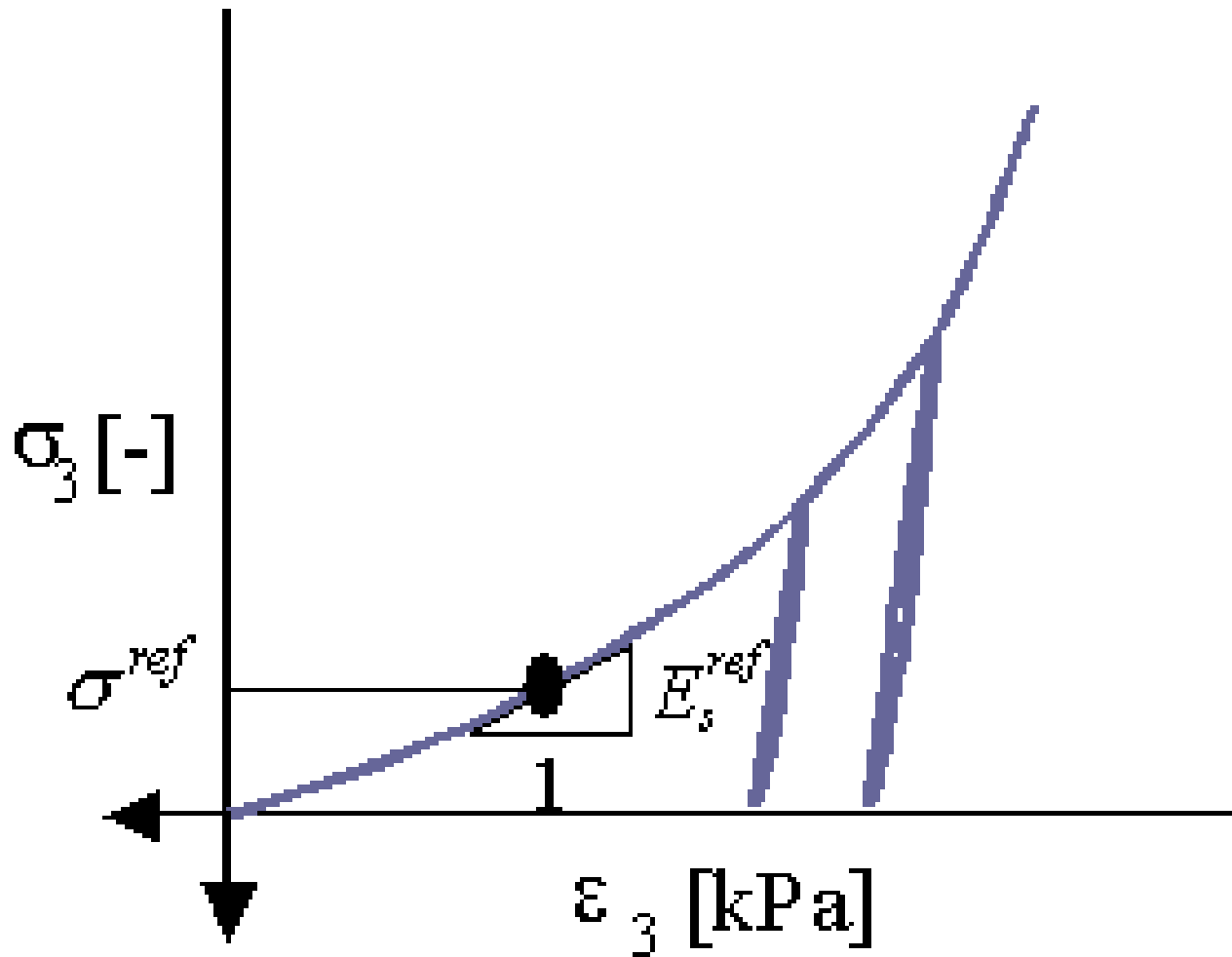


Рисунок 1. График компрессионного испытания 6

Упрочнение при уплотнении

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

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

где p_{ref} - базовое давление, кН/м², σ_3 - эффективное напряжение, кН/м², m - параметр экспоненты, $E_{s,ref}$ - компрессионный касательный модуль при базовом давлении, кН/м².

