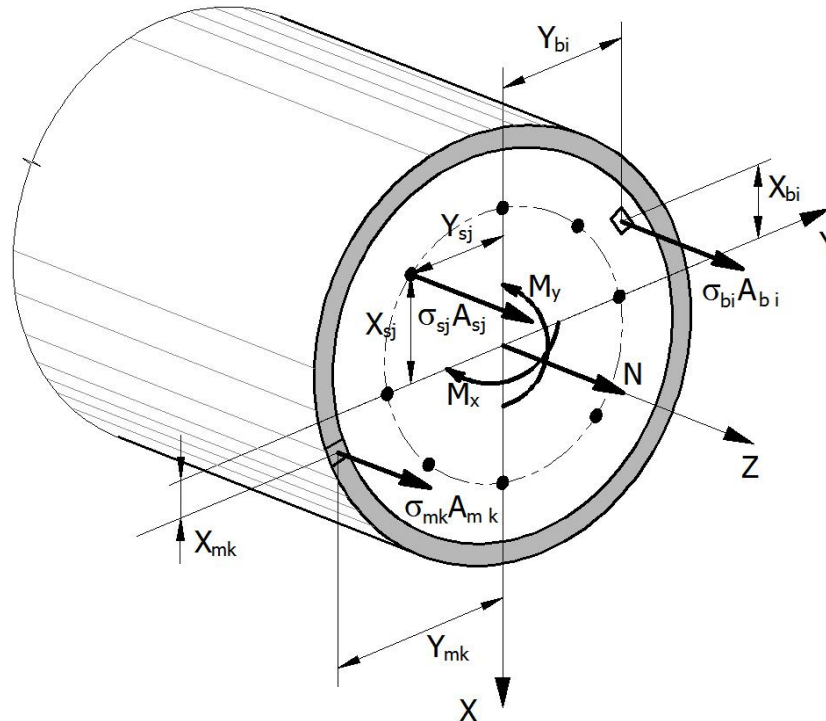
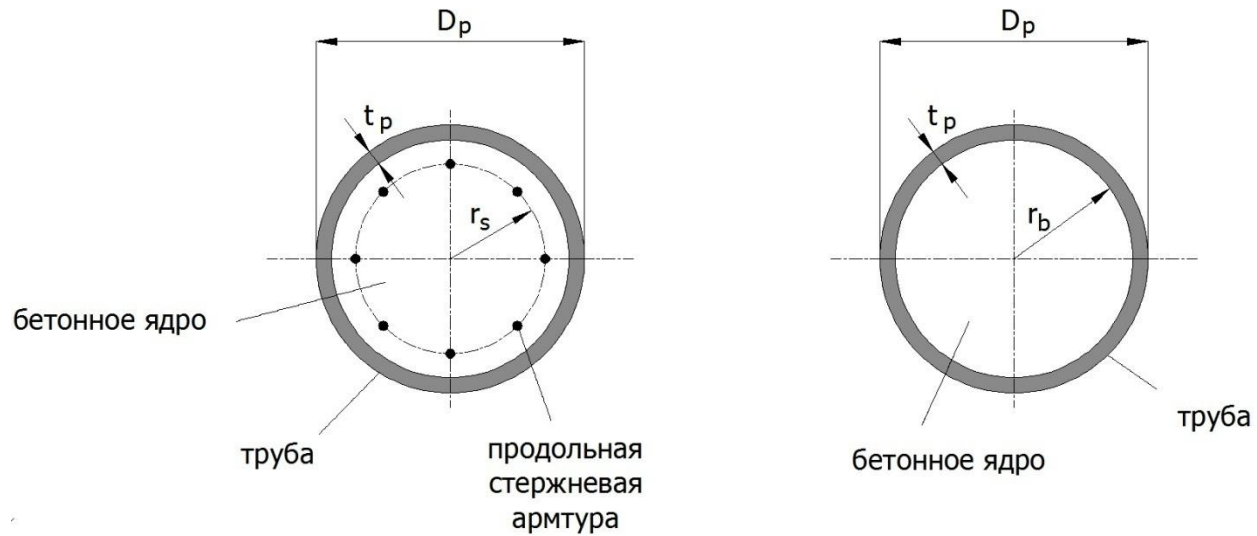


