

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВИРТУАЛЬНОГО АРМАТУРНОГО КАРКАСА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

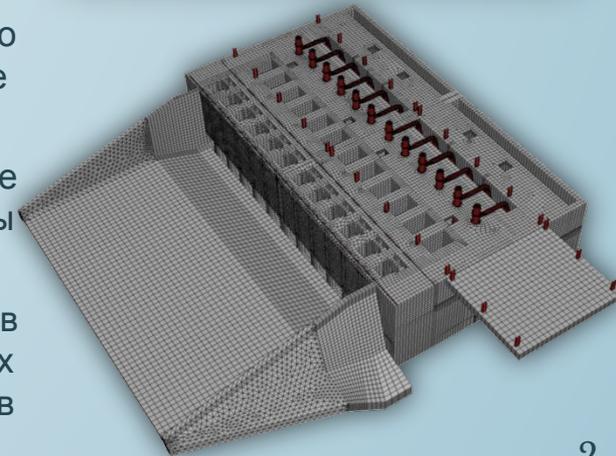
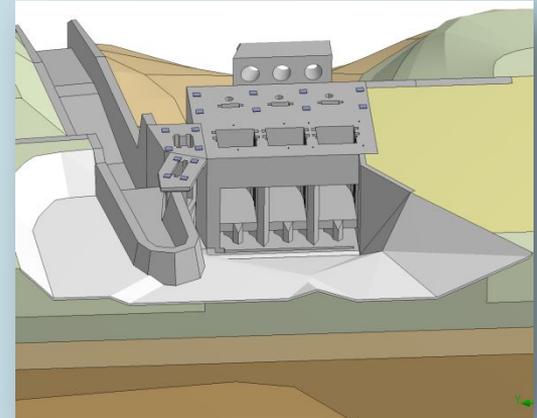
г. Дедовск, 2017 г.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМАТИКИ

При выполнении расчетов прочности железобетонных конструкций ГЭС в виде системы «сооружение-основание» возникает проблема решения задачи в условиях объемного моделирования конструкции. Основные факторы, определяющие эту проблему:

1. Переход от напряженного состояния объемного тела к силовым факторам для оценки прочности по существующим методам нормативных документов.
2. Достоверность получения результатов по этим методам, так их подход либо исходит из предпосылки простого напряженного состояния, либо сильно упрощен в угоду возможности оценки.
3. Учет перераспределения усилий в конструкции в виду ее нелинейного поведения (образование трещин) в условиях работы в системе «сооружение-основание».
4. В случае моделирования совместной работы бетона и арматуры, так же возникает вопрос достоверности получаемых результатов, в виду новизны подхода и отсутствия оценки рисков по его применению.

Ключевой проблемой можно назвать отсутствие программных комплексов способных выполнять комплексную оценку прочности железобетонных конструкций в объемной (твердотельной) постановке по нормам РФ в области гидротехнического строительства.

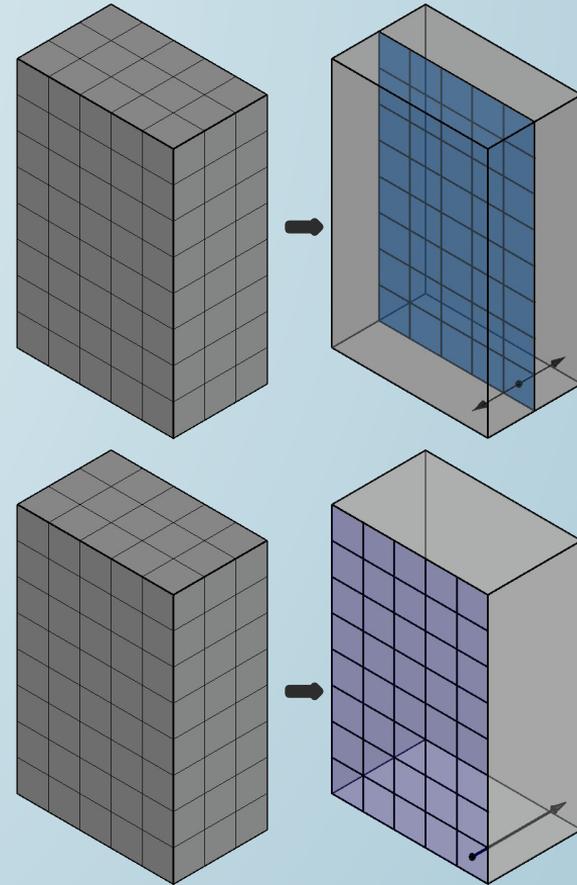


CivilFEM for ANSYS (метод эквивалентных оболочек)

В основе подхода – создание конечно элементной оболочки внутри объемного тела. Толщина оболочки и напряженное состояние определяются по траекториям проходящим через центры конечных элементов. Направления траекторий определяют по нормали к поверхности оболочки.

VIM for ANSYS (метод поверхностей армирования)

В основе подхода – создание конечно элементной оболочки на поверхности объемного тела. Толщина оболочки и напряженное состояние определяются по траекториям проходящим через центры конечных элементов. Направления траекторий определяют по локальной системе координат (ЛСК).



ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕАЛИЗАЦИИ НОВОГО ПОДХОДА

1. Создание более универсального принципа описания поверхности армирования. Отход от принципа отображения результатов расчета на конечных элементах оболочек.
2. Увеличение функциональных возможностей, особенно в контексте прозрачности выполнения расчета и оценки его результатов.
3. Создание принципов перехода от расчета массивных железобетонных тел по сечениям к нелинейному моделированию с дискретной расстановкой арматурных стержней
4. Использование платформы ANSYS Workbench.
5. Создание идеологии при которой, методы расчета сечений добавляются как модули (модульность программы).
6. Максимальное удобство для верификации и правок программы.

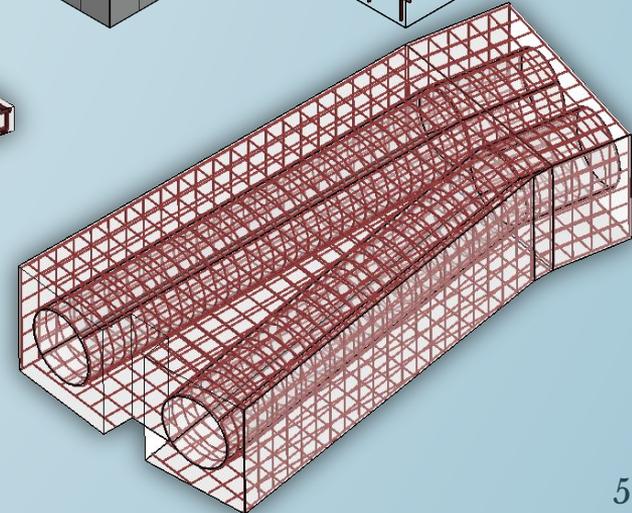
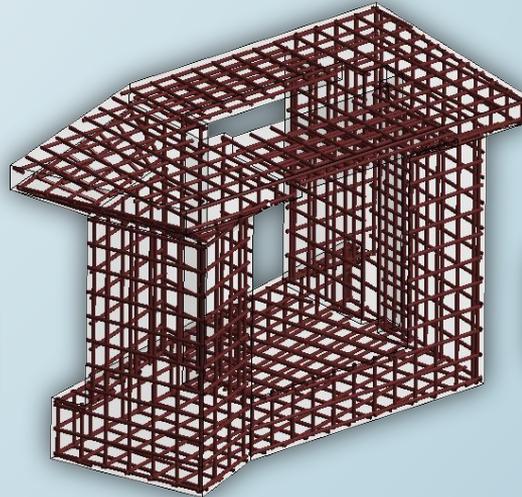
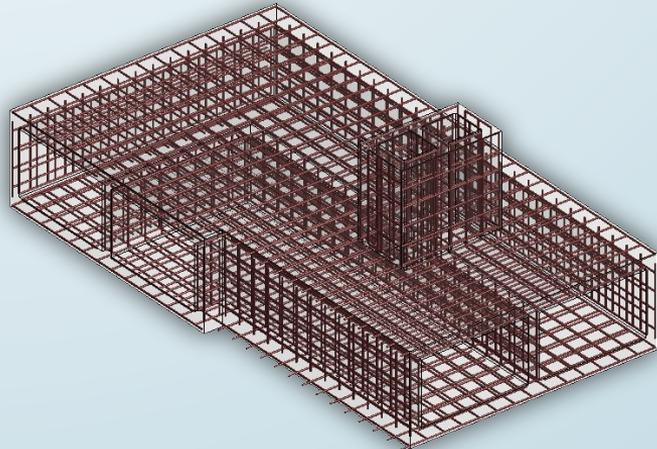
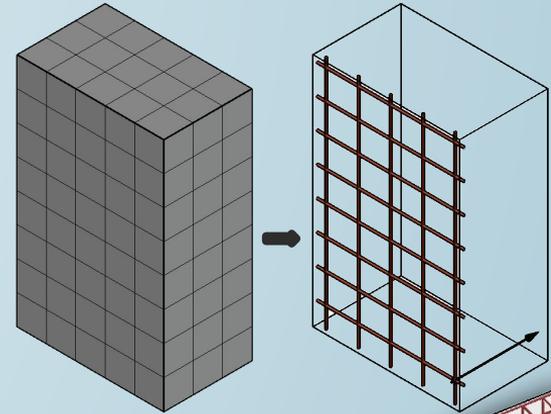


ОПИСАНИЕ МЕТОДА ВИРТУАЛЬНОГО АРМАТУРНОГО КАРКАСА (VIRTUAL REBARS METHOD)

ВЕМ for ANSYS (метод виртуального арматурного каркаса)

В основе подхода – создание виртуального арматурного каркаса (сетки) с использованием в качестве основы поверхности объемного тела. Толщины сечений и напряженное состояние определяются по траекториям проходящим через узлы пересечения виртуальных арматурных стержней. Направления траекторий определяют по нормали к исходной поверхности или по ЛСК.

Метод интегрирован в среду **Ansys Workbench** и реализован через расширение **.wbex**.