Из Закона Гука:

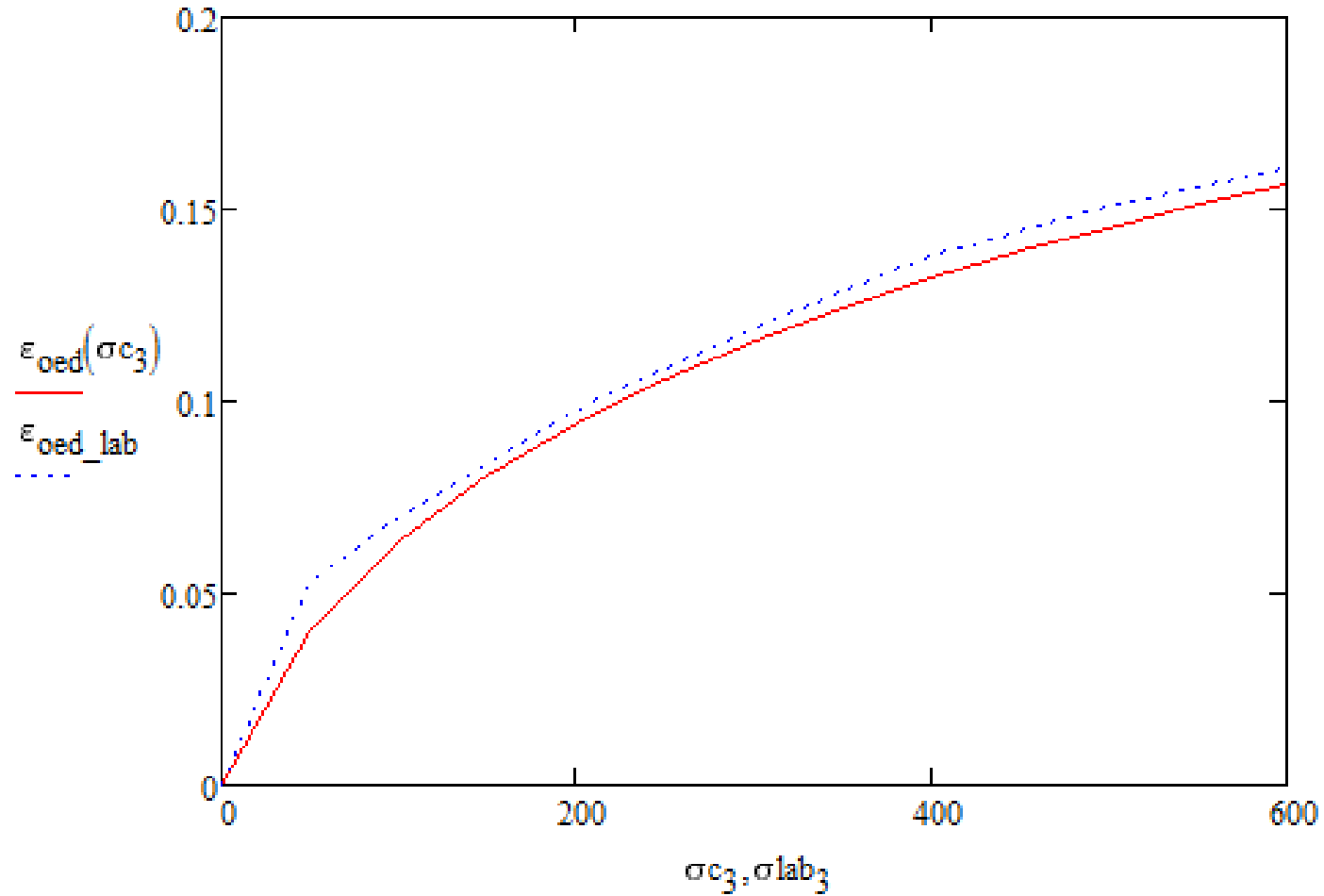
$$d\sigma_3 = E_s d\varepsilon_3$$

Выражаем ε_3 :

