

## **ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА БЕТОНА МОНОЛИТНОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ С ПОМОЩЬЮ ПО «ELCUT»**

*М.В. Молодцов, Г.А. Пикус, А.Е. Русанов*

Рассмотрен опыт авторов статьи в моделировании режимов электропрогрева бетона и связанных с ним тепловых полей по сечению монолитной фундаментной плиты под жилой 10-ти этажный дом. Представлены решения, в основу которых легли технологические особенности возведения данной конструкции.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, тепловые поля, нагревательный провод, перепад температур.

Процессы производства бетонных работ на строительной площадке практически на всей территории России выполняются не только в летний, но и в зимний период года. С этим связаны большие расходы на термообработку бетона монолитных конструкций. Современная экономическая ситуация диктует требования к энергосбережению, что в свою очередь приводит к потребности в качественных проектных решениях организационно-технологической деятельности подрядных организаций.

Повысить эффективность проектных решений зимнего бетонирования на современном этапе возможно с помощью использования компьютерного моделирования тепловых полей, основанного на методе конечных элементов. В последнее время все большую популярность среди программно-обеспечения в области зимнего бетонирования приобретает компьютерная программа "ELCUT". Несмотря на то, что данная программа решает двумерные задачи, она может быть полезна для большинства строительных конструкций.

Для выполнения теплотехнических расчетов, приведенных в статье, использовалось ПО "ELCUT" версии 6.0 (разработчик ООО "ТОР", г. С-Петербург). Расчеты выполнялись в нестационарном режиме с учетом изменения экзотермии цемента во времени.

Авторами статьи была разработана технологическая карта на прогрев монолитной железобетонной фундаментной плиты 1-ой очереди 10-ти этажного жилого дома комплекса жилых домов с встроенным магазином и подземной автостоянкой в Калининском районе города Челябинска. Монолитная железобетонная фундаментная плита высотой 1200 мм сложного в плане очертания общей площадью 941,3 м<sup>2</sup> и объемом бетона 1130 м<sup>3</sup> бы-

ла разделена на 3 захватки бетонирования. Расчетная температура воздуха в декабре месяце принята  $-25,8^{\circ}\text{C}$  [1].

Особенностью проекта на фундаментную плиту было требование проектировщика обеспечить укладку следующих порций бетона с разницей во времени не превышающей 2 часа. Поэтому каждая захватка была разделена на 4 карты бетонирования, разделенные между собой сетками-отсекателями (рис. 1).

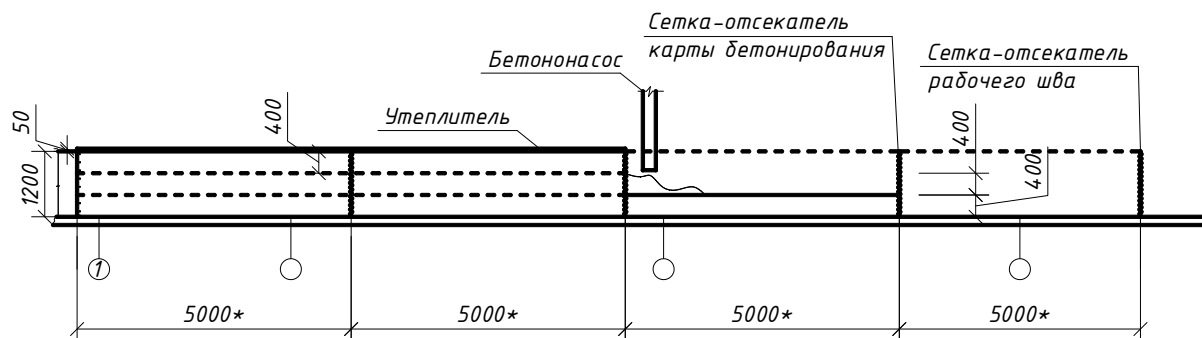


Рис. 1. Схема бетонирования захватки

Технологической особенностью выполнения работ было то, что до начала работы над технологической картой, на строительной площадке уже была выполнена бетонная подготовка толщиной 150 мм, причем при ее изготовлении использовался электропрогрев бетона нагревательным проводом. Для этих целей строители использовали провод ПНСВ-1,2 уложенный на глубине 50 мм с шагом 150 мм.