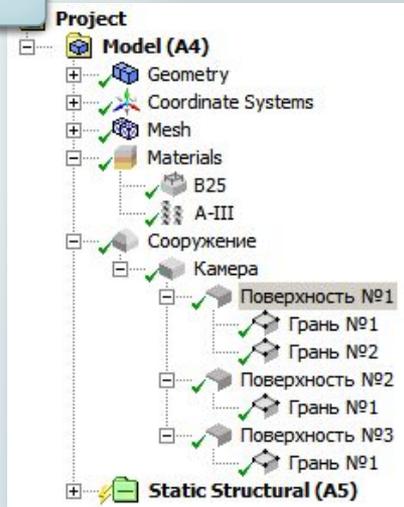


ЭЛЕМЕНТЫ ИНТЕРФЕЙСА

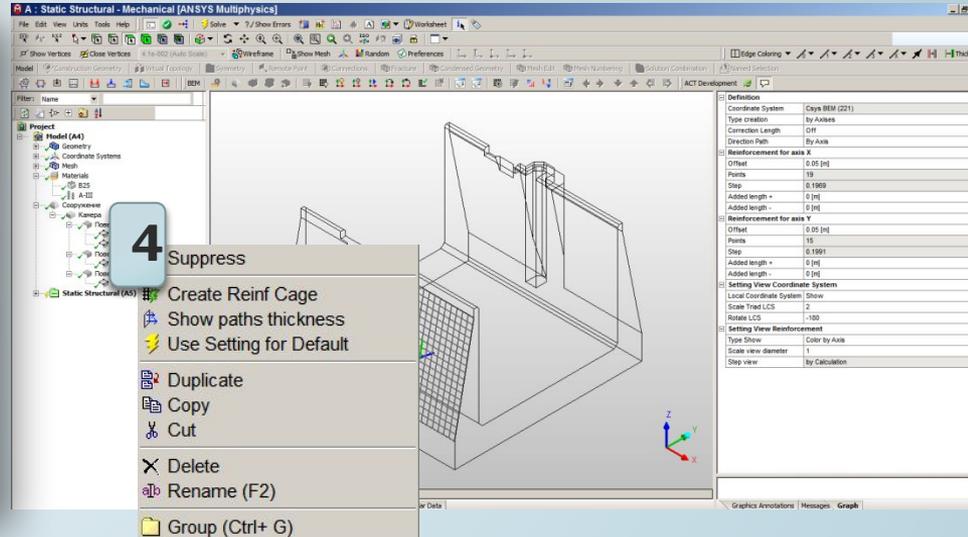
1



2



4



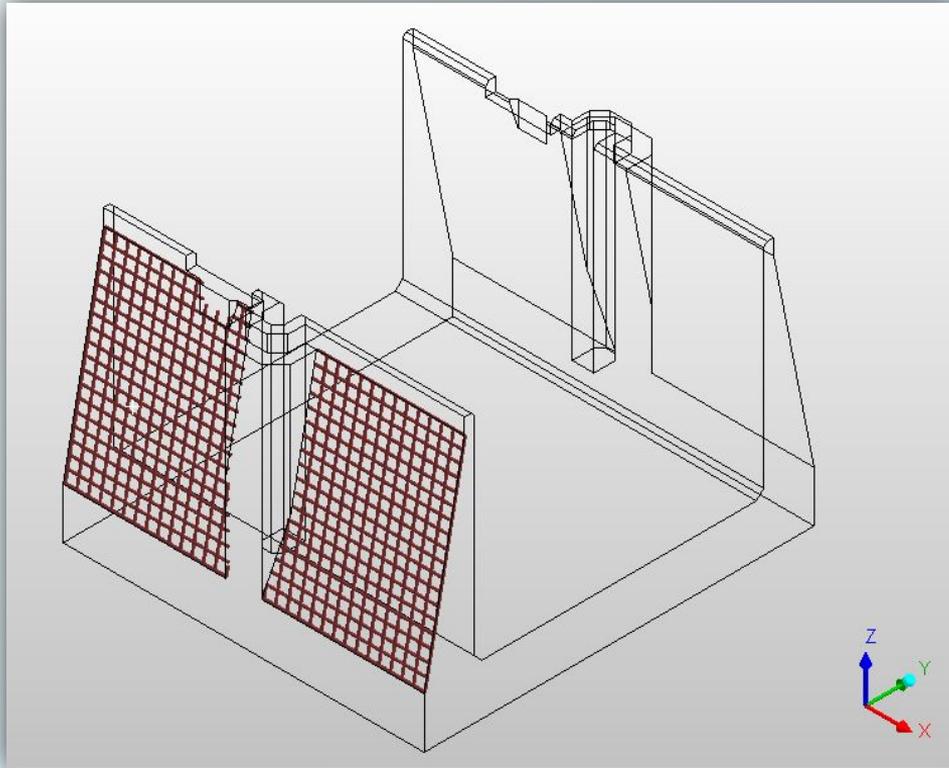
3

| Geometry | |
|---------------------------------|-----------------------|
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | 2 Faces |
| Definition | |
| Limit thickness | Restriction thickness |
| Max thickness | 1 [m] |
| Action on event | Trim |
| Interpolation Points | 7 |
| Settings reinforcement | |
| Ys | 1 |
| Scale for step | 1:4 |
| Reinforcement for axis Z | |
| Class Steel | A-III |
| Diameter, mm | 6 |
| Protective layer | 0.1 [m] |
| Step for axis Y | 0.2 [m] |
| Step for axis X | 0.2 [m] |
| Reinforcement for axis X | |
| Class Steel | A-III |
| Default diameter, mm | 6 |
| Default protective layer | 0.1 [m] |
| Default step | 0.2 [m] |
| Reinforcement for axis Y | |
| Class Steel | A-III |
| Default diameter, mm | 6 |
| Default protective layer | 0.1 [m] |
| Default step | 0.2 [m] |

Управление осуществляется с помощью следующих элементов интерфейса:

