

УДК 693.547.32:624.156.3:004.92

Д. А. МИХАЙЛОВ, С. В. КОРОБКОВ

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТВЕРДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ
ELCUT PRO**

Аннотация. В данной статье рассматривается моделирование прогрева монолитного ленточного ростверка с помощью греющих изолированных проводов в программно-вычислительном комплексе ELCUT Pro 6.3 и надстройкой WinConcret. Данный вид прогрева бетона применяется на возводимом объекте многоэтажного жилого комплекса «Алые паруса» по адресу: Микрорайон «Северный» в Заречном сельском поселении Томского района. В программно-вычислительном комплексе ELCUT Pro с надстройкой WinConcret были внесены начальные параметры применительно к строящемуся объекту. В результате расчёта был выполнен анализ температурных полей в сечении монолитного ленточного ростверка, а также построены графики зависимости температуры от времени и графики зависимости прочности от времени прогрева. Установлено, что при прогреве бетона с помощью греющих изолированных проводов тепловая энергия распределяется более равномерно по всему сечению ростверка, это ведет к увеличению набора прочности всей конструкции.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, бетон, греющие изолированные провода, зимнее время.

Единственной возможностью проведения бетонных работ в условиях отрицательных температур и во избежание нарушения прочностных характеристик железобетонных конструкций является применение традиционных методов зимнего бетонирования. Существуют рекомендации по выбору метода зимнего бетонирования исходя из железобетонных конструкций и условий. Все они связаны с термическим воздействием на бетонную смесь при монолитном домостроении. Для монолитных конструкций жилых и гражданских зданий используют прогревный метод, а именно прогрев нагревательными проводами. Суть метода заключается в прокладке греющего кабеля определенного сечения и уровня напряжения в бетонную смесь с последующим подключением к трансформатору [1]. Под действием электрического тока происходит нагревание провода и тепло передается в бетонную смесь. Преимущество данного метода заключается в экономической эффективности и независимости электропроводящих свойств бетона. Однако недостаток этого метода в том, что ручные расчеты приблизительны и не учитывают всех факторов, влияющих на температуру. При изготовлении бетонных конструкций градиенты температур оказывают существенное влияние на механизмы твердения [2–9]. К основному фактору, оказывающего существенное влияние, необходимо отнести процессы тепло и массопереноса [9]. Моделирование с использованием современных программных комплексов способно решить проблему точного расчета с учетом всех факторов, влияющих на температуру. Одним из таких комплексов является ELCUT с надстройкой WinConcret. Программа способна составлять графические изменения температуры и прочность бетона во времени как в отдельных слоях конструкции, так и в целом [10, 11].

Рассмотрим на примере строящегося многоэтажного жилого комплекса «Алые паруса» располагающегося по адресу: Микрорайон «Северный» в заречном сельском поселении Томского района.

Монолитный ленточный фундамент шириной 1 500 мм и высотой 700 мм бетонруется при отрицательной температуре наружного воздуха $t_{н.в} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра 5 м/с (рис. 1а). Бетонная смесь класса В25 с температурой $t_{с.с.} = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ укладывается в опалубку из фанеры толщиной 18 мм.

В качестве источника тепла выбраны греющие провода марки ПНСВ с диаметром жилы 1,2 мм. Для решения данной задачи была реализована расчетная модель конечных элементов в программном комплексе ELCUT-6.3 Pro. Расчетная модель с построением сетки конечных элементов показана на рис. 1б.

