

# Компьютерное моделирование процессов зимнего бетонирования фундаментной плиты

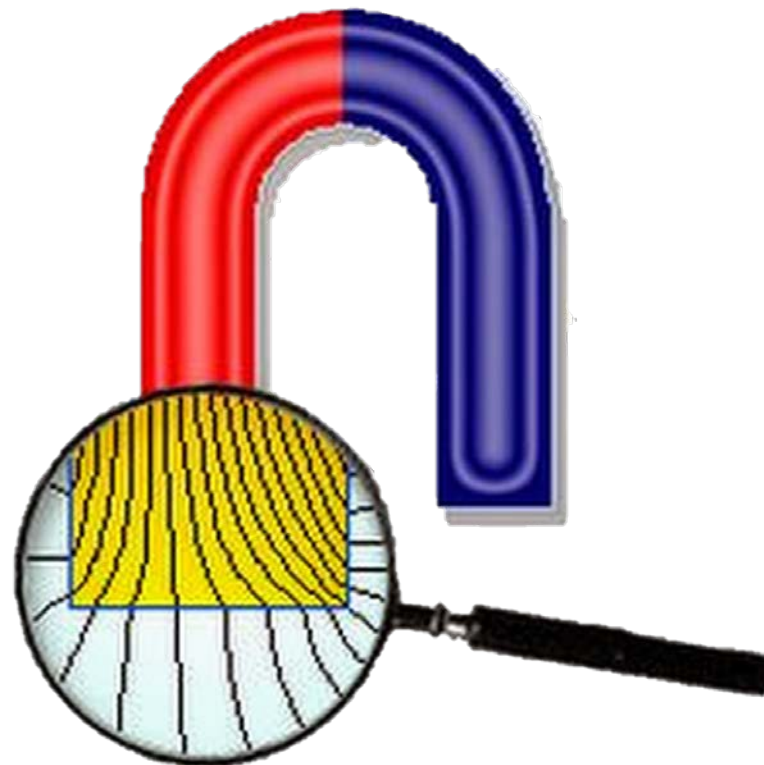
Иванькова Екатерина Андреевна

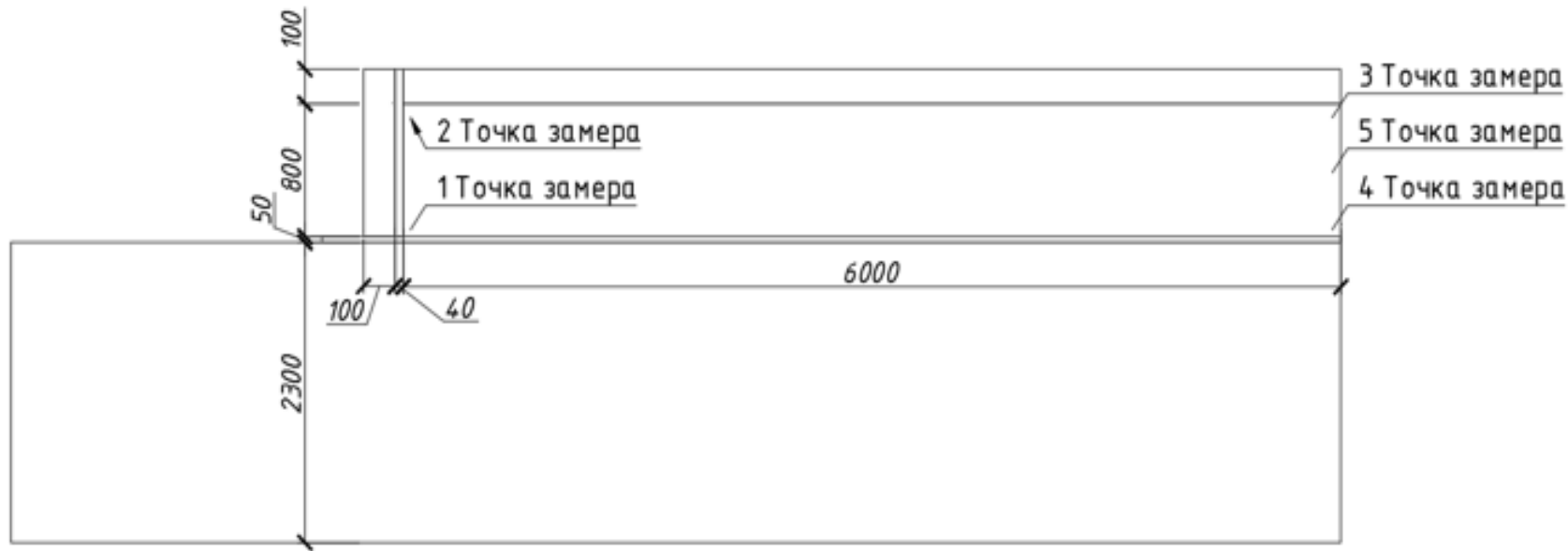
award.29@yandex.ru



Бетонные работы в зимних условиях требуют специальной организации в силу отрицательного влияния низких температур на свойства бетонов.

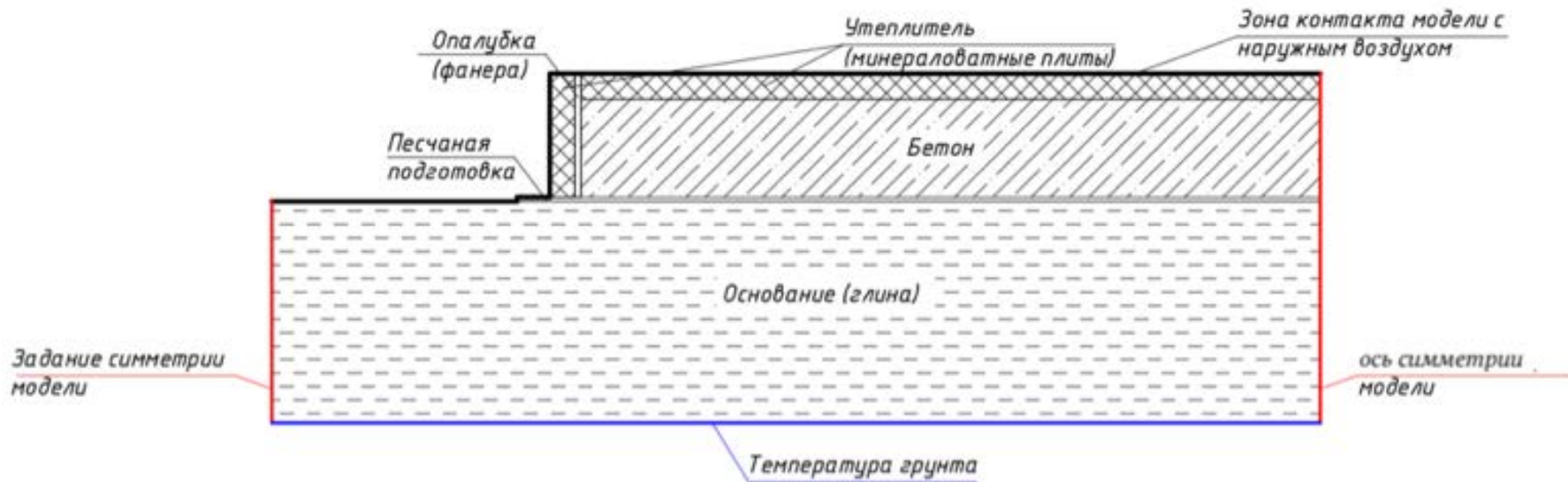
Программа «ELCUT», разработанная российской компанией ООО «Тор», является инструментом в решении таких задач на основе метода конечных элементов. В «ELCUT» реализована возможность выбора разнообразных источников тепловой энергии, материалов и климатических условий зимнего бетонирования. Так же программа оснащена надстройкой WinConcret для расчета температурных полей, анализом характера их распределения с последующим построением графиков прочности бетона, а также возможностью определения температурных деформации в процессе термообработки бетона. Дополнительно надстройка WinConcret позволяет учесть теплоту от реакции гидратации цемента. Экзотермия цемента задается функцией от времени и температуры. Учитывая достоинства программы «ELCUT» моделирование проводилось с её использованием.