# Вопросы расчета трубобетонных колонн в рамках разработки СТО АРСС «Сталежелезобетонные конструкции»

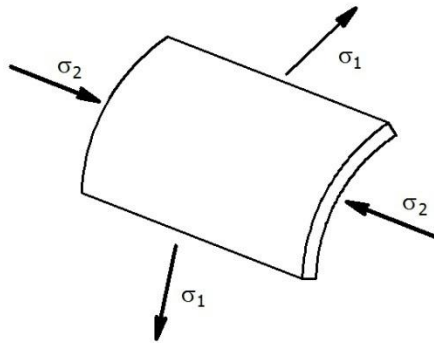
Крылов С.Б.  
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева  
АО «НИЦ «Строительство»

# Рассматриваемые сечения и схема усилий

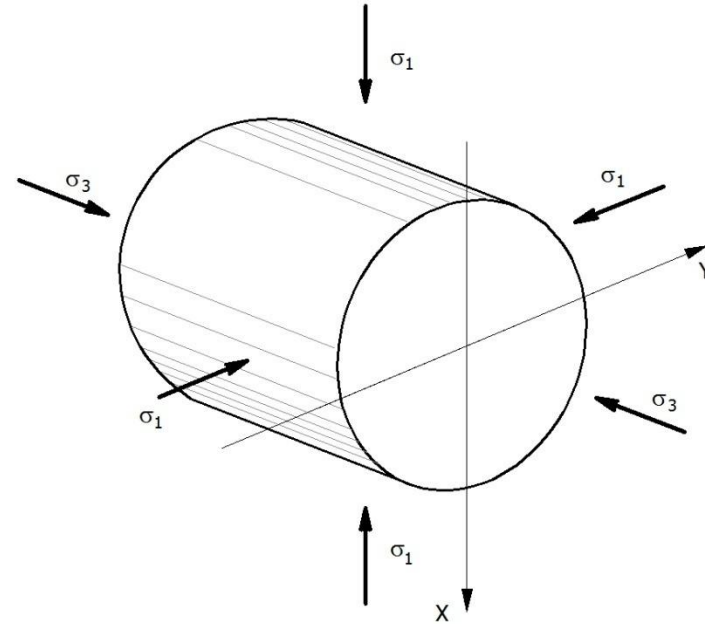


# Особенности работы материалов в трубобетонной колонне при центральном сжатии

- Оба материала работают в условиях многоосного напряженного состояния



Металл трубы находится в условиях сжатия с растяжением. Это снижает его расчетное сопротивление по сравнению с одноосным напряженным состоянием.



Бетон ядра находится в условиях трехосного сжатия. Это повышает его расчетное сопротивление по сравнению с одноосным напряженным состоянием.