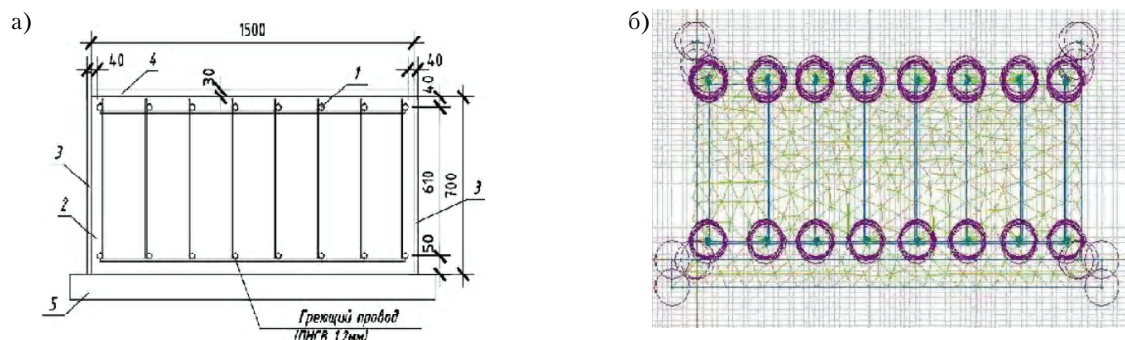


Рисунок 1 – Монолитный ленточный фундамент: а) поперечное сечение моделируемого железобетонного ростверка; б) и расчетная модель с построением сетки конечных элементов.

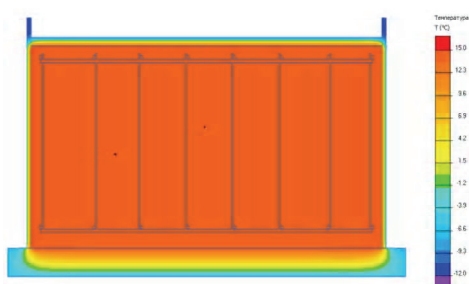


Рисунок 2 – Температурное поле конструкции после решения задачи в ELCUT Pro 6.3.

Задано время прогрева бетонной смеси – двое суток. После этого создается температурное выдерживание с остыванием бетонной смеси в течение двадцати четырех часов. Решение задачи производится в программном комплексе ELCUT-6.3 Pro с учетом параметров теплоемкости и теплопроводности материалов конструкции. Графика в on-line режиме показывает распространение тепла в бетонной конструкции в процессе твердения, градиенты, а также места с избыточными теплотерями. Моделирование методом конечных элементов позволяет варьировать начальные параметры прогрева с целью достижения оптимальных характеристик распределения температур в твердеющих конструкциях любой сложности. Из полученных результатов расчетов температурных полей бетонной смеси можно

сделать заключение о том, что прогрев конструкции осуществляется равномерно. Локальные участки возле проводов прогреваются быстрее, а в местах потерь температуры медленнее (рис. 1б, 2).

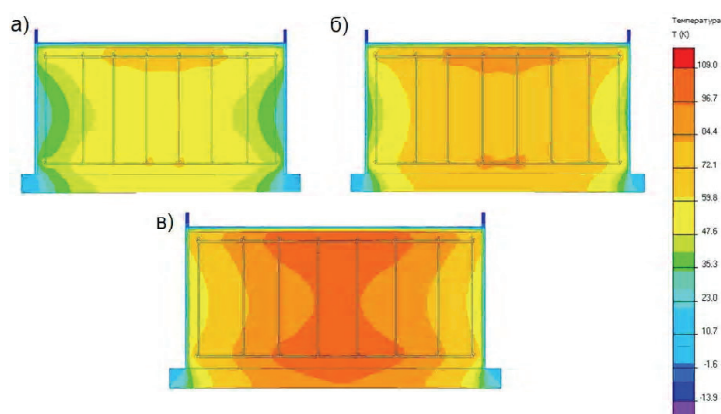


Рисунок 3 – Температурные поля в разные временные отрезки прогрева: а) – после 24 часов; б) – после 36 часов; в) – после 48 часов.

В качестве иллюстрации в работе были использованы параметры прогрева ростверка в условиях строительной площадки. Полученные решения распределения температур после 48 часов твердения, приведенные в центральной области (рис. 3в) оказываются близкими оптимальным значениям режимов прогрева конструкции. Однако в верхней части и областях, примыкающих к боковым граням, свидетельствуют об избыточных и недостаточных областях прогрева конструкции, рис. 3в.