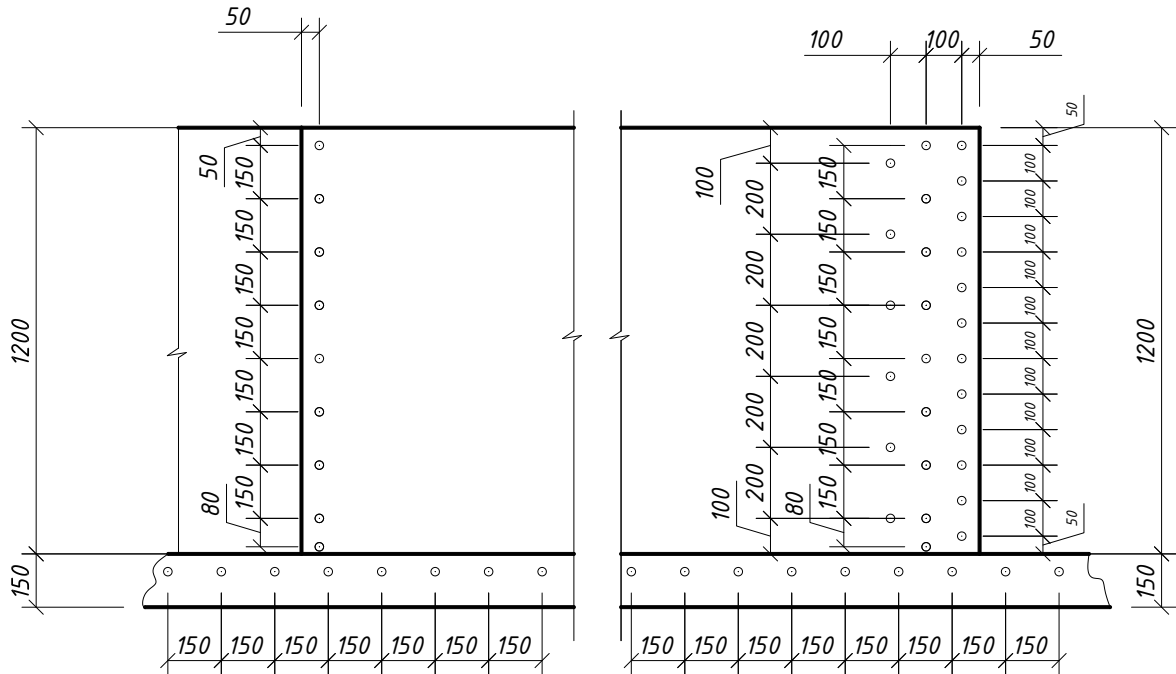
Учитывая требования п. 5.11.4 [2] для предотвращения замерзания бетонной смеси в зоне контакта с основанием было принято решение до укладки бетона прогреть замерзшую бетонную подготовку, используя для этого уже проложенный в ней нагревательный провод. Компьютерная модель прогрева бетонной подготовки содержала 25620 узлов. Через нагревательный провод моделировалось прохождение электрического тока мощностью 35 Вт/м. Результаты расчета показали, что на 5 сутки прогрева устанавливается стационарный режим распределения тепла, и на этот момент на поверхности бетона наблюдается температура  $-12,5^{\circ}\text{C}$ , которая в дальнейшем не изменяется. На основе анализа результатов изменения температуры было принято решение осуществлять предварительный прогрев бетонной подготовки за 24 часа до начала бетонирования, что обеспечивало температуру на поверхности бетона  $-15^{\circ}\text{C}$ .

В дальнейшем, нагревательный провод, находящийся в бетонной подготовке не отключался, а использовался для прогрева дна фундаментной плиты кондуктивно от поверхности бетонной подготовки.

Исходя из условия равномерного прогрева бетона фундаментной плиты были проработаны несколько вариантов размещения нагревательных проводов и определена оптимальная схема их размещения в конструкции.

Провода размещаются по периметру каждой захватки бетонирования в один ряд с шагом 150 мм. На открытом крае бетона (поверхность бетона соприкасается с воздухом) дополнительно устанавливается 2 линии проводов с шагом 100 мм и 200 мм (рис. 2).