Поперечное сечение моделируемого фундамента  
с основными размерами

Для моделирования выбрана фундаментная плита с размерами 16x12x1 м. В качестве опалубки принята фанера толщиной ( $\delta$ ) - 0,04 м, а для утепления использовались минераловатные маты толщиной от 100 до 250 мм. Прогрев конструкции осуществляется нагревательным проводом марки ПНСВ, диаметром ( $d$ ) - 1,6 мм; удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ) - 0,157 Ом·мм<sup>2</sup>/м., шаг, длина отрезков провода и мощность варьировались в зависимости от условий выдерживания.



### Модель стационарной задачи

Первым этапом моделирования является решение стационарной задачи для определения начальных условий расчета, т.е. производится расчет температурных полей бетонируемых элементов сразу после укладки бетона. Второй частью моделирования является решение нестационарных задач с заданным интервалом и построением температурных полей.

Стационарная задача предназначена для задания начальных температурных условий, т.е. при выдерживании конструкции в начальный момент времени. В связи с тем, что стационарная и нестационарная задачи между собой будут связаны, то геометрические модели в обеих задачах должны быть аналогичными.



### Моделирование температурного поля конструкции перед началом прогрева

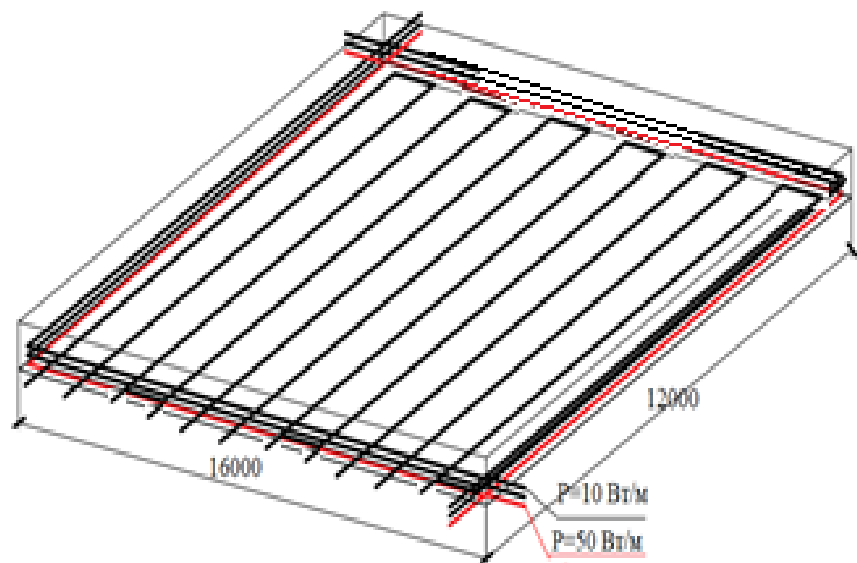
В ходе исследования моделирование процессов твердения монолитной фундаментной плиты осуществлялось для температуры самой холодной пятидневки ( $-43^{\circ}\text{C}$ ) и среднезимней температуры ( $-19,5^{\circ}\text{C}$ ) г. Братска.

В результате расчёта получено температурное поле перед началом прогрева с учётом теплотехнических свойств материалов