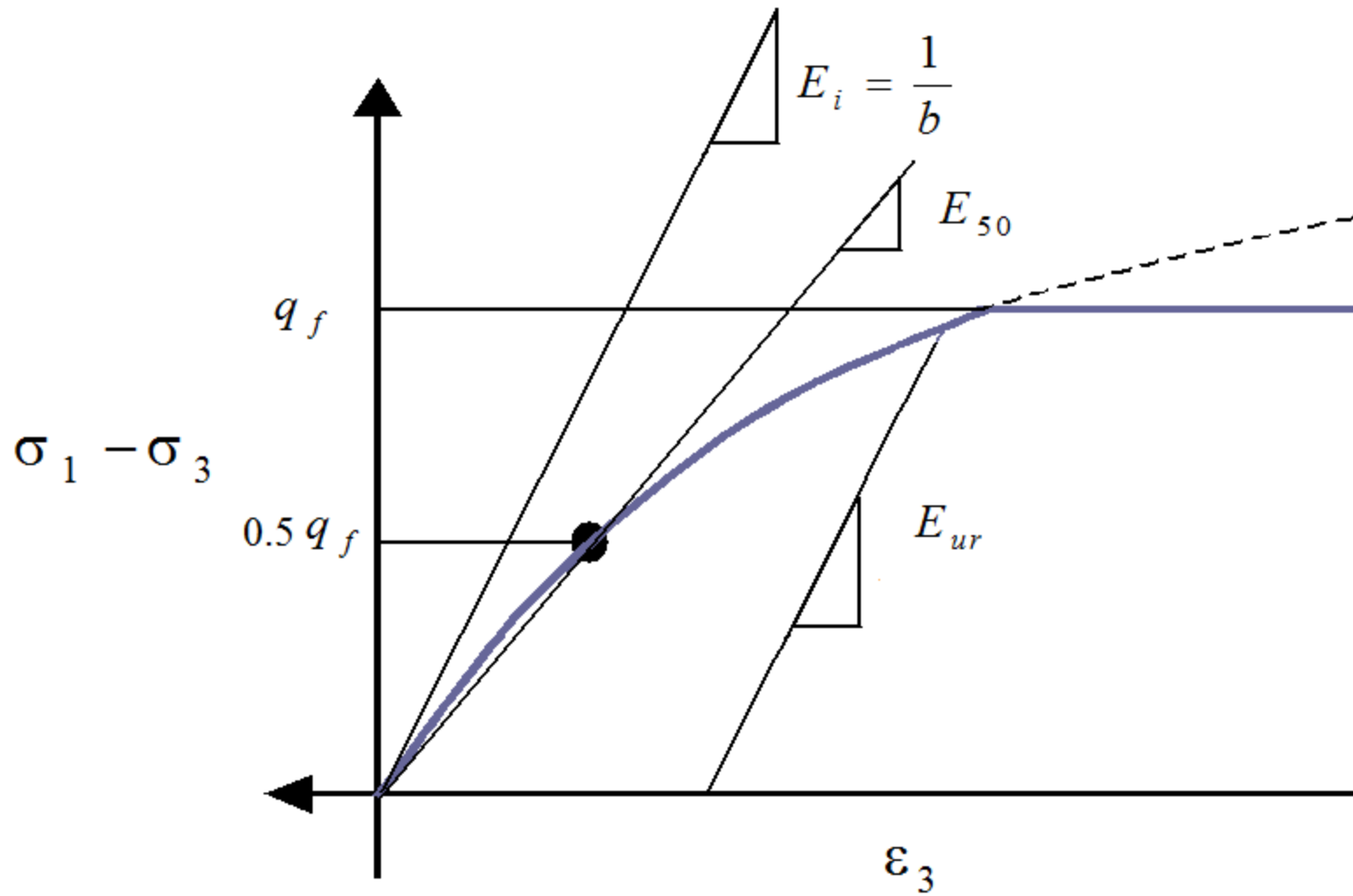
$$\varepsilon_3 = \int_0^P \frac{d\sigma_3}{E_{s,ref} \left(\frac{|\sigma_3| \sin \varphi + c \cos \varphi}{p_{ref} \sin \varphi + c \cos \varphi} \right)^m}$$

Упрочнение при уплотнении

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



Упрочнение при формоизменении



Упрочнение при формоизменении

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

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

где $E_{50,ref}$ - начальный секущий модуль первичного нагружения при базовом давлении, кН/м².