1. Панель инструментов
2. Дерево проекта
3. Окно свойств
4. Контекстное меню

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО АРМАТУРНОГО КАРКАСА



Создание виртуального арматурного каркаса состоит из следующих этапов:

1. Составление структуры сооружения в дереве проекта, с выделением отдельных конструкций и их фрагментов.
2. Для выделенного фрагмента (объемного тела) указывается поверхность.
3. Программа предлагает предварительную арматурную сетку. При необходимости, производится ее настройка и корректировка в интерактивном режиме.
4. На последнем этапе производится построение сетки, в ходе которого программа определяет траектории для каждого узла сетки и определяют расчетную толщину сечения

РАСЧЕТ УСИЛИЙ

Усилия (M и N) в узлах виртуальной арматурной сетки определяются для двух ортогональных осей X и Y в локальной системе координат. Для определения усилий по траектории между точками 1 и 2 определяются осевые напряжения в промежуточных точках (σ_i). Окончательно осевые силы (N) и моменты (M) определяются по формулам:

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} \sigma_i \Delta_i \quad M = \sum_{i=1}^{i=n} \sigma_i \Delta_i h_i$$

где

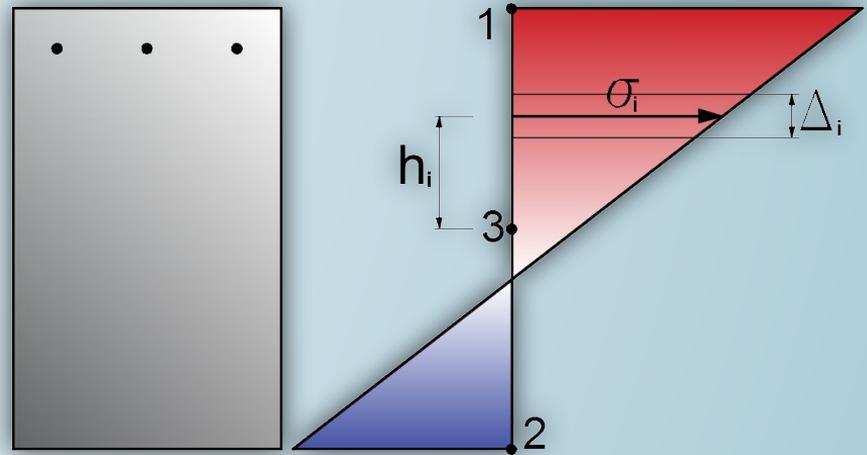
N – осевая погонная сила вдоль оси X или Y;

M – осевой погонный момент вдоль оси X или Y;

σ_i – напряжение в промежуточной точке вдоль оси X или Y;

D_i – расстояние между промежуточными точками;

h_i – расстояние от промежуточной точки до середины траектории 1-2 (точка 3).



НАСТРОЙКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОЛУЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ АРМИРОВАНИЯ

После выполнения расчетов НДС и определения силовых факторов в узлах виртуальной арматурной сетки, появляется возможность выполнить расчет армирования.

Настройки расчета армирования позволяют учитывать особенности нормативных документов, методы расчетов сечений, группы предельных состояний, потенциальное давление воды на напорной грани и пр.

Нормативные документы:

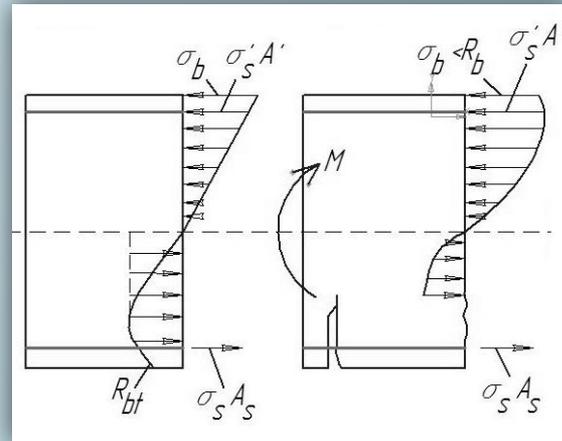
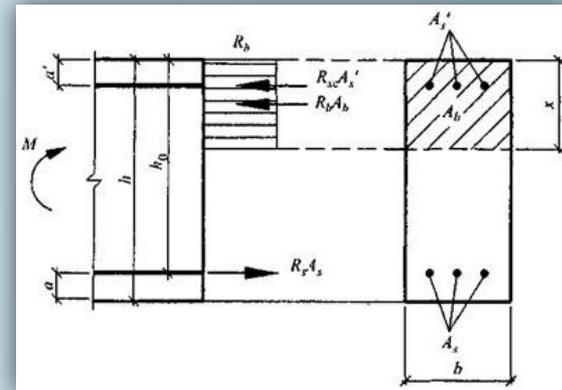
- СП 41.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений»;
- СП 52-103-2007 «Железобетонные монолитные конструкции зданий».

Методы расчета прочности нормального сечения:

- предельного равновесия;
- плоского поворота сечения (расчет на диаграмму деформирования);
- расчет по напряжениям.

