

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРЕВА МОНОЛИТНОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ELCUT

Толочко Ирина Викторовна, магистрант
Бережной Роман Сергеевич, магистрант
Коробков Сергей Викторович, канд. техн. наук, доц.
E-mail: korobkov_1973@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет
г. Томск, РФ

Аннотация. В настоящей статье приведены результаты компьютерного моделирования процессов прогрева бетона монолитной плиты перекрытия жилого дома греющими проводами в зимнее время с применением программного комплекса *ELCUT*. Целью настоящей работы являлось решение термодинамической задачи электрообогрева бетона монолитной междуэтажной плиты перекрытия греющими проводами при низких отрицательных температурах. Процесс моделирования включал в себя постановку задачи, разработку модели, учет свойств используемых материалов, решение задачи и анализ полученных результатов. В качестве основных для расчета тепловой обработки бетона были приняты следующие параметры: геометрические размеры бетонной конструкции, материал опалубки, вид и толщина слоя утеплителя для обеспечения тепловой защиты монолитной конструкции в период электрообогрева бетона, а также класс бетона, расход цемента и тип нагревательного провода. В результате проведенных исследований подобраны режимы электрообогрева железобетонной плиты перекрытия, которые обеспечили получение требуемой распалубочной прочности бетона. При соблюдении технологии электрообогрева нагревательными проводами возможно получать качественные железобетонные конструкции, возводимые в зимнее время. Практическая значимость проведенных результатов компьютерного моделирования заключается в совершенствовании методики ручного расчета параметров электрообогрева бетона конструкций в зимнее время.

Ключевые слова. Зимнее бетонирование, плита перекрытия, греющий провод.

Прогрев бетона – это важный этап строительства, задача которого заключается в обеспечении оптимальных условий для твердения бетона. Одним из таких прогревных методов является применение греющих проводов. Актуальным является прогнозирование распределения температурных полей по сечению возводимых бетонных конструкций и набора прочности на определенных временных этапах термообработки. Данный процесс прогнозирования могут облегчить методы компьютерного моделирования [1]. Цель данной работы – замоделировать электрообогрев бетона междуэтажной плиты перекрытия типового этажа греющими проводами в условиях отрицательных температур для выработки оптимальных режимов прогрева, для достижения наилучших показателей по прочности бетона. Данные исследования являются продолжением цикла работ [2–4].

Объектом исследования выбрана монолитная железобетонная междуэтажная плита перекрытия толщиной 180 мм (рис. 1). Проектный класс бетона по прочности В25.

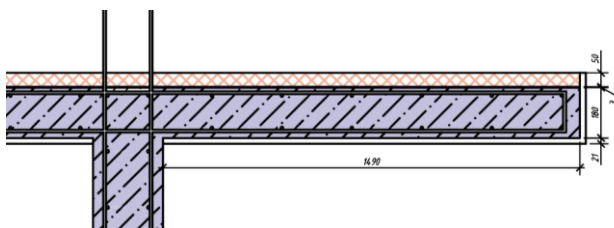


Рис. 1. Фрагмент моделируемой плиты перекрытия

Бетонирование плиты перекрытия осуществляется при отрицательной температуре наружного воздуха от -5 до -25 °С со средней скоростью ветра 5 м/с. Температура бетонной смеси к началу электрообогрева принята $+5$ и $+10$ °С. Максимальная температура изотермического обогрева принята $+50$ °С. Опалубка принята балочно-стоечная с палубой из водостойкой фанеры толщиной 21 мм. Электрообогрев бетона плиты выполняется при помощи греющего провода марки ПНСВ с диаметром жилы 1,2 мм, который укладывается в нижнем и верхнем сечении плиты. Погонная нагрузка на провод принята 35–40 Вт/п.м. Шаг раскладки греющего провода принят 200 мм. Для предотвращения продувания пространства под плитой принято навешивание тентов из ПВХ толщиной 3 мм. Верхняя неопалубленная поверхность плиты утепляется экструдированным пенополистиролом толщиной 50 мм. Для каждого материала стыка плиты со стеной были заданы свои физические характеристики. Теплопотери в прогреваемой конструкции осуществляются через опалубку, выпуски арматуры и стену под плитой перекрытия.

Для решения поставленных задач создана расчетная модель плиты перекрытия в программном комплексе «ELCUT» с соблюдением геометрических размеров и физических свойств применяемых материалов. Разбиение сечения плиты перекрытия на конечные элементы выполняется автоматически с построением сетки конечных элементов (рис. 2). Также при решении поставленной задачи использовалась надстройка «WinConcret», которая разбивает заданную модель на отдельные блоки и каждому блоку присваивается номер (рис. 3).