На основании эмпирических данных принято считать, что

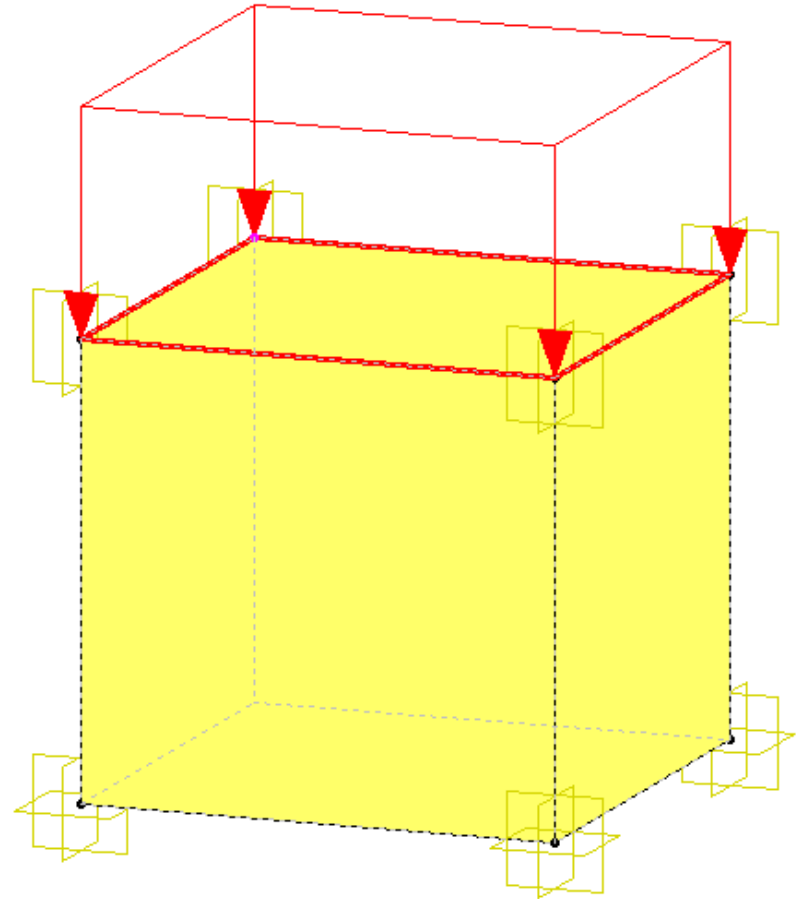
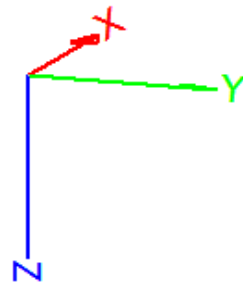
$$E_{50,ref} \approx E_{s,ref}. \quad (1.3)$$

**Основной критерий
применимости нелинейной
модели материала - повторение
численным методом
лабораторных испытаний.**

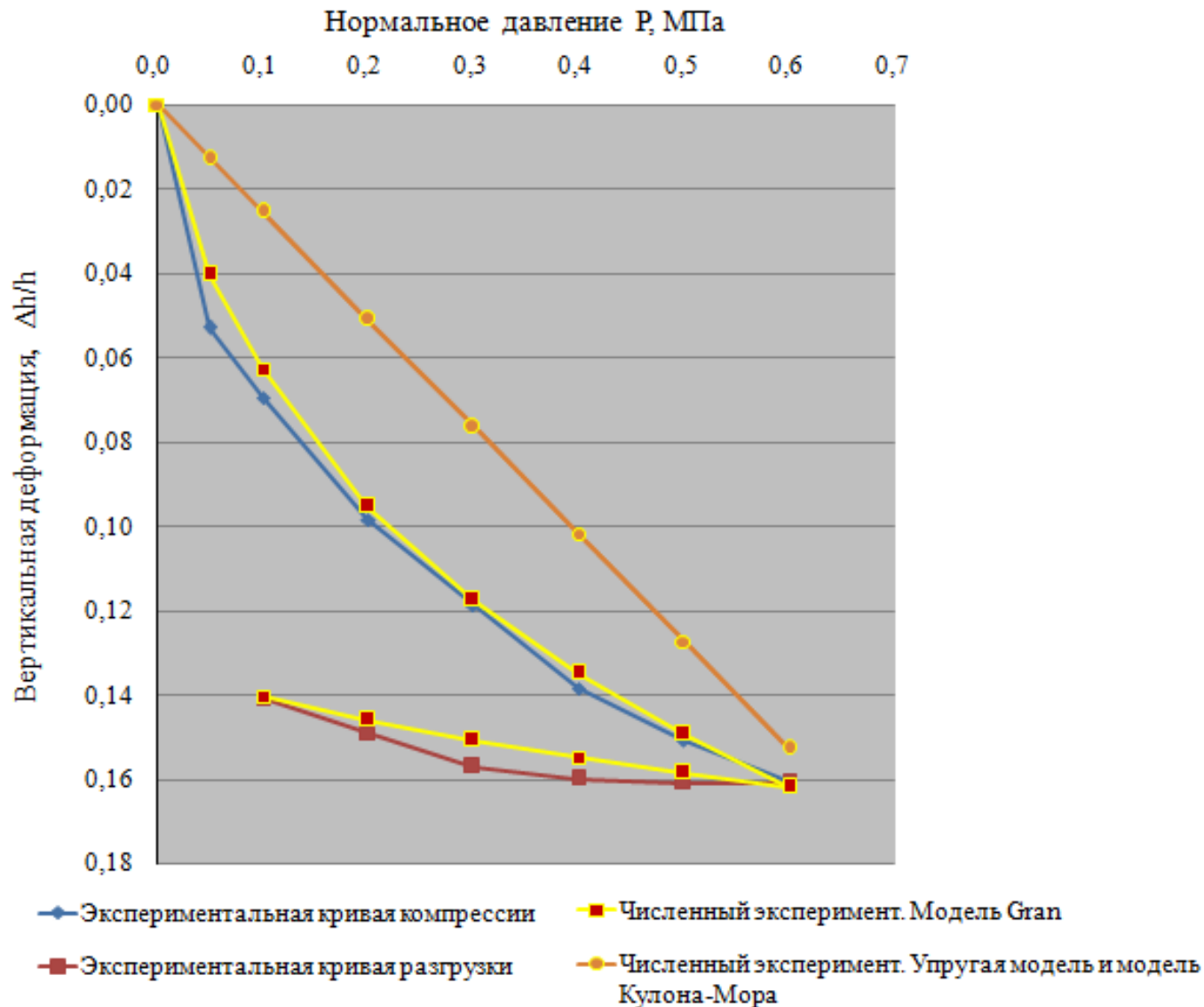
Моделирование компрессионного испытания



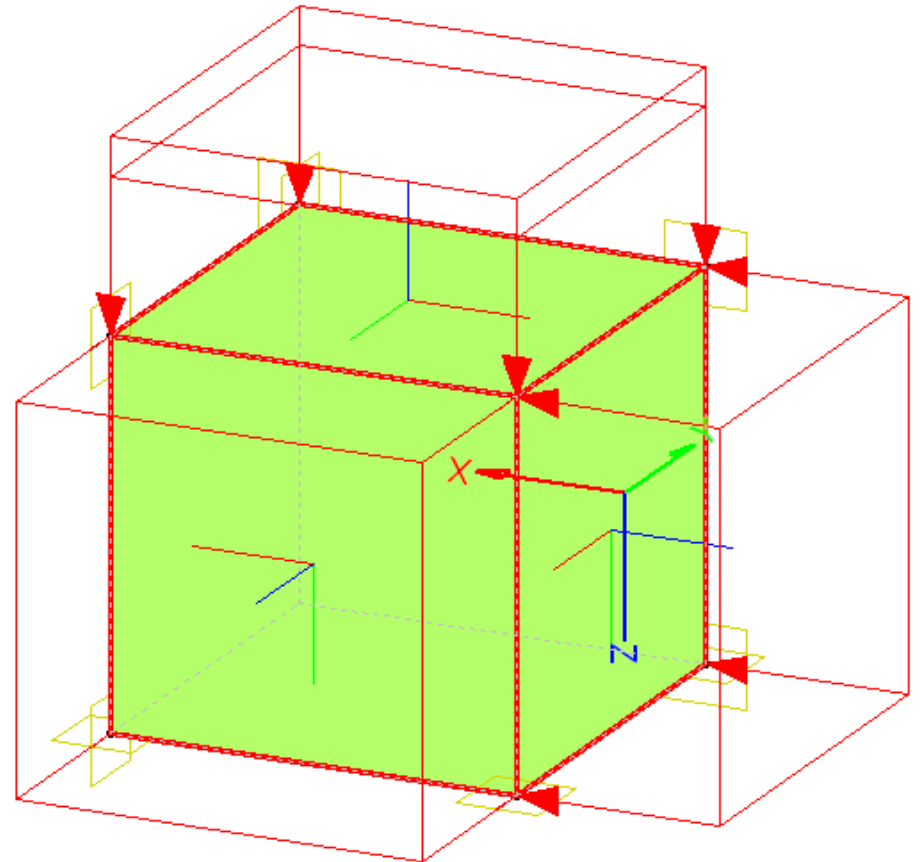
Компрессионный прибор



Сравнение численных и экспериментальных данных

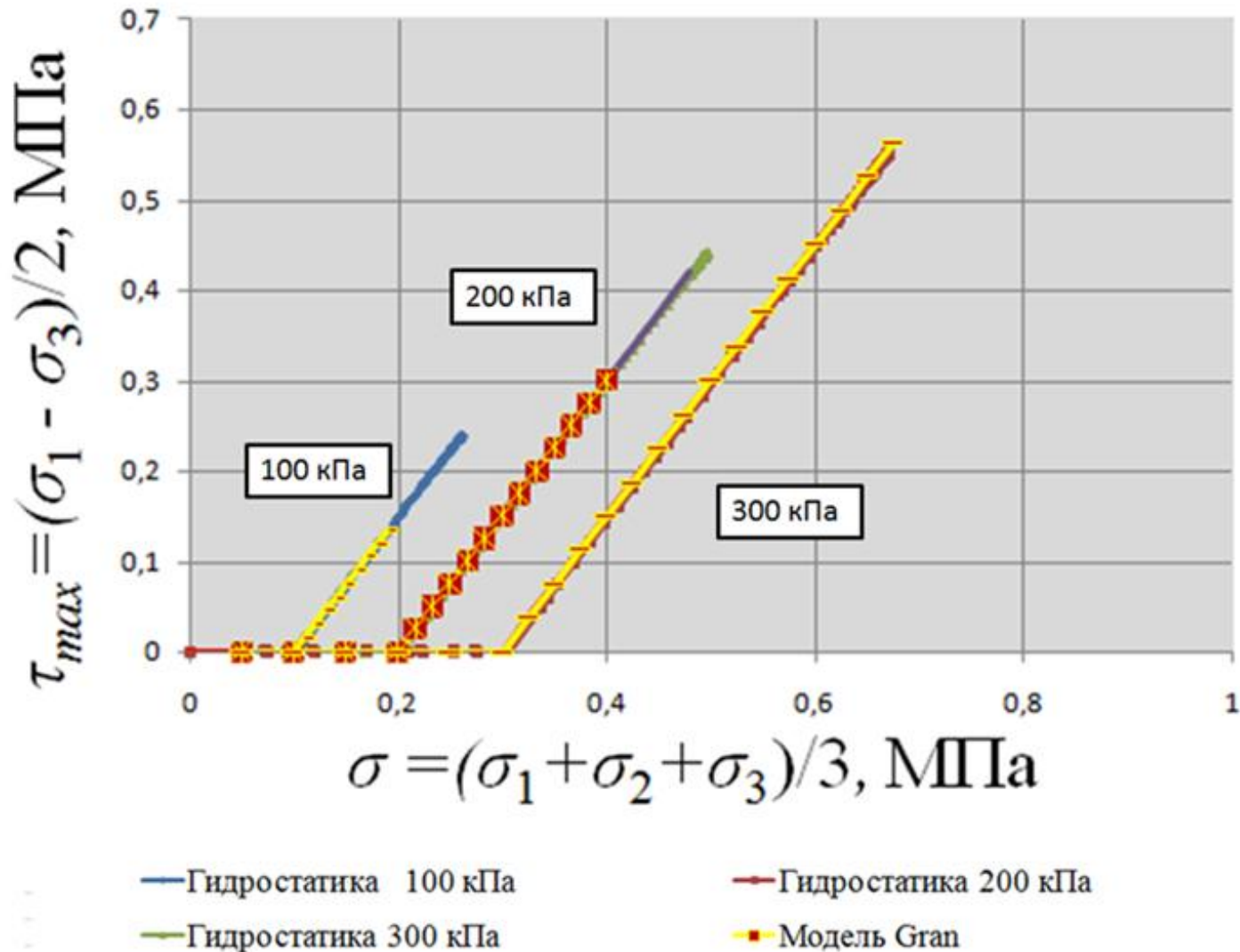