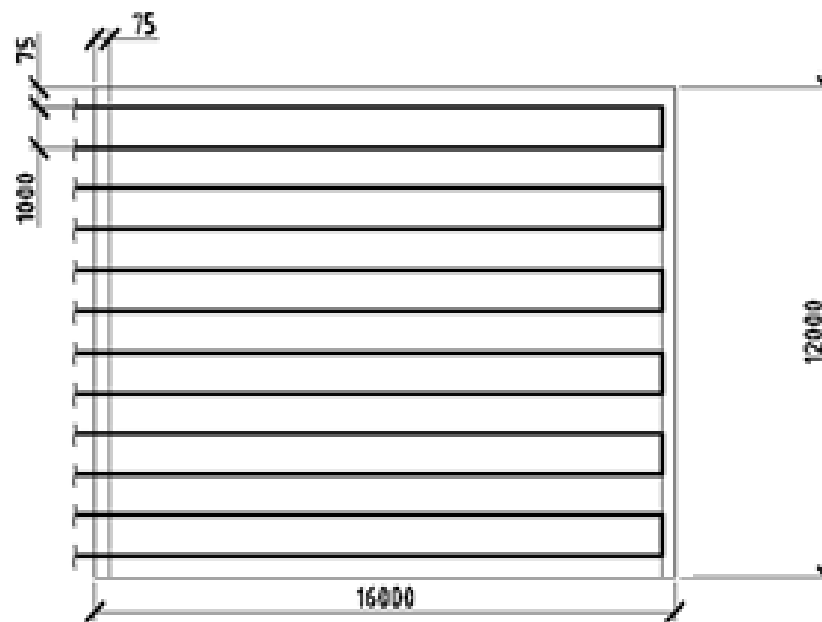


Для температуры самой холодной пятидневки ( $-43^{\circ}\text{C}$ ) принят метод бетонирования «регулируемый термос», при котором по торцевым и горизонтальным поверхностям конструкции укладывается нагревательный провод ПНСВ с мощностью  $40\text{ Вт/м}$  (рис. 4). Моделированием установлено, что требования по трещиностойкости обеспечиваются при следующих условия монтажа нагревательного провода: шаг раскладки -  $0,15\text{ м}$ , длина куска -  $29,8\text{ м}$ . Требуемое условие по перепаду температур до  $20^{\circ}\text{C}$  в фундаментной плите выполняется при использовании для утепления минероловатных плит толщиной  $150\text{ мм}$ .

а)



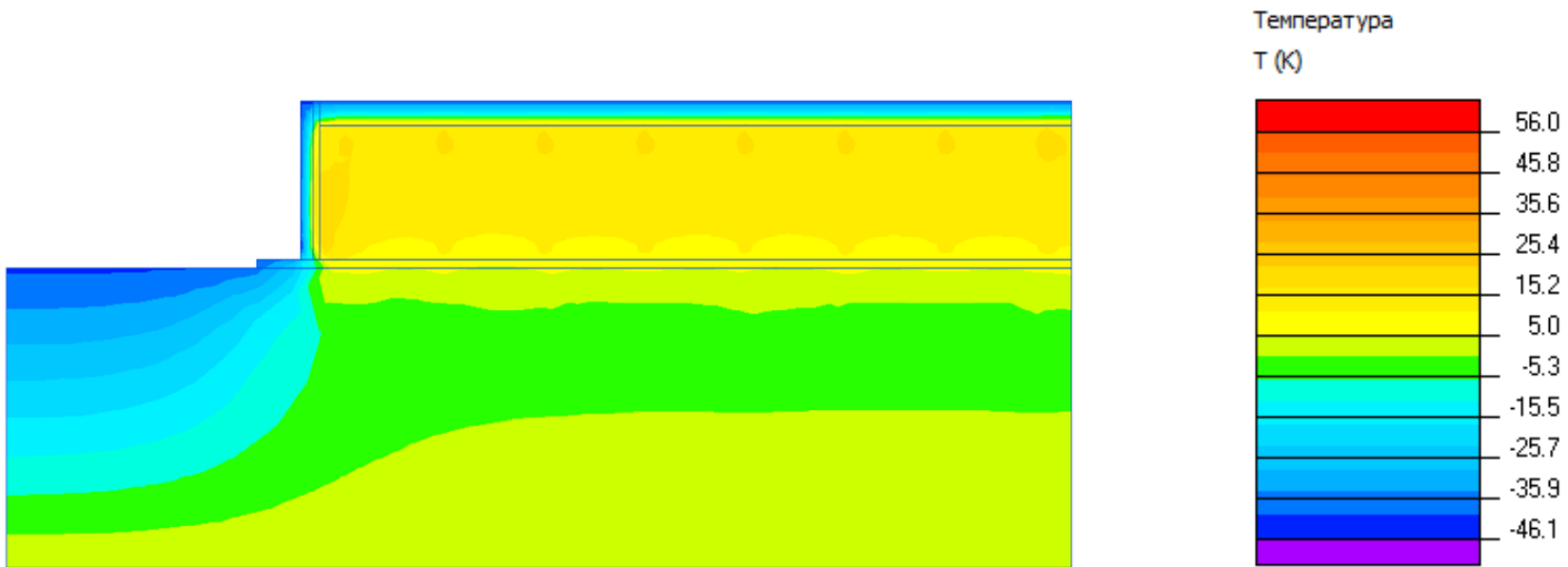
б)



а - общий вид раскладки провода; б - схема раскладки провода по верхней и донной поверхностям плиты

Схема раскладки нагревательного провода для условий самой холодной пятидневки в г. Братске





Температурное поле конструкции при толщине утеплителя  
150 мм (перепад температур по сечению составил 14°С)

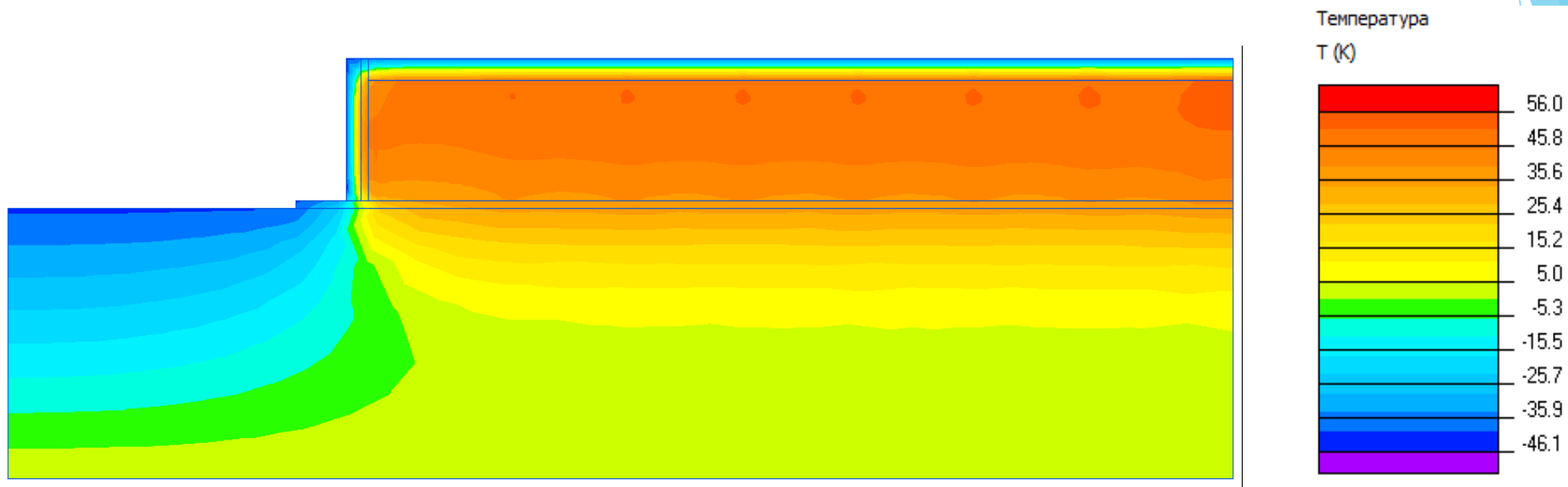


Рисунок 8 - Температурное поле конструкции при толщине утеплителя 50 мм (перепад температур по сечению составил  $8,3^{\circ}\text{C}$ )

При среднезимней температуре окружающего воздуха ( $-19,5^{\circ}\text{C}$ ), как показало моделирование, метод термоса обеспечивает твердение фундаментной плиты без дополнительного обогрева нагревательным проводом с минераловатным утеплителем толщиной 50мм.

Компьютерное моделирование с использованием программы «ELCUT» на примере фундаментной плиты позволило оперативно подобрать режим тепловой обработки для экстремальных и средних зимних температур в г. Братске за счёт изменения толщины теплоизоляционного слоя опалубки и мощности нагревательного провода. Полученные результаты позволяют прогнозировать опасность появления температурных напряжений из-за критического перепада температур в контролируемых точках для обеспечения требований по трещиностойкости.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