Хочется отметить, что программный комплекс Elcut не учитывает такие параметры, как тепловыделение и удельное сопротивление бетона, а также отсутствует возможность посмотреть

график набора прочности бетонной смеси с течением времени. Для решения перечисленных недочетов используется дополнительная надстройка WinConcret. Данная надстройка при решении задачи

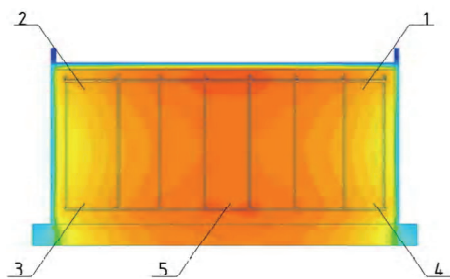


Рисунок 4 – Характерные блоки для построения графиков зависимости.

разбивает конструкцию на блоки. После этого происходит решение задачи, то есть каждый блок имеет свою температуру и прочность. Для анализа полученных результатов были выбраны характерные блоки в сечении конструкции ростверка (рис. 4).

По выбранным блокам были построены в надстройке WinConcret, графики зависимости температуры от времени прогрева (рис. 5), а так же графики зависимости прочности от времени прогрева (рис. 6).

ВЫВОДЫ

Проанализировав полученные результаты, можно сделать следующий вывод, при прогреве бетона с помощью греющих изолированных проводов тепловая энергия распределяется более равномерно по всему сечению ростверка, это ведет к увеличению набора прочности всей конструкции.