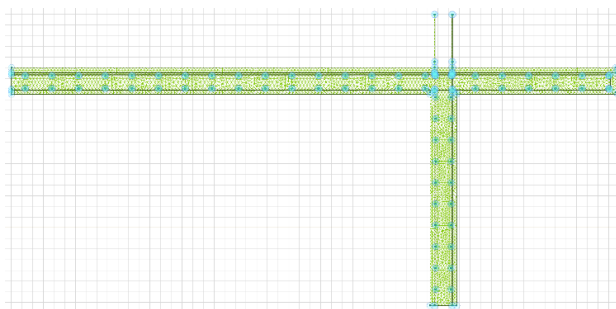


Рис. 2. Расчетная модель плиты перекрытия с построением сетки конечных элементов

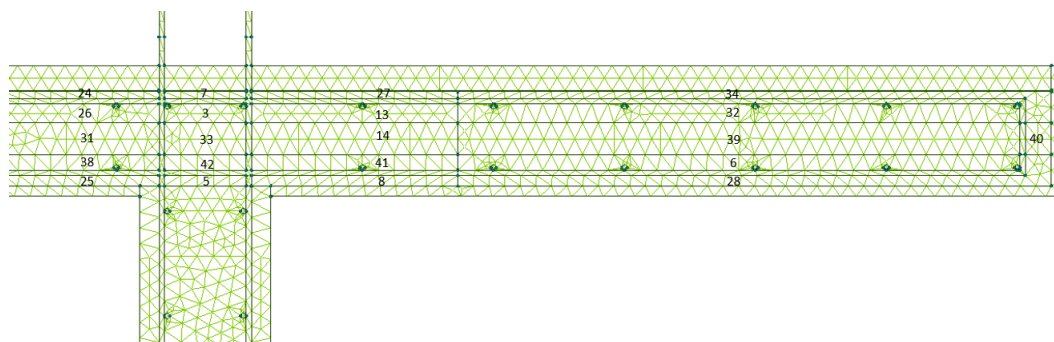


Рис. 3. Разбиение расчетной модели на отдельные блоки с их нумерацией

В процессе моделирования было принято решение уменьшить шаг раскладки греющего провода в стыке плиты перекрытия с ранее забетонированной и имеющей отрицательную температуру стеной.

В результате моделирования электрообогрева плиты перекрытия были определены продолжительность прогрева и выдерживания конструкции при различных отрицательных температурах наружного воздуха. Анализ полученных данных показал, что при температуре наружного воздуха -5 °С время прогрева бетона составляет 48 ч при начальной

температуре бетонной смеси +5 °С, а если начальная температура бетонной смеси будет +10 °С, то срок прогрева уменьшится на 5 ч и составит 43 ч (табл. 1).

Таблица 1

Полученные данные о режимах электрообогрева и достигнутой прочности бетона при разных температурах наружного воздуха

Начальная температура бетонной смеси, °С	Температура наружного воздуха, °С	Время электрообогрева, °С	Время выдерживания, ч	Прочность бетона после электрообогрева, % от R28	Нагрузка на греющий провод, Вт/п.м.
+5	–5	48	48	72	35
+5	–10	54	42	70	35
+5	–15	66	30	70	35
+5	–20	90	22	70	35
+5	–25	95	16	70	40
+10	–5	43	53	72	35
+10	–10	54	42	70	35
+10	–15	66	30	70	35
+10	–20	84	24	72	35
+10	–25	78	20	70	40

Анализируя полученные результаты, можно прийти к выводу, что за определенное время электрообогрева и выдерживания бетона при различных температурах наружного воздуха бетон во всех блоках набирает распалубочную прочность в 70 % от проектной, что соответствует требованиям СП70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».

Установлено, что расчет параметров режимов электрообогрева бетона плиты перекрытия более точно можно осуществить в программном комплексе *Elcut*, а надстройка *WinConcret* дает возможность оценки температурных полей, характера набора прочности во всех участках конструкции.

Благодаря программе *Elcut Pro* и надстройки *WinConcret* представляется возможным учесть основные параметры прогрева и получить требуемую прочность бетона. Расчет в программе оптимизирует и детализирует работу в сравнении с ручным расчетом.

Библиографический список

1. Дудин, М. О. Моделирование набора прочности бетона в программе ELCUT при прогреве монолитных конструкций проводом / М. О. Дудин, Н. И. Ватин, Ю. Г. Барабанщиков // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 2. – С. 33–45.
2. Petrov, E. Numerical Modelling of Heat Treatment of Concrete of Monolithic Structures of Buildings in Winter Conditions of Construction / E. Petrov, S. Korobkov, S. Kuznetsov // IOP Publishing: Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – No. 2131. – P. 052063. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/5/052063.
3. Korobkov, S.V. Modeling the hardening process of monolithic reinforced concrete structures in Elcut Pro software package / S.V. Korobkov, D. A. Mikhailov, A. I. Gnyrya, M. M. Titov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – No. 953. – P. 012030. DOI:10.1088/1757-899X/953/1/012030.
4. Korobkov, S. Computer Simulation of Electric Heating of Concrete Column / S. Korobkov, A. Gnyrya, S. Kuznetsov // Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS). – 2022. – Vol. 403. – P. 349–357. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-96383-5_39.