- Расчетные сопротивления материалов изменяются при изменении эксцентриситета

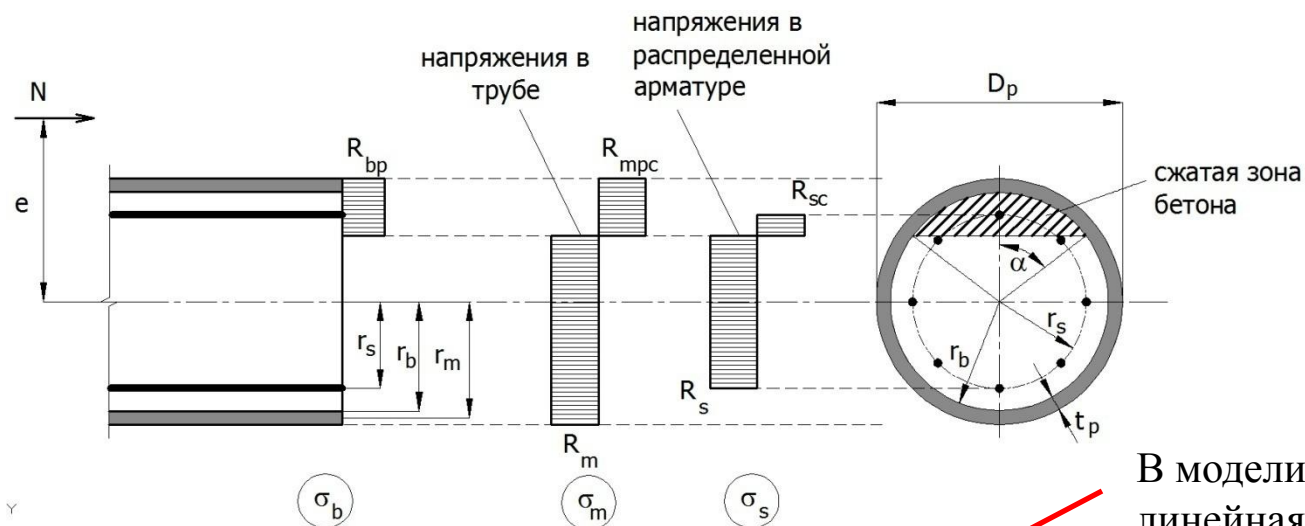
# Различия в методике расчета по Еврокоду, многих исследователей и СТО (СНиП)

- Многие исследователи и Еврокод определяют прочность внецентренно- сжатой трубобетонной колонны как центрально-сжатой
- Внецентренное сжатие при этом учитывают системой коэффициентов
- Это искажает физическую суть явления и может вызвать ошибки при больших эксцентриситетах.
- Многие авторы дают противоречивые рекомендации относительно величин расчетных сопротивлений металла и бетона в трубе

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \cdot \left( 1 + \eta_c \frac{t}{d} \cdot \frac{f_y}{f_{ck}} \right) + A_s f_{sd}, \quad (\text{по Еврокоду})$$

В СТО принята методика расчета, основанная на уравнениях равновесия продольных сил и уравнениях равновесия моментов (как в СНиП)

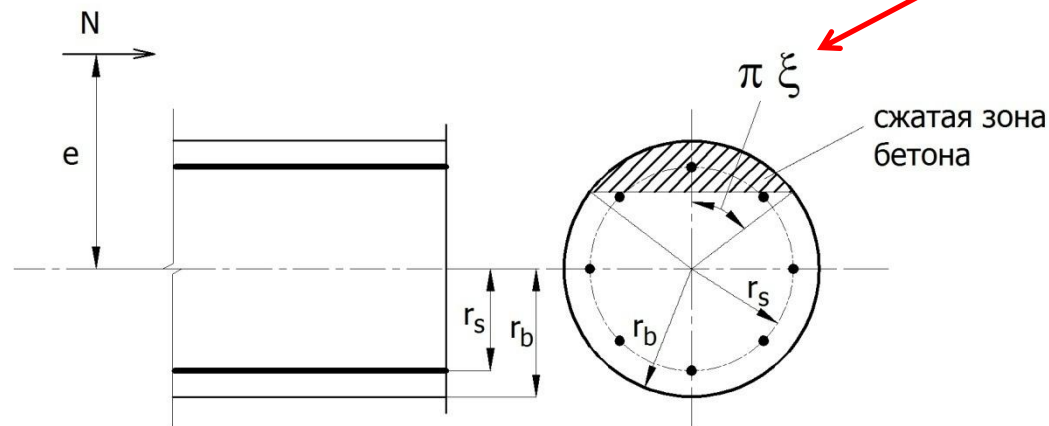
# Принятая модель и модель СНиП для круглых сечений



В модели СНиП предполагается линейная связь между высотой сжатой зоны и соответствующим углом. В действительности эта связь нелинейная.