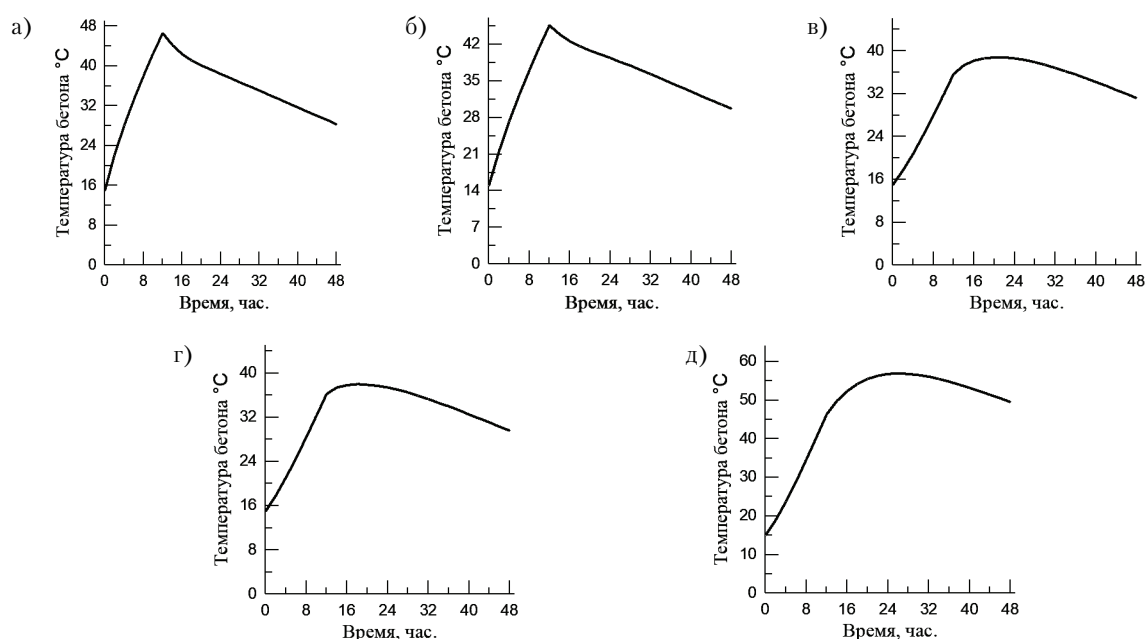


Рисунок 5 – Графики зависимости температуры от времени прогрева: а) 1-я точка, б) 2-я точка, в) 3-я точка, г) 4-я точка, д) 5-я точка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гныря, А. И. Технология бетонных работ в зимних условиях [Текст] : учеб. пособие / А.И. Гныря, С. В. Коробков. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2011. – 412 с.
2. Лыков, А. В. Тепломассообмен. Справочник [Текст] / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1978. – 480 с.
3. Mechanical properties of cement paste curing at different isothermal conditions [Текст] / A. I. Gnyrya, Yu. A. Abzaev, S. V. Korobkov and K. S. Gauss / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – 193(1):012010. – doi: 10.1088/1755-1315/193/1/012010.
4. Dhananjay, M. Study of Thermal Gradient in Concrete Slabs through Experimental Approach [Электронный ресурс] / M. Dhananjay, K. Abhilash // Global Journal of Researches in Engineering: Civil And Structural Engineering. – 2014. – Vol. 14. – Issue 5. – Access mode : <https://ru.scribd.com/document/383590811/1-Study-of-Thermal-Gradient-pdf>.
5. Prasanna, W. G. J. Cracking due to Temperature Gradient in Concrete [Текст] / W. G. J. Prasanna, A. P. Subhashini // International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE-2010) (13–14 December 2010, Kandy). – P. 496–504.
6. Effects of temperature and temperature gradient on concrete performance at elevated temperatures [Текст] / Quang X. Le, Vinh TN Dao, Jose L Torero, Cristian Maluk [et. al.]. // Advances in Structural Engineering. – 2018. – Vol. 21(8). – P. 1223–1233.

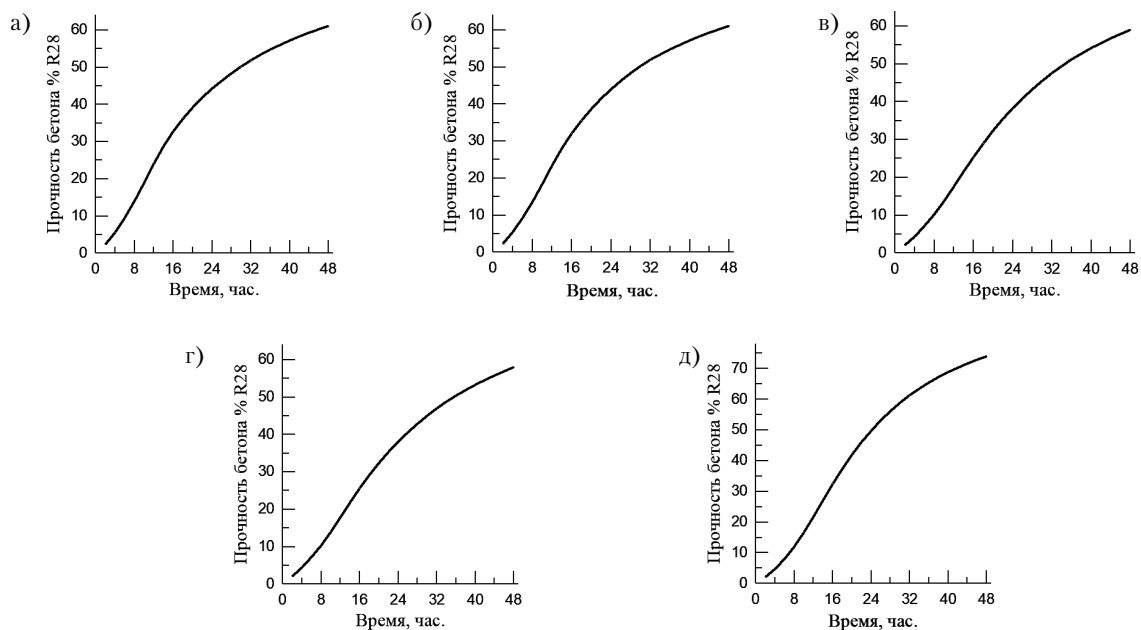


Рисунок 6 – Графики зависимости прочности бетона ростверка от времени прогрева: а) 1-я точка, б) 2-я точка, в) 3-я точка, г) 4-я точка, д) 5-я точка.