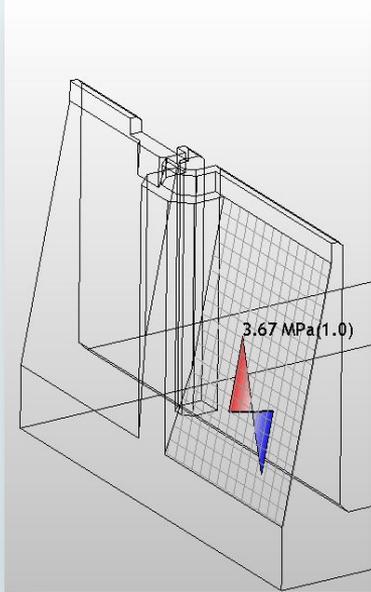
Группы предельных состояний:

- расчет по прочности сечения;
- расчет по образованию и на раскрытие трещин.

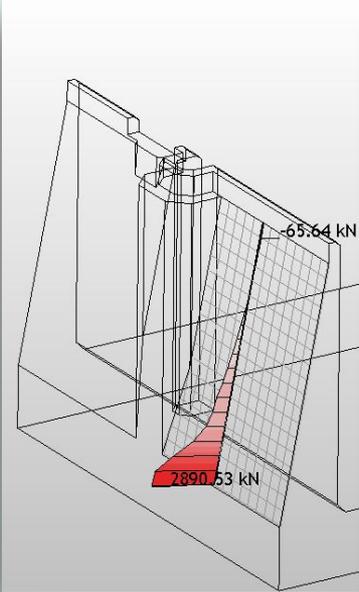


ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

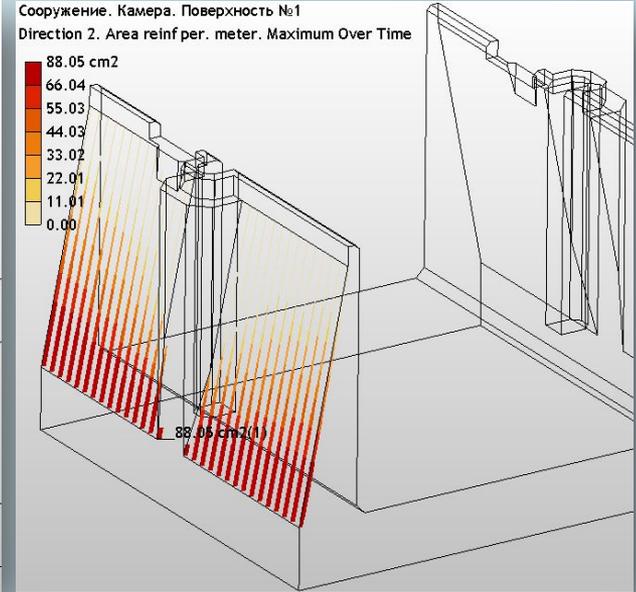
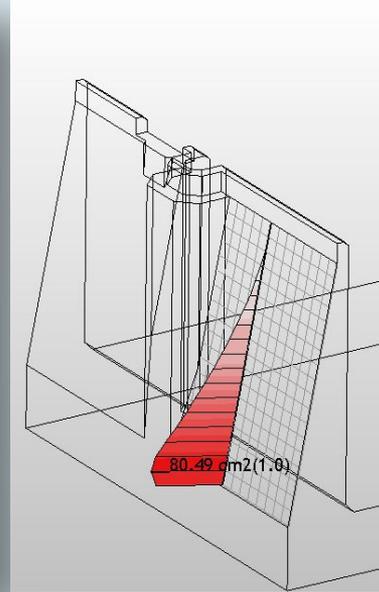
Напряжения



Усилия

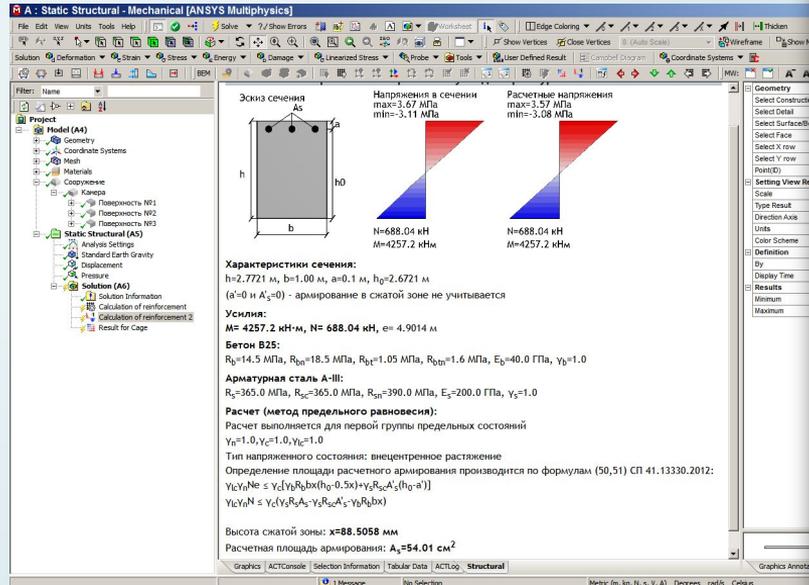


Интенсивность армирования

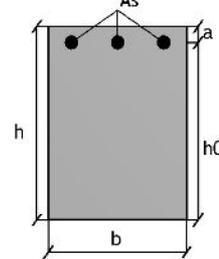


С помощью метода виртуального арматурного каркаса можно отображать на арматурных стержнях результаты расчета НДС, пересчитанные на плоскость силовые факторы (силы и моменты), а также результаты расчета армирования (погонная площадь сечения, диаметр, ширина раскрытия трещин).