Упрощенное допущение СНиП основано на сходстве пределов изменения

$$0 \leq \alpha \leq \pi \quad \text{и} \quad 0 \leq \pi \cdot \xi \leq \pi$$



# Предпосылки расчета

- Гипотеза плоских сечений
- Бетон, металл и арматура деформируются совместно
- Работа растянутого бетона не учитывается
- Стержневая арматура приводится к непрерывно-распределенному по окружности металлу
- Напряжения в растянутой арматуре равны расчетному сопротивлению при растяжении
- Напряжения в сжатой арматуре ограничиваются предельными деформациями бетона
- Расчетное сопротивление бетона выше, по сравнению с одноосным напряженным состоянием
- Расчетное сопротивление металла трубы при сжатии ниже, по сравнению с одноосным напряженным состоянием
- Расчетные сопротивления бетона и металла трубы зависят от эксцентриситета приложения нагрузки

# **Источники опытных данных.**

## **Пределы изменения основных параметров**

- Опытные данные Кикина
- Опытные данные Санжаровского
- Подборка опытных данных разных авторов в монографии Кикина и Санжаровского
- Опытные данные Кришана и его учеников
- Подборка опытных данных разных авторов в диссертации Кришана
- Опытные данные ученика Людковского

### **Пределы изменения основных параметров образцов**

$$0.006 \leq t / D \leq 0.046$$

$$117 \leq R_b \leq 1040 \text{ кгс/см}^2$$

$$89.3 \leq D \leq 1020 \text{ мм}$$

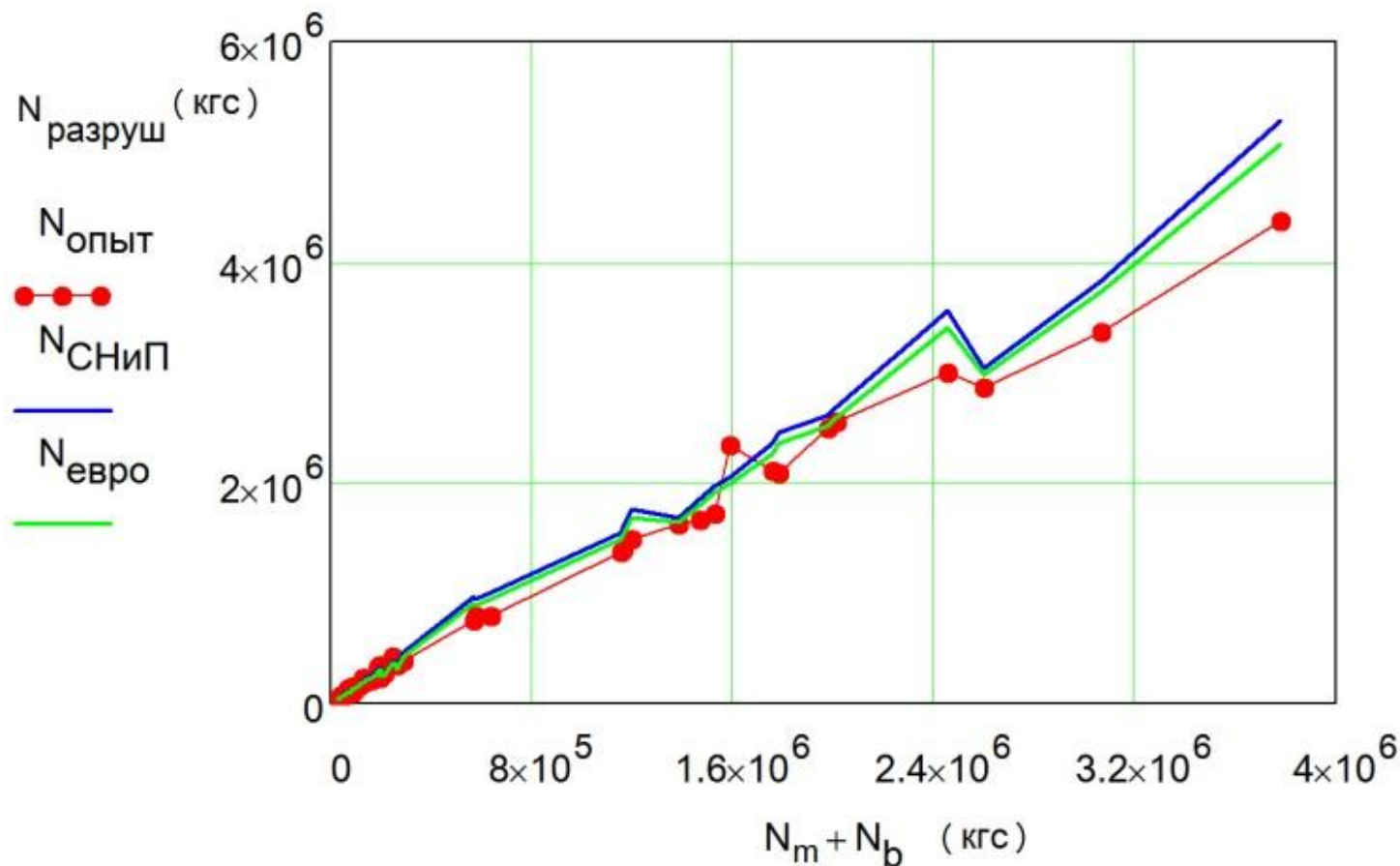
$$2250 \leq R_m \leq 4600 \text{ кгс/см}^2$$