Моделирование трехосного испытания

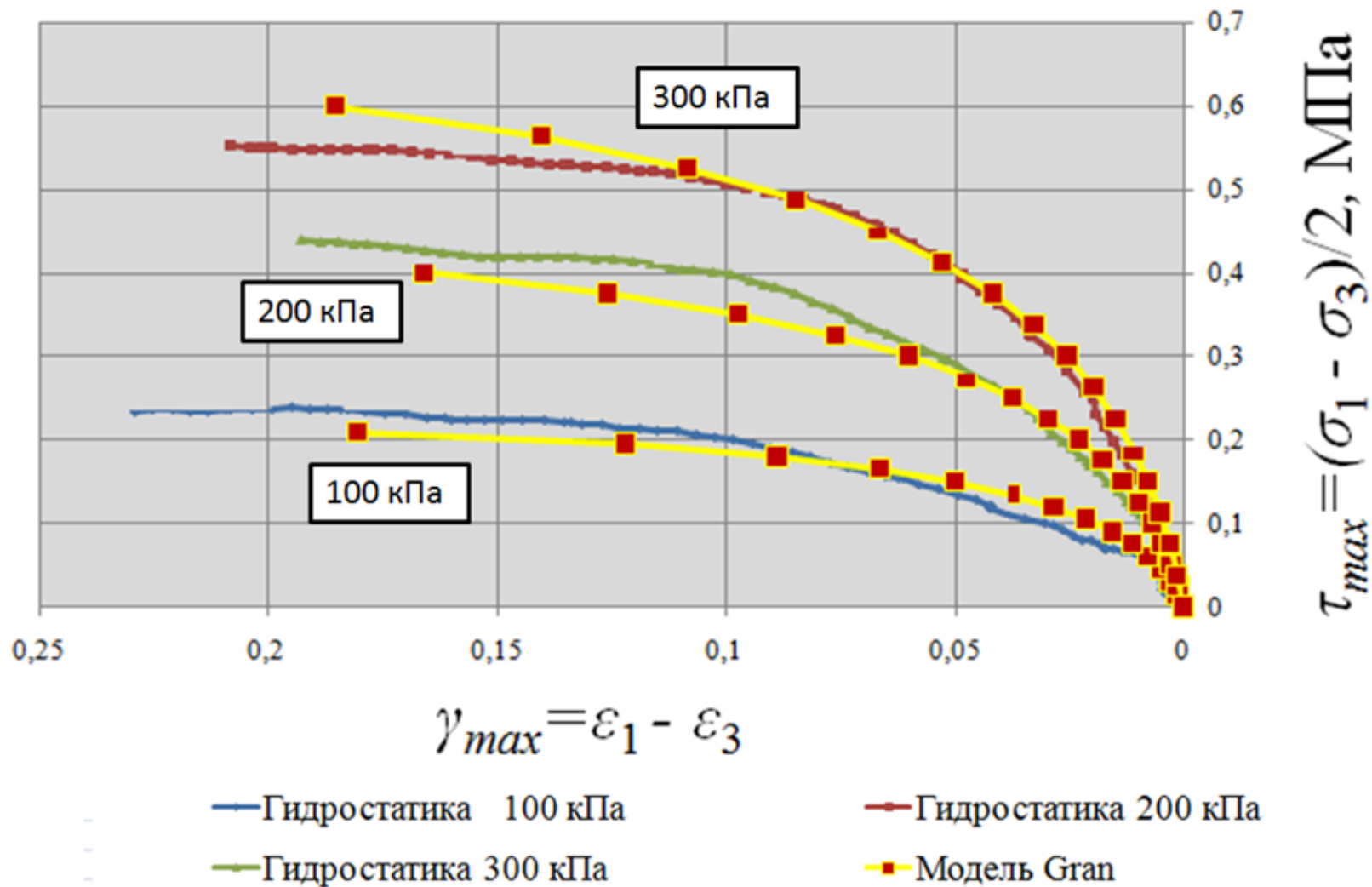


Прибор для испытаний
на трехосное сжатие

Совпадение условий нагружения в численном и лабораторном экспериментах

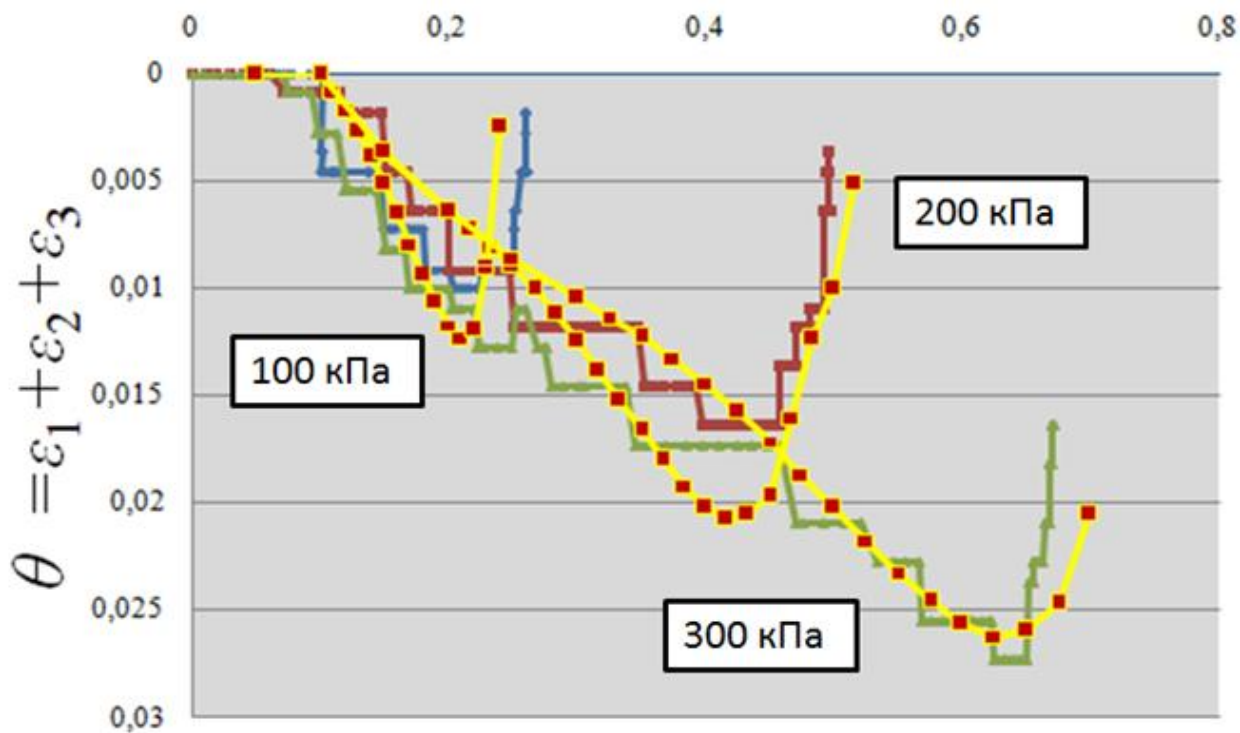


Сравнение численных и экспериментальных данных



Сравнение численных и экспериментальных данных

$$\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3, \text{ МПа}$$



— Гидростатика 100 кПа

— Гидростатика 200 кПа

— Гидростатика 300 кПа

— Модель Gran

Применение модели Gran к расчету природного напряженного состояния и экскавации грунта отражено в статье:

http://www.sofistik.com/fileadmin/FILES/Russia/Documents/SOFiSTiK_Численное_моделирование_сопротивления_массива_грунта_перемещениям_подземного_трубопровода.pdf

Выводы:

- 1. Изложены теоретические основы модели упрочняющегося грунта Gran в программе SOFiSTiK.**
- 2. Выполнен подбор параметров модели Gran для компрессионного испытания суглинка.**
- 3. Выполнен подбор параметров модели Gran для трехосного испытания песка.**
- 4. Выполнено сопоставление с результатами натуральных испытаний грунтов Санкт-Петербурга**

Спасибо за внимание!