

УДК 693.547.32:624.156.3:004.92

*А.Х. ЛАБАЗАНОВ, магистрант,
А.И. ГНЫРЯ, доктор технических наук, профессор,
В.С. НИКОЛЕНКО, магистрант
Научный руководитель:
А.И. ГНЫРЯ, доктор технических наук, профессор*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ С ПОМОЩЬЮ ГРЕЮЩЕГО ПРОВОДА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

В статье рассматриваются результаты моделирования электрообогрева железобетонной колонны с помощью греющих проводов в программно-вычислительном комплексе «ELCUT PRO 6.3». Данный метод прогрева применяется на строительном объекте «Реконструкция аэропортового комплекса „Богашево“ в г. Томске: очистные сооружения поверхностного стока». В результате моделирования были получены температурные поля в сечении колонны, а также получены графики зависимости температуры от времени и зависимость прочности от времени прогрева.

Ключевые слова: бетон; греющие провода; ELCUT PRO 6.3; компьютерное моделирование.

Введение

При возведении в зимних условиях конструкций с открытыми или опалубливаемыми поверхностями может быть применен относительно простой, но эффективный технический прием – прогрев бетона закладываемыми в него электрическими проводами. Сущность способа заключается в передаче выделяемой проводами теплоты непосредственно бетону контактным путем, которая далее распространяется по сечению конструкции в основном путем теплопроводности. Провода с металлической токонесущей изолированной жилой, подключаемые в электрическую сеть, работают как нагреватели активного сопротивления. Нагревательные провода могут быть заложены непосредственно в массив монолитной конструкции или располагаться в ее поверхностных слоях. К достоинствам греющих проводов можно отнести то обстоятельство, что их действие является автономным – оно не связано ни с консистенцией уложенной бетонной смеси, ни с физико-механическими характеристиками бетона, тем самым увеличивающий экономическую эффективность данного метода [1]. Но минусы метода в том, что расчеты, произведенные вручную, приближительны и не учитывают всех факторов, оказывающих влияние на температуру. Компьютерное моделирование с использованием программного комплекса «ELCUT PRO 6.3» может решить проблему неточности расчета с учетом всех факторов, влияющих на температуру. «ELCUT PRO 6.3» может демонстрировать изменения температуры и прочность бетона во времени, как в отдельных слоях конструкции, так и в целом [2, 3].

Экспериментальная часть

Данные исследования проводились на строительном объекте «Реконструкция аэропортового комплекса „Богашево“ в г. Томске: очистные сооружения поверхностного стока».

Монолитные железобетонные колонны сечением 600×600 мм и высотой 4600 мм бетонировались при температуре наружного воздуха $t_{н.в} = -10$ °С, скорость ветра 6 м/с (рис. 1). Бетонная смесь класса В25, марок W6, F150, с $t_{б.с} = +10$ °С укладывается в опалубку толщиной 18 мм. Источник тепла – греющие провода марки ПНСВ с диаметром жилы 1,2 мм. Для решения поставленной задачи была составлена расчетная модель конечных элементов в программно-вычислительном комплексе «ELCUT PRO 6.3». Полученная модель с построением сетки конечных элементов показана на рис. 2.

Время прогрева бетонной смеси – 48 ч. После этого производится температурное выдерживание с остыванием бетонной смеси в течение 8 ч. Решение задачи производится в программно-вычислительном комплексе «ELCUT PRO 6.3» с учетом параметров теплоемкости и теплопроводности материалов конструкции. Моделирование прогрева колонны в «ELCUT PRO 6.3» дает возможность проанализировать температурные поля при введенных характеристиках во времени и изучить полученные результаты.

На основе используемых данных получено температурное поле перед началом прогрева, изображенное на рис. 3. Отметим, что «ELCUT PRO 6.3» в расчете не учитывает удельное сопротивление бетона. Это приводит к неточностям полученных результатов.

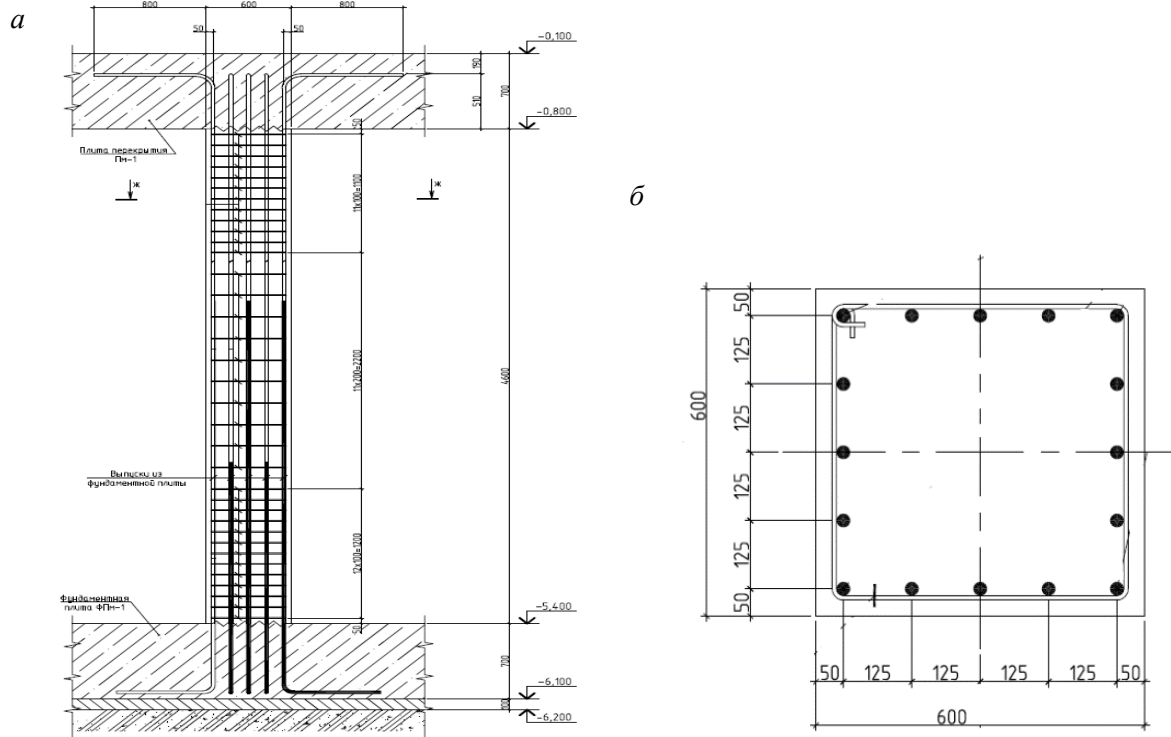


Рис. 1. Поперечное сечение и вид сверху моделируемой железобетонной колонны:
 а – поперечное сечение; б – вид сверху

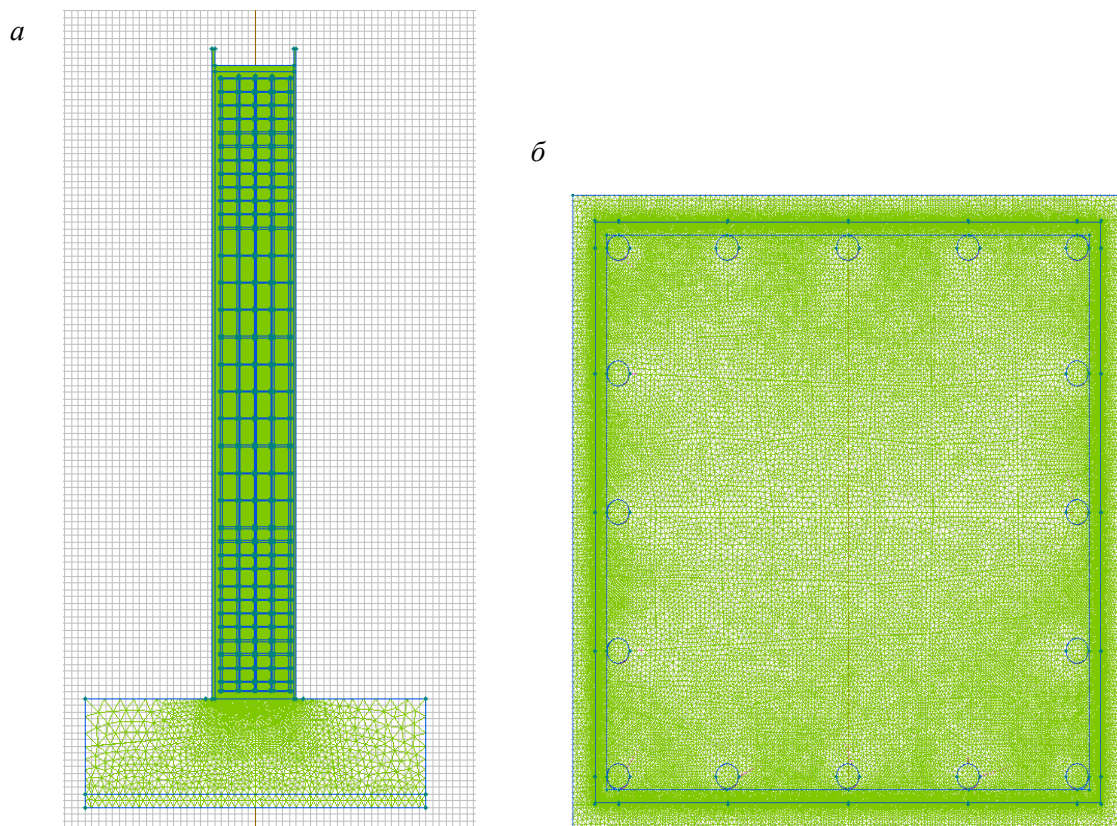


Рис. 2. Расчетная модель колонны:
 а – поперечное сечение; б – вид сверху

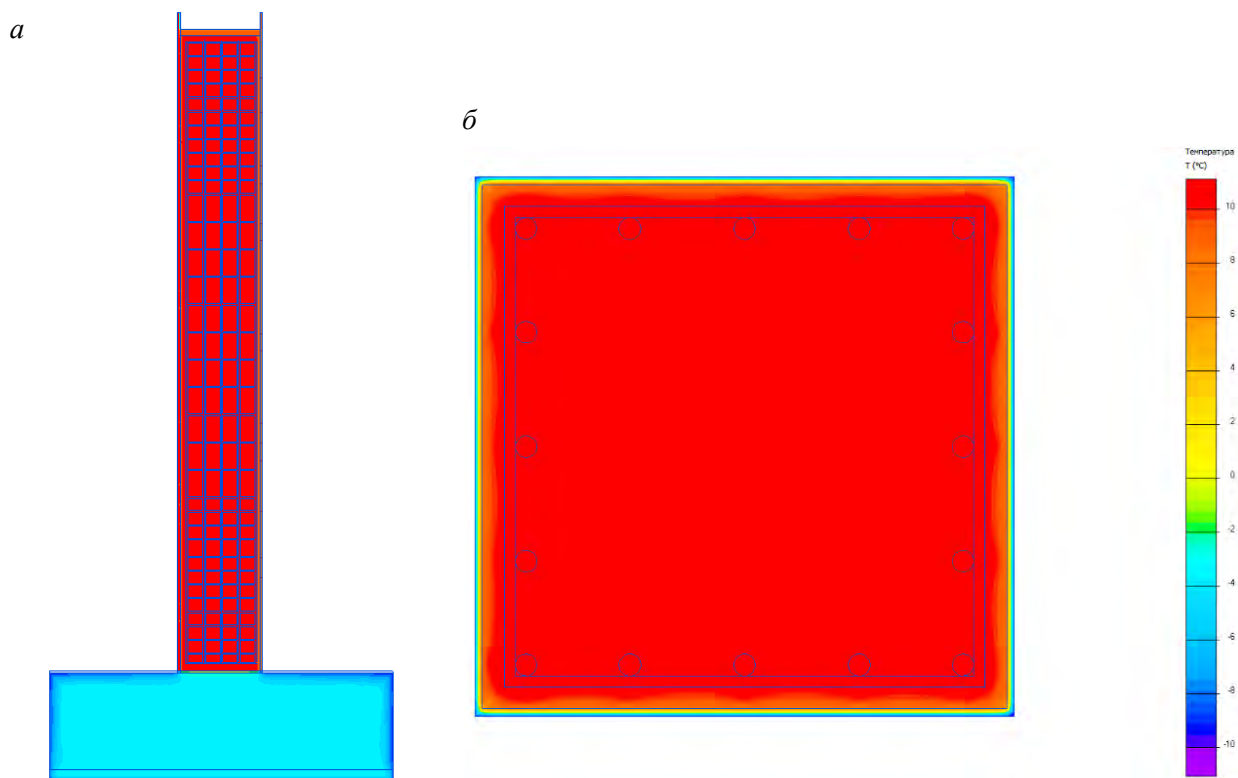


Рис. 3. Температурное поле перед началом прогрева:
а – поперечное сечение; *б* – вид сверху

В работе были использованы параметры электропрогрева колонны в условиях строительной площадки. Полученные результаты распределения температур после 2 сут твердения, приведенные в центральной скважине (рис. 4, 5), оказываются близкими к нормативным значениям режимов прогрева конструкции. Однако значения нижней части, примыкающей к граням старого бетона, и в углах свидетельствуют о недостаточных областях прогрева конструкции.

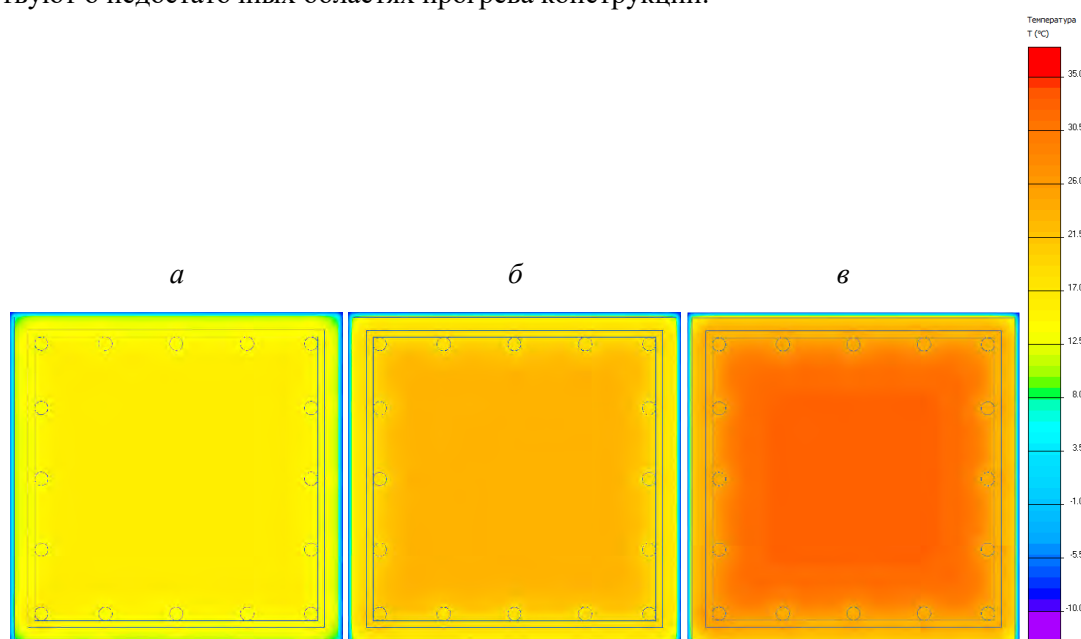


Рис. 4. Температурное поле в разные периоды прогрева, вид сверху:
а – 24 ч; *б* – 36 ч; *в* – 48 ч

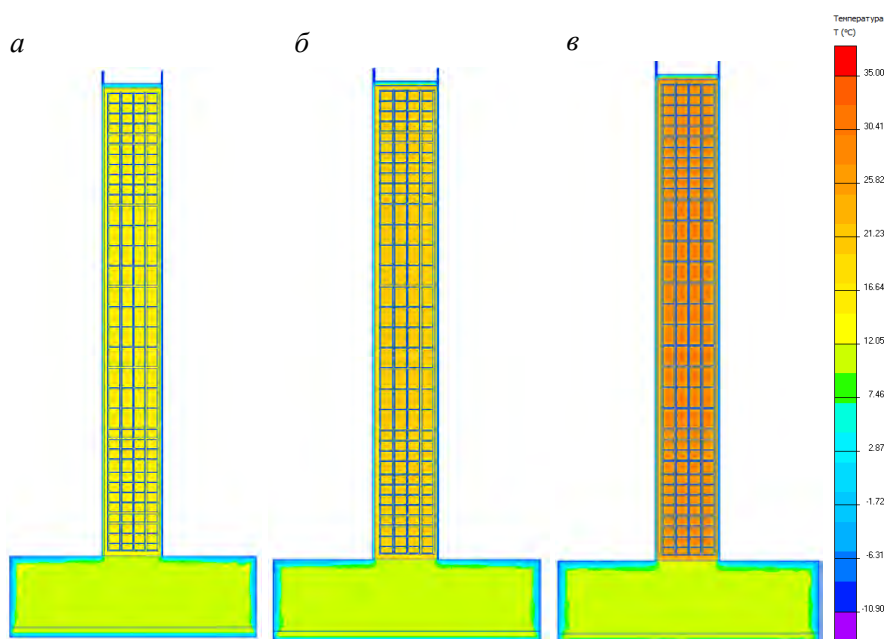


Рис. 5. Температурное поле в разные периоды прогрева, поперечный разрез:
а – 24 ч; б – 36 ч; в – 48 ч

Выводы

Исходя из всего выше сказанного, можно сделать вывод, что тепло в конструкции распределяется неравномерно. В основном максимальная температура достигается в центре конструкции. Разница температур между центром конструкции и в углах достигает около 20 °С. Из всего этого следует, что набор прочности бетона колонны будет неравномерным. Все это нужно учитывать при прогреве конструкции на строительном объекте, т. к. прочность – важнейший показатель железобетонных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Красновский Б.М.* Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования : в 2 ч. Часть 2. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 231 с.
2. *Комаринский М.В., Онисковец Р.В.* Имитационное моделирование зимнего бетонирования стеновой конструкции // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 7. – С. 18–31.
3. *Elcut Pro 6.3.* Руководство пользователя. – Санкт-Петербург : ООО «Тор», 2018. – 291 с.