$$0.8 \leq t \leq 13.25 \text{ мм}$$

$$0.3 \leq N_b / N_m \leq 4.6$$

$$45 \leq N \leq 4600 \text{ тс}$$

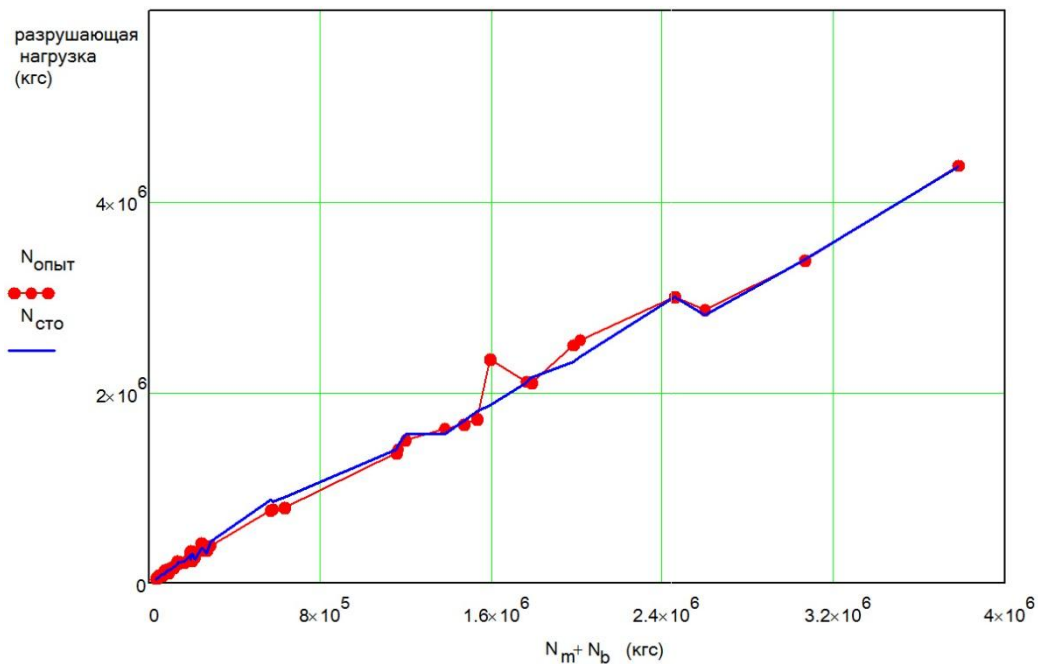
# Опытные данные для коротких центрально сжатых образцов. Сравнение со СНиП и с Еврокодом