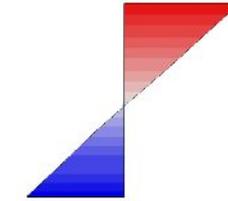
ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ



Эскиз сечения A_s

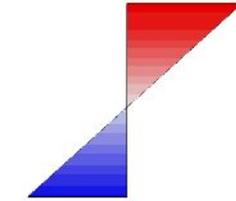


Напряжения в сечении
max=3.67 МПа
min=-3.11 МПа



N=688.04 кН
M=4257.2 кН·м

Расчетные напряжения
max=3.57 МПа
min=-3.08 МПа



N=688.04 кН
M=4257.2 кН·м

Характеристики сечения:

h=2.7721 м, b=1.00 м, a=0.1 м, h₀=2.6721 м

(a'=0 и A'_s=0) - армирование в сжатой зоне не учитывается

Усилия:

M=4257.2 кН·м, N=688.04 кН, e=4.9014 м

Бетон B25:

R_b=14.5 МПа, R_{bN}=18.5 МПа, R_{bT}=1.05 МПа, R_{bTn}=1.6 МПа, E_b=40.0 ГПа, γ_b=1.0

Арматурная сталь А-III:

R_s=365.0 МПа, R_{sC}=365.0 МПа, R_{sN}=390.0 МПа, E_s=200.0 ГПа, γ_s=1.0

Расчет (метод предельного равновесия):

Расчет выполняется для первой группы предельных состояний

γ_n=1.0, γ_c=1.0, γ_{lc}=1.0

Тип напряженного состояния: внецентренное растяжение

Определение площади расчетного армирования производится по формулам (50,51) СП 41.13330.2012

γ_{lc}γ_nNe ≤ γ_c[γ_bR_bbx(h₀-0.5x)+γ_sR_sA'_s(h₀-a')]

γ_{lc}γ_nN ≤ γ_c(γ_sR_sA_s-γ_bR_bbx)

Высота сжатой зоны: x=88.5058 мм

Расчетная площадь армирования: A_s=54.01 см²

Эффективным инструментом для верификации является протокол расчета. Он позволяет подробно оценить результаты и оформить отчетную документацию с уровнем детальности ручного расчета.

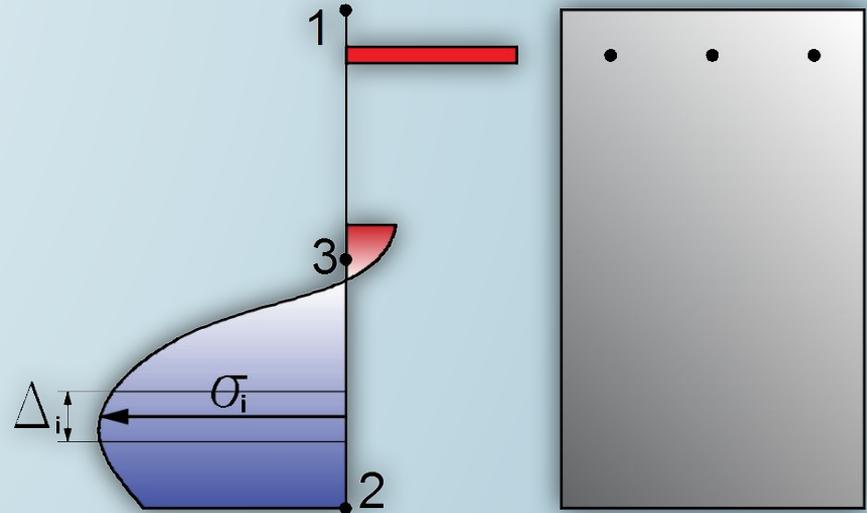
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА

На основании расчетов выполненных при линейно-упругой постановке работы ж/б может быть составлена конструктивная схема армирования.

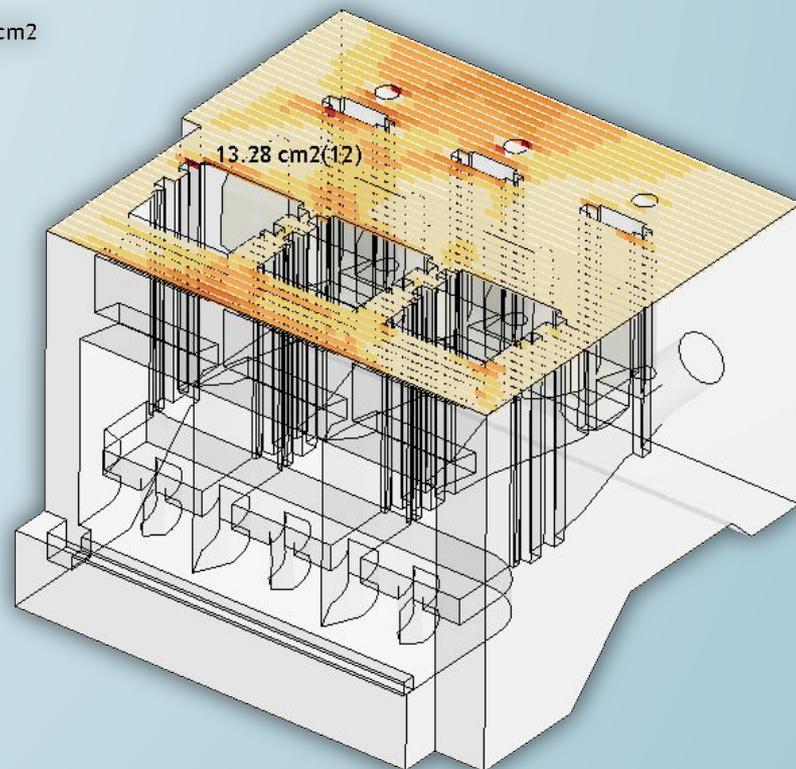
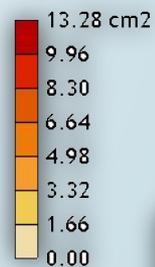
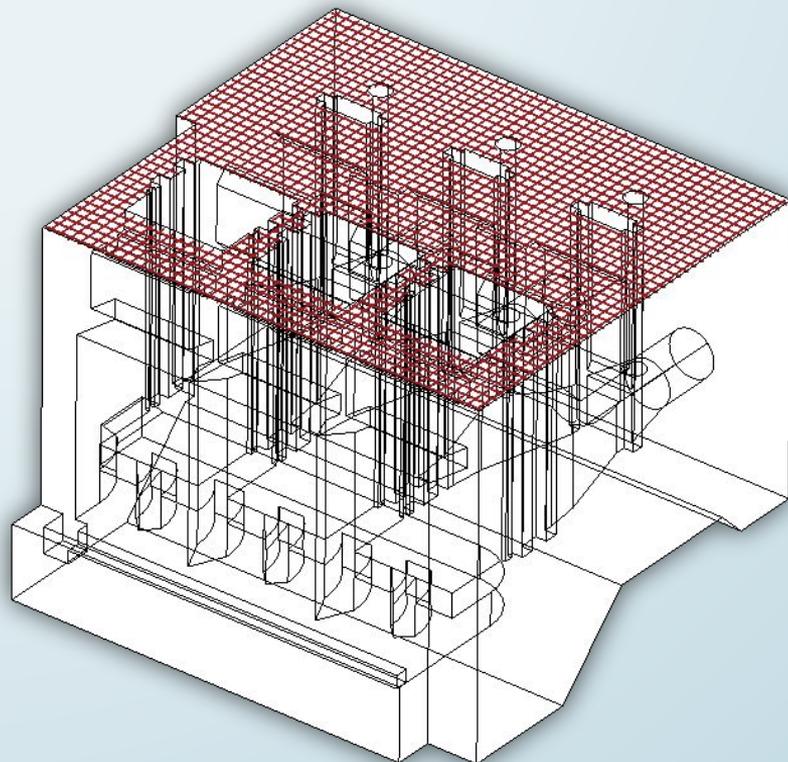
Переход от линейно-упругого тела ж/б элемента с виртуальным арматурным каркасом к физически нелинейному с дискретным расположением арматурных стержней выполняется автоматически.

Расчет армирования с помощью виртуального арматурного каркаса может быть выполнен на основании этой нелинейной модели совместной работы бетона и дискретного армирования. При этом, в отличие от расчетов с использованием линейно-упругих свойств бетона, усилия определяются как сумма двух компонент:

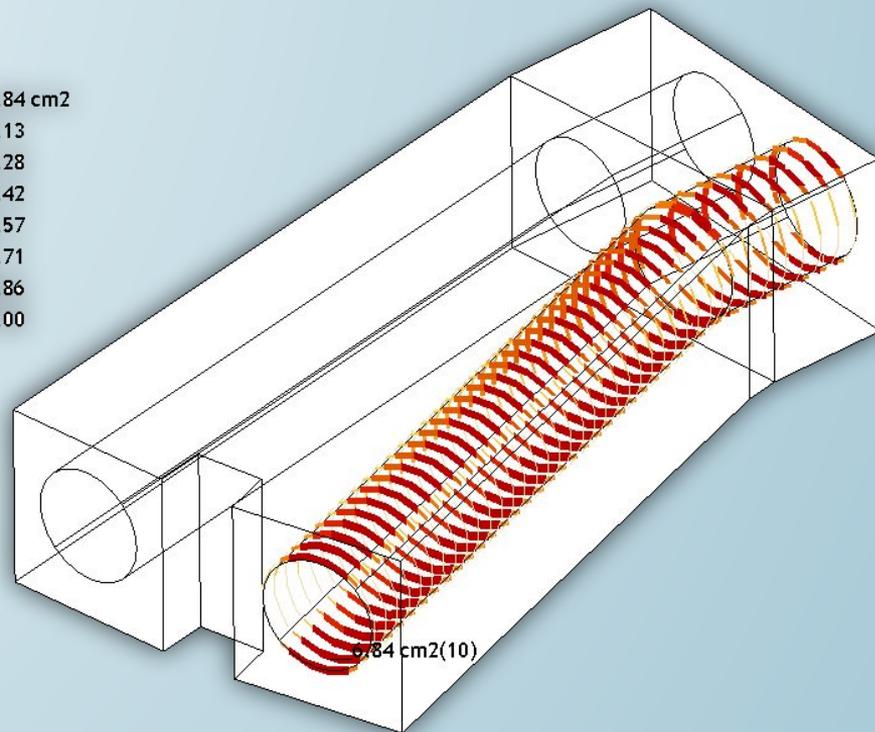
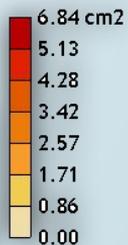
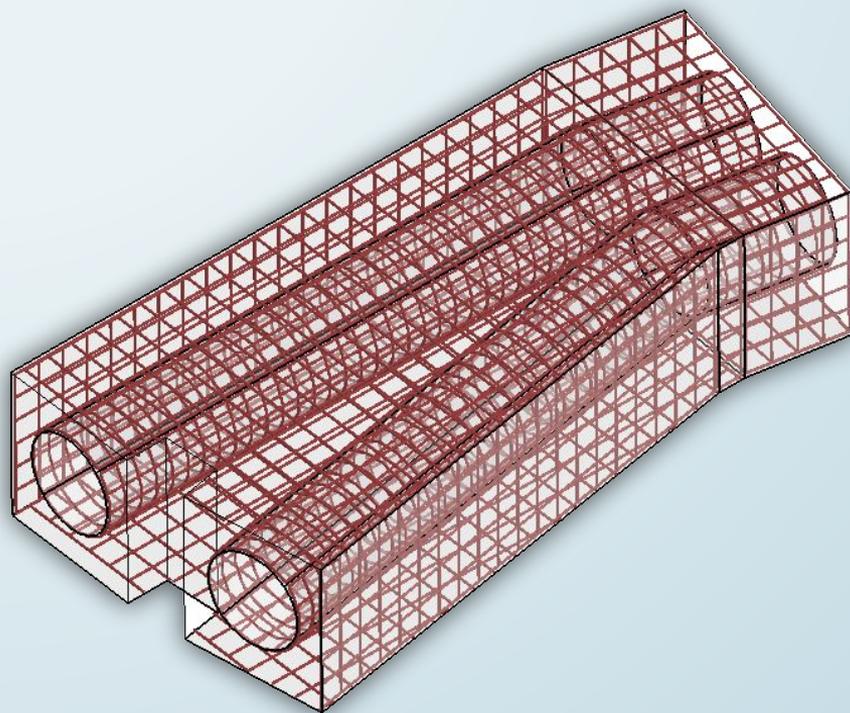
Таким образом, достигается взаимосвязь между расчетами и моделированием поведения железобетона на одной модели сооружения или конструкции.



Водоприемник ГЭС



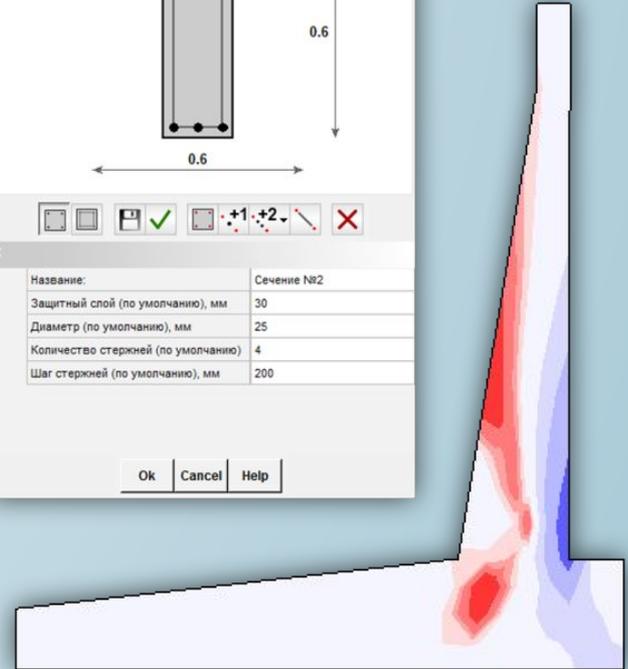
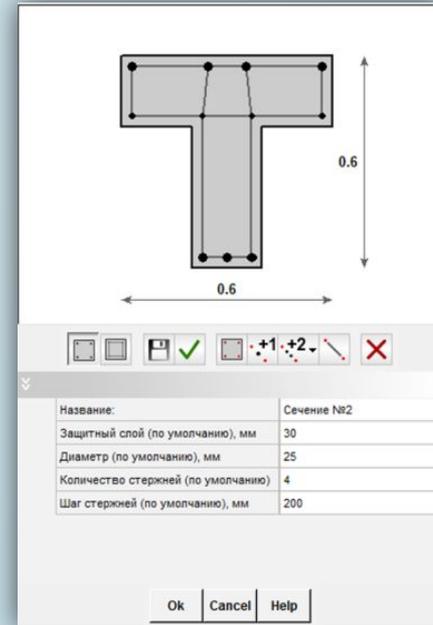
Гидротехнические конструкции АЭС

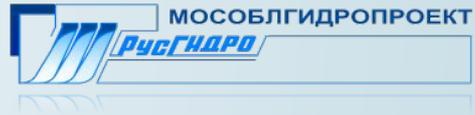


НАМЕЧЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДА

В связи с накопленным практическим опытом использования метода, намечены дальнейшие пути развития:

- добавление технологии перехода от напряженного состояния объемного тела к эквивалентной балочной схеме;
- добавление технологии расчета по наклонным сечениям;
- получение практических результатов и развитие в направлении расчетов с учетом физической нелинейности материалов и дискретного расположения стержней армирования;
- создание объекта «область армирования» для возможности более гибкого учета результатов расчета;
- расширение списка нормативных документов;
- дальнейшее совершенствование подходов к созданию арматурного каркаса и форм вывода результатов расчета.





БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

ул. Энергетиков, д.1, г. Дедовск, Истринский р-н, Московская область, 143532
Тел.: +7 495 994 81 73 / Факс: +7 495 992 38 99

e-mail: info@hydroproject.com