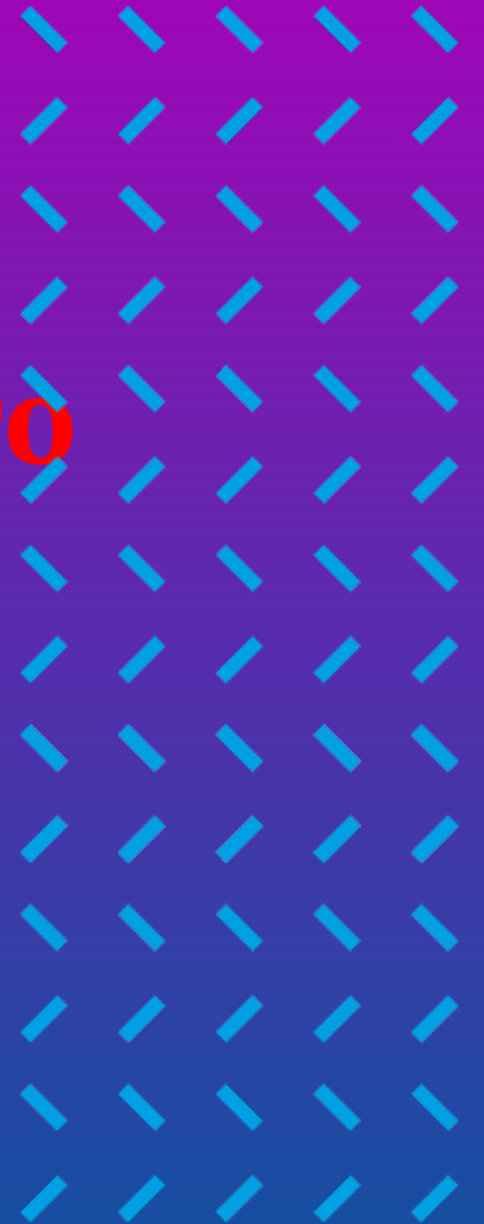




Расчет термонапряженного состояния массивных железобетонных конструкций

Иванов Сергей Ильич

АО «НИЦ «Строительство»



Цель расчета термонапряженного состояния (ТНС) – **предотвращение образования термических трещин**



Технологические мероприятия:

- подбор параметров бетонной смеси (начальная температура, состав бетона) ;
- подбор способа и последовательности бетонирования;
- подбор режимов ухода за конструкцией в период набора прочности.



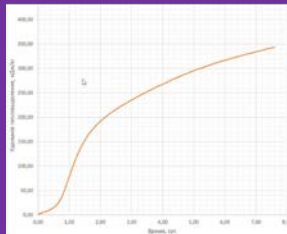
Конструктивные мероприятия:

- дополнительное армирование;
- корректировка (увеличение прочности на растяжение) бетона локальных участков;
- разбивка на захватки бетонирования.

Основные факторы увеличения точности расчетов:



- определение фактических физических характеристик бетона



- уточнение фактических граничных условий



- калибровка моделей тепловыделения и теплоотдачи на тестовых моделях



Подготовка расчетной модели, выполнение расчетов ТНС:

Расчет распределения температуры с учетом фактических характеристик бетона и фактических граничных условий:

- Использование натуральных тестовых моделей разогрева бетона
- Использование прогнозных моделей и баз данных многолетних климатических наблюдений для региона строительства

Расчет напряжений в бетоне и сравнение с критерием трещиностойкости:

- Учет реологических свойств (ползучести) бетона по методике EN 1992-1-1 (коэффициент ползучести $\phi(t, t_0)$ к модулю упругости в зависимости от возраста)

$$\sigma = f(t, E_b(\tau, t), \phi(\tau, \tau_0))$$

- Критерий трещиностойкости:

$$R_{ult} = R_{bt,n}(\tau, t, x, y, z) + 30 \text{ МПа} \cdot \mu(x, y, z)$$

- Визуализация и анализ эпюр разности растягивающих напряжений и критерия трещиностойкости:

$$\sigma - R_{ult} > 0$$

Основные этапы анализа ТНС

определение фактических физических характеристик бетона и граничных условий

Экзотермия состава бетона

λ [Дж/с°См]
 C [Дж/°См³]
 α [Вт/м°С]

Усадка бетона

от 7
рабочих дней

Подготовка расчетной модели, выполнение расчетов термонапряженного состояния (ТНС)

ВМ – модель сооружения

ATENA
5.6.9

ANSYS
18.0

при наличии откалиброванных моделей – 2 рабочих дня

Отчет по результатам расчета

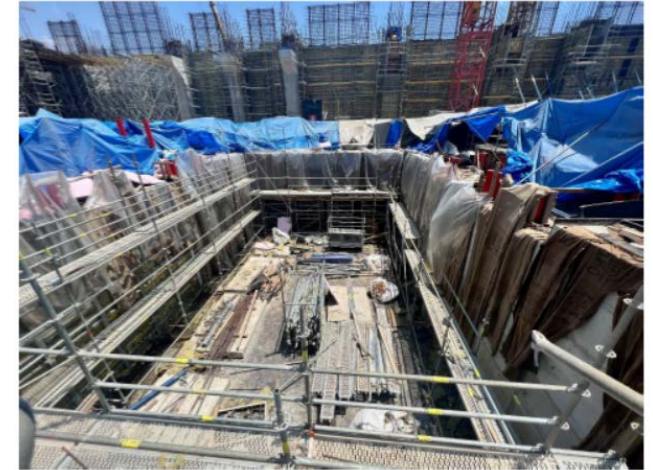
1 рабочий день

Выводы:

1. Термическая трещиностойкость ЖБК обеспечивается при выполнении научно технического сопровождения проектирования (разработка регламентов и технологических карт бетонирования) и научно технического сопровождения строительства (сопровождение бетонирования, мониторинг температур в сечении в период набора прочности, мониторинг соблюдения требований по уходу за бетоном).
2. Применяемая методика расчета ТНС достоверна, что подтверждается совпадением фактических температур с теоретическими значениями.
3. Повышение точности расчета достигается за счет применения калибровочных моделей и учета в расчетах фактических параметров бетонной смеси и ухода за конструкцией.
4. Снижение трудоемкости расчетов обеспечивается за счет использования современных инструментов цифровизации.

Здания и сооружения, для которых НИИЖБ им. А.А. Гвоздева выполнял расчет ТНС массивных конструкций:

- Ростверк фундамента энергоблока Белоярской АЭС
- Балки турбоагрегата АЭС АККУЮ (5,5x4,5 м)
- Ростверк фундамента башни «Лахта-центра» (h=3,6м)
- Ростверк здания в г. Москве, пр-т Жукова (h=3,5м)
- Фундамент здания в г. Москве, пр-т Мичуринский (h=5,25м)
- Ростверк футбольного стадиона в г. Ростове-на-Дону (h=5,25м)
- Фундаментная плита блока №9 «Национального космического центра»
- Фундамент здания в г. Москве, ул. Ак. Королева (h=3м)
- Фундаменты Тюменской ТЭЦ
- Распределительная плита резервуара хранения этана Амурского газохимического комплекса
- и др.