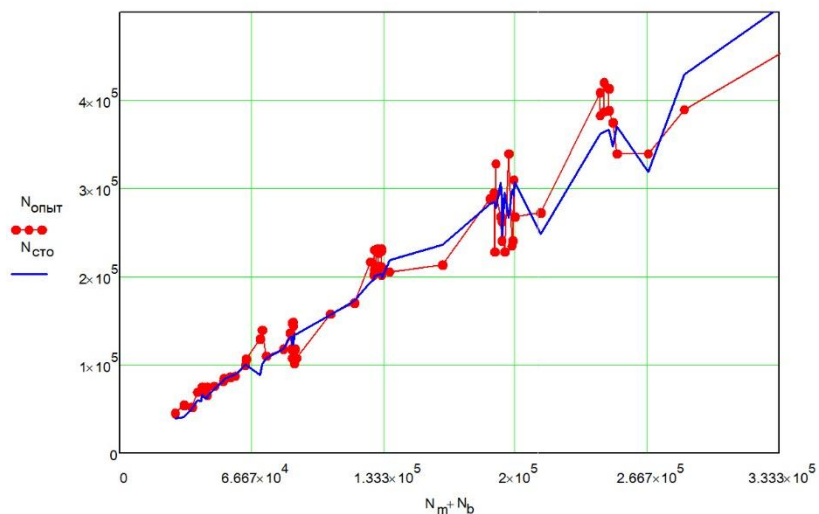
Результаты по СНиП и по Еврокоду хорошо совпадают друг с другом.  
При больших разрушающих нагрузках они дают заметные погрешности



# Аппроксимация опытных данных в СТО



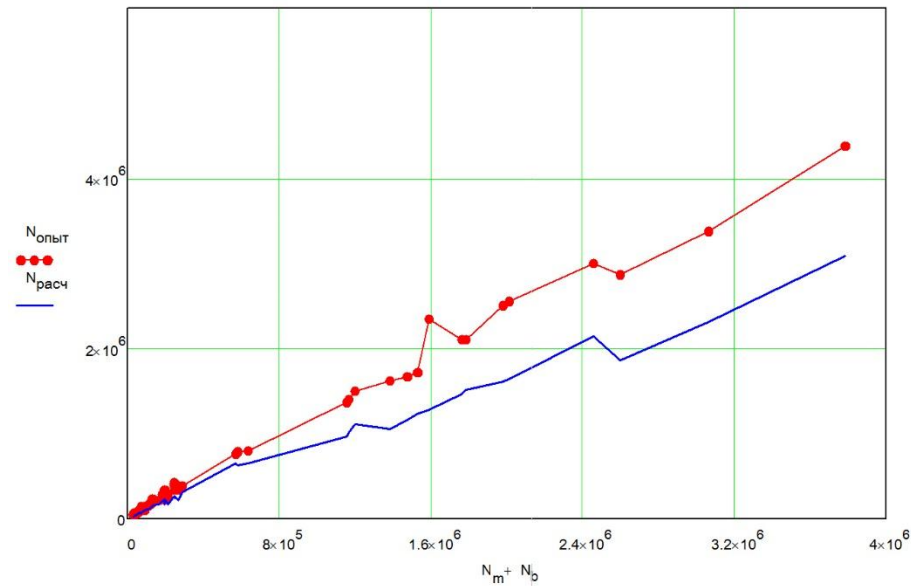
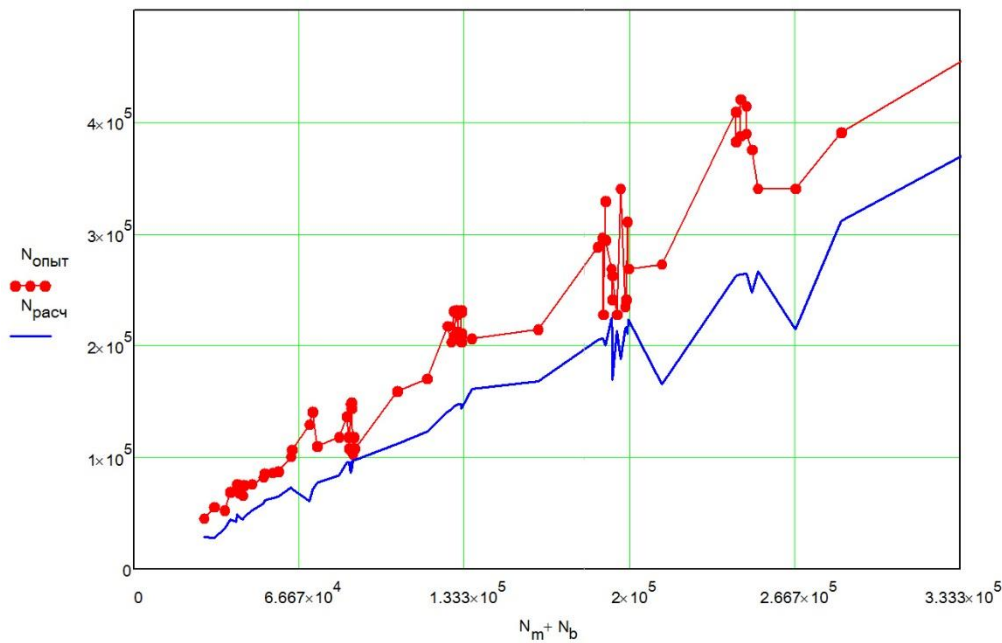
Погрешности существенно снижены по сравнению с Еврокодом и по сравнению со СНИП