а)



б)

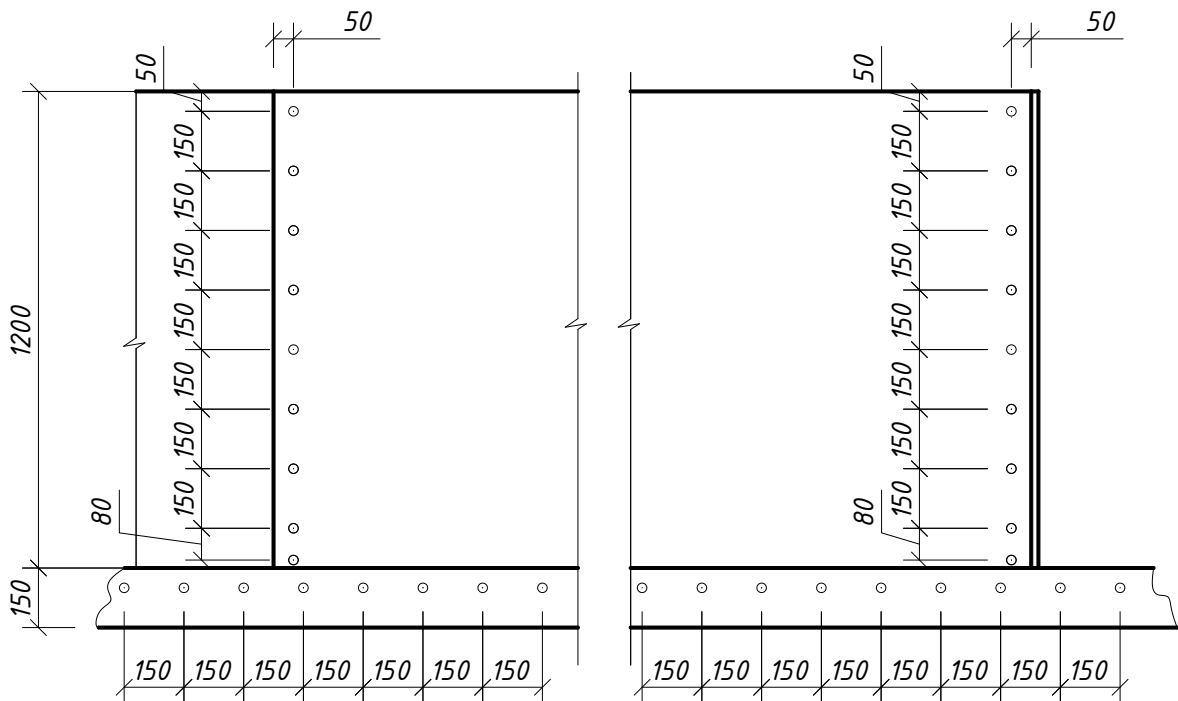


Рис. 2. Размещение нагревательных проводов  
 а – фундаментная плита на I и II захватках; б – фундаментная плита на III захватке.

Расчетная модель выдерживания бетона фундаментной плиты содержала 45130 узлов. В результате расчетов получены графики изменения тепловых характеристик бетона в течение 10 суток прогрева нагревательным проводом (рис. 3). Из графика видно, что замораживание бетона на границе фундамента и бетонной подготовки не происходит, а пик роста температуры приходится на пятый-шестой день, после чего эффект от тепловыделения бетона вследствие экзотермии начинает снижаться.

Полученные скорости подъема температур ( $0,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$ ) не превышают предельно допустимых значений –  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{час}$  для конструкций с модулем поверхности  $1,6 \text{ м}^{-1}$ . Максимальный градиент температур по сечению бетона на захватке также не превышает нормативных значений  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{см}$ .

Далее были определены продолжительности изотермического выдерживания и остывания конструкций после отключения прогрева с учетом набора к окончанию остывания необходимой прочности бетона в 70% от проектной прочности. Оценка прочности бетона выполнялась по аналитическим зависимостям на основе данных по температуре и времени твердения бетона. Температурно-прочностные параметры выдерживания бетона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Температурно-прочностные параметры бетона

Положение точки	Время прогрева, дни	Прочность за период прогрева, %	Время остывания, час.	Средняя температура остывания, $^\circ\text{C}$	Прочность к концу остывания, %
Низ	4	49	91	16	68
	5	58	98	18	76
Верх	4	66	127	26	88
	5	76	129	26	91
Середина	4	69	237	27	96
	5	79	244	27	97

По результатам расчетов конечной прочности различных точек фундаментной плиты определено, что прогрев каждой захватки необходимо выполнять в течение 5 суток (120 часов).

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы:

1. использование компьютерного моделирования зимнего бетонирования позволит повысить качество организационно-технологического проектирования и обеспечить строительную площадку точными прогнозами по распределению температур по сечению бетона конструкции;
2. рассмотренный в данной статье подход к моделированию режимов зимнего бетонирования, обеспечивающих достижение монолитной фундаментной плитой заданной прочности при минимизации материальных за-

трат, может быть применен и для других монолитных конструкций зданий и сооружений.