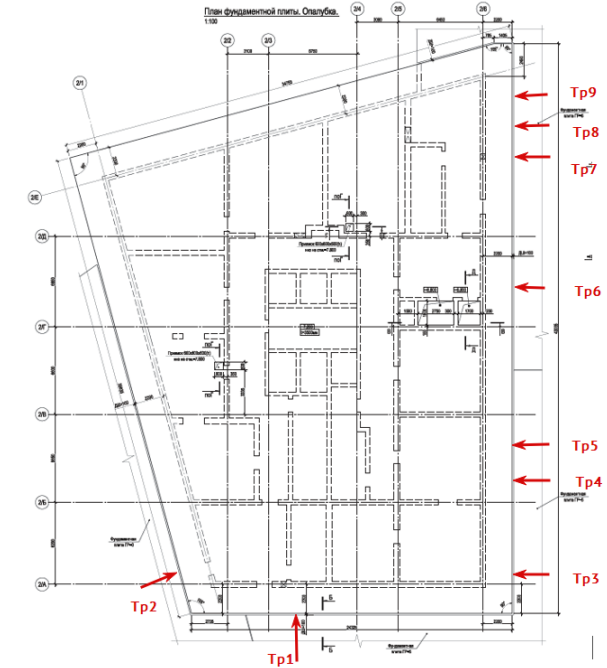
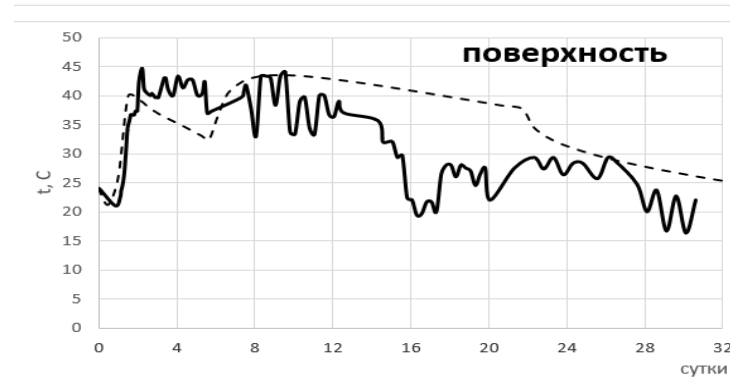
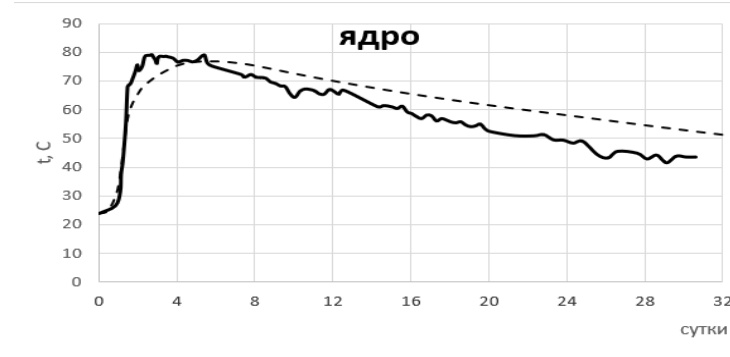
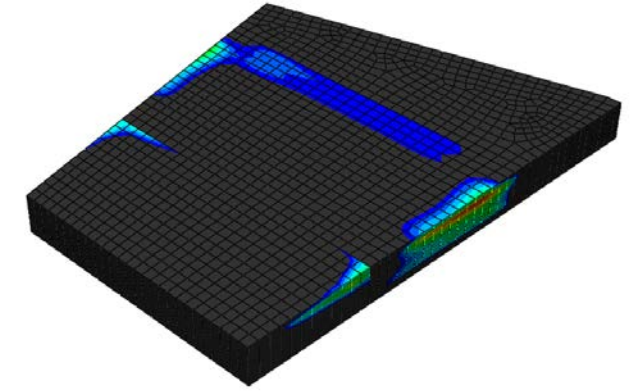
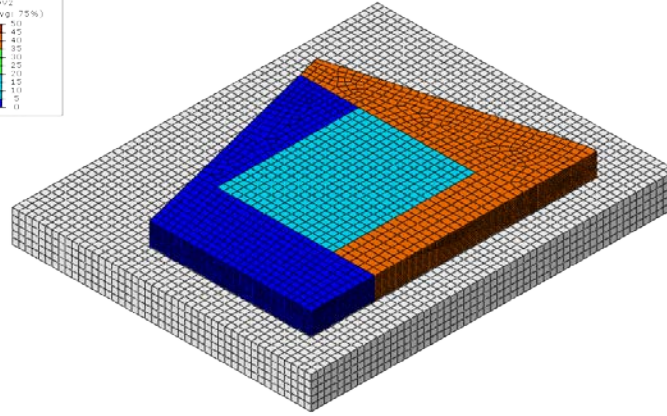
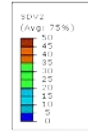
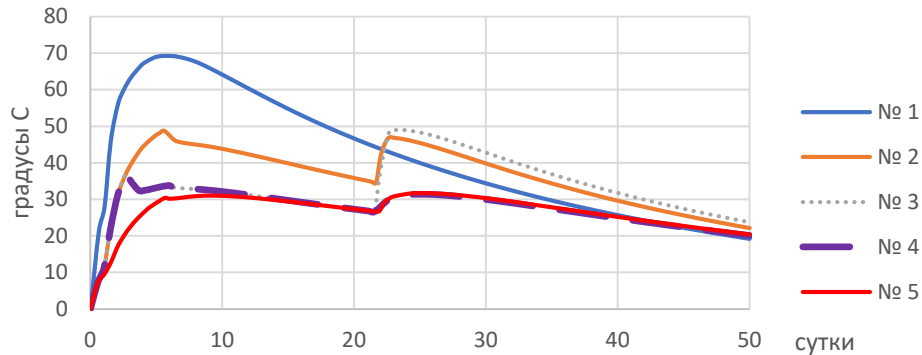


Ростверк здания (61эт, $h_{фп}=3,5$ м) по пр. Жукова, г. Москва (НТСС проектирования)

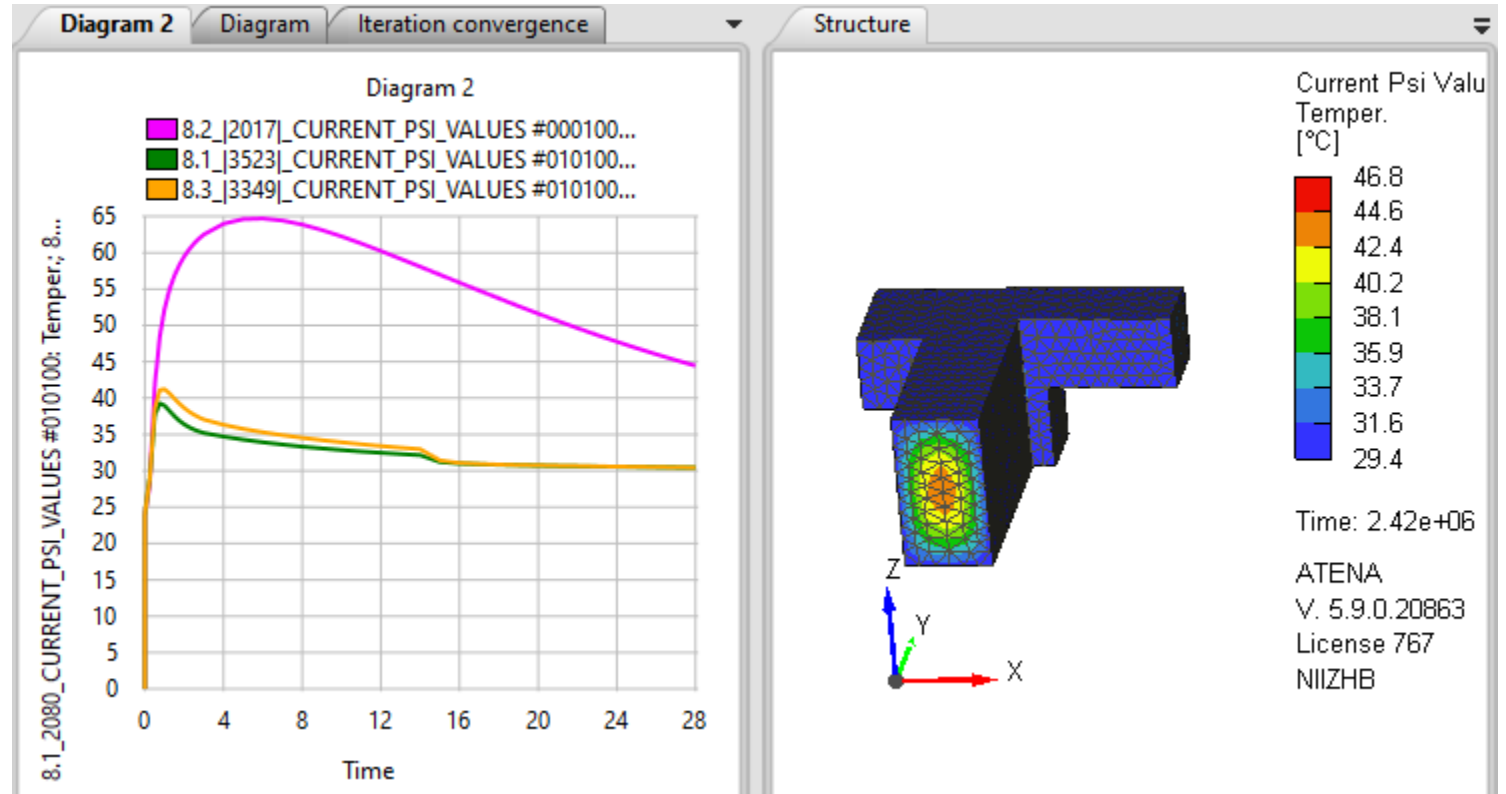
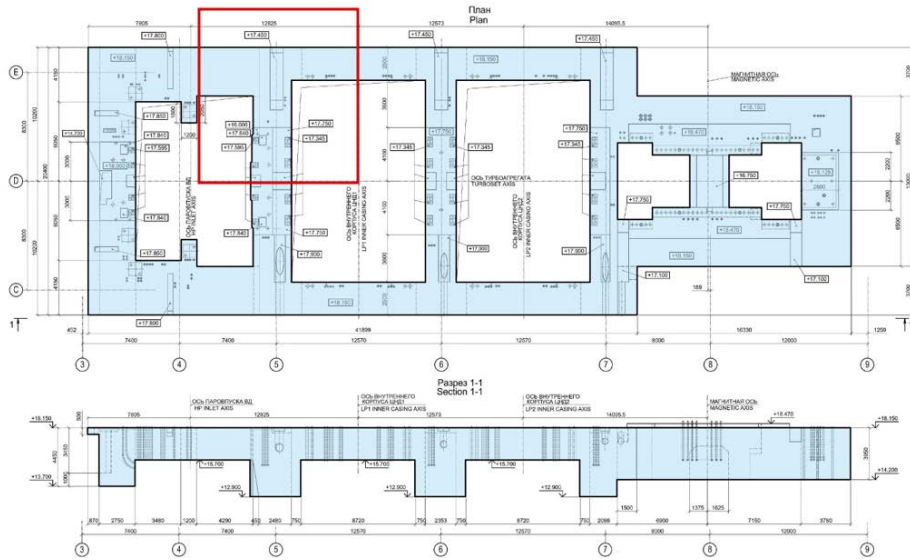
Режимы ухода за бетоном:

1. Без ухода
2. В тепляке 6 суток, затем укрытие теплоизоляцией и демонтаж тепляка. Удаление теплоизоляционных материалов на 22-ые сутки
3. В тепляке 6 суток, на 3-е сутки укрытие теплоизоляцией. Удаление теплоизоляционных материалов на 22-ые сутки
4. То же, с укрытием доп. слоем после демонтажа тепляка на 6 сутки, с укрытием теплоизоляцией до 50 суток.
5. В тепляке 6 суток, на 1-е сутки укрытие теплоизоляцией. На 6-е сутки укрытие доп. слоем. Удаление теплоизоляции на 50-ые сутки.

Рассчитанный температурный перепад между верхней поверхностью и ядром для технологических режимов:



Балки фундамента турбоагрегата АЭС Аккую (НТСС строительства)



Спасибо за внимание