Начальный участок графика в увеличенном виде

# Расчетные данные после введения коэффициентов надежности

После введения коэффициентов надежности даже без учета случайных эксцентриситетов ни одна опытная точка не выходит за пределы расчетных величин несущей способности



Начальный участок графика  
в увеличенном виде

# Расчетные сопротивления материалов

$$R_{mpc} = R_y - \frac{1}{4} R_y \left( 1 - \frac{7,5e}{D_p - 2t_p} \right) \quad \text{Расчетное сопротивление сжатой зоны металла трубы}$$

$$R_{bp} = R_b + \Delta R_b \left( 1 - \frac{7,5e}{D_p - 2t_p} \right) \quad \text{Расчетное сопротивление бетона в трубе}$$

где

$$\Delta R_b = \left( a + b e^{\frac{-1}{c}(R_m A_m + R_b A_b)} \right) \frac{t_p}{D_p - 2t_p} \cdot \frac{R_m}{R_b}$$

Расчетные сопротивления становятся равными сопротивлениям материалов при одноосном сжатии при выходе продольной силы за пределы ядра сечения ( $e > 0.25 r$ ). Это учитывается множителем

$$1 - \frac{7,5e}{D_p - 2t_p} \geq 0$$

# Расчетные формулы

Угол  $\alpha$  в радианах находят из уравнения

$$r_b^2 \left( \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right) R_{bp} + \frac{\alpha}{\pi} A_s R_{sc} - \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} \right) A_s R_s + \frac{\alpha}{\pi} A_m R_{mpc} - \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} \right) A_m R_m = N$$

Проверку прочности выполняют из условия

$$N \cdot e \leq \frac{2}{3} r_b^3 R_{bp} \sin^2 \alpha + \frac{1}{\pi} A_s r_s \sin \alpha (R_s + R_{sc}) + \frac{1}{\pi} A_m r_m \sin \alpha (R_m + R_{mpc})$$

Продольный изгиб учитывается по методике СНиП

$$e = e_0 \cdot \eta \qquad \eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$

При расчете по нелинейной модели, диаграммы деформирования материалов корректируются в соответствии с изменением расчетных сопротивлений материалов.

# Выводы

- Методика расчета колонн соответствует методике, принятой в отечественных нормативных документах.
- Расчетные формулы построены на уравнениях равновесия и полностью согласуются с принципами механики и с принципами теории железобетона
- При назначении расчетных сопротивлений материалов учтен
  - большой объем опытных данных разных авторов,
  - опыт отечественных Норм,
  - опыт Еврокода.