#### Библиографический список

1. Р-НП СРО ССК-02-2014 Рекомендации по производству бетонных работ в зимний период. – Челябинск: НП СРО "ССК УрСиб", 2014.
2. СП 70.13330.2012 "Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87".

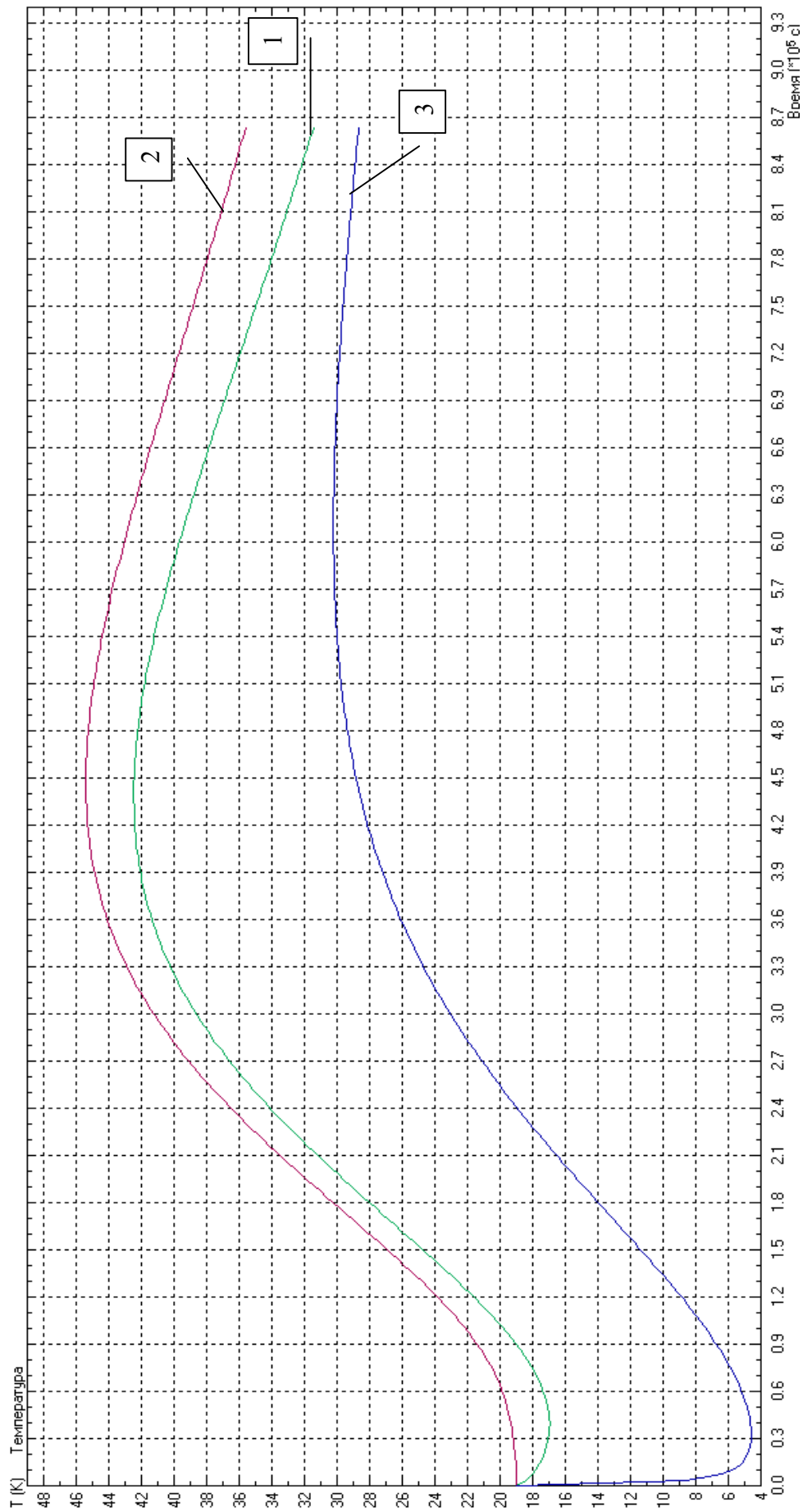


Рис. 3. Температурный режим выдерживания бетона фундаментной плиты:  
 1 – точка на поверхности плиты, 2 – точка в центре тяжести плиты, 3 – точка на контакте фундамента и бетонной подготовки.