7. Hussein, Hamid H. Analysis of Temperature Gradients for Mass Concrete Units by Using Polystyrene Beads and Perlite [Текст] / Hamid H. Hussein, Omar S. Saeed // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). – 2013. – Vol. 3, Issue 5. – P. 86–93.
8. Numerical Simulation of Temperature Gradients for the Mass Concrete Foundation Slab of Shanghai Tower [Текст] / Jian Gong, Weijiu Cui, Yong Yuan, Xiaoping Wu // International Journal of High-Rise Buildings. – 2015. – Vol. 4. – No 4. – P. 283–290.
9. Vijaya Kumar C. S. An Experimental Study and Evaluation of Thermal Stresses in Rigid Pavements using FE Method [Текст] / Vijaya Kumar C. S., L. Manjesh // International Journal of Scientific Research in Science and Technology (IJSRST). – 2017. – Vol. 3. – Issue 7. – P. 766–772.
10. Комаринский, М. В. Имитационное моделирование зимнего бетонирования стеновой конструкции [Текст] / М. В. Комаринский, Р. В. Онисковец // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 7. – С. 18–31.
11. Elcut Pro 6.3. Руководство пользователя. – ООО «Тор» : Санкт-Петербург, 2018. – 291 с.

Получена 31.03.2020

Д. О. МИХАЙЛОВ, С. В. КОРОБКОВ
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТВЕРДІННЯ МОНОЛІТНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ
ELCUT PRO
ФДБОУ ВО «Томський державний архітектурно-будівельний університет»

Анотація. У даній статті розглядається моделювання прогріву монолітного стрічкового ростверку за допомогою гріючих ізольованих проводів в програмно-обчислювальному комплексі ELCUT Pro 6.3 і надбудовою WinConcret. Даний вид прогріву бетону застосовується на об'єкті багатоповерхового житлового комплексу «Червоні вітрила», що знаходиться за адресою: Мікрорайон «Північний» в Зарічному сільському поселенні Томського району. У програмно-обчислювальному комплексі Elcut Pro з надбудовою WinConcret були внесені початкові параметри стосовно до споруджуваного об'єкта. В результаті розрахунку було виконано аналіз температурних полів в перерізі монолітного стрічкового ростверку, а так само побудовані графіки залежності температури від часу і графіки залежності міцності від часу прогріву. Встановлено, що при прогріванні бетону за допомогою гріючих ізольованих проводів теплова енергія розподіляється більш рівномірно по всьому перерізу ростверку, це веде до збільшення набору міцності всієї конструкції.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, бетон, гріючий ізольований провід, зимовий час.

DMITRY MIKHAILOV, SERGEY KOROBKOV
SIMULATION OF THE HARDENING PROCESS OF MONOLITHIC
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN THE ELCUT PRO SOFTWARE
PACKAGE

Tomsk State University of Architecture and Building

Abstract. This article discusses the simulation of heating a monolithic tape grill with the help of heating insulated wires in the ELCUT Pro 6.3 software and computer complex and the WinConcret add-in. This type of concrete heating is used at the facility under construction a multi-storey residential complex «Scarlet Sails» at the address: «Severnoy microdistrict» in a rural village in the Tomsk region. In the Elcut Pro software and computer complex with the WinConcret add-in, the initial parameters were applied to the object under construction. As a result of the calculation, an analysis of the temperature fields in the section of the monolithic tape grillage was performed, as well as graphs of the dependence of temperature on time and graphs of the dependence of strength on the time of heating were constructed. It was found that when concrete is heated using heating insulated wires, thermal energy is distributed more evenly over the entire cross-section of the grillage, this leads to an increase in the set of strength of the entire structure.

Key words: computer simulation, concrete, heating insulated wires, winter time.

Михайлов Дмитрий Александрович – магистрант кафедры технологии строительного производства ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (ТГАСУ). Научные интересы: теория и технология производства бетонных работ в зимних условиях, тепло-и массоперенос в капиллярно-пористых материалах.

Коробков Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии строительного производства ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (ТГАСУ). Научные интересы: теория и технология производства бетонных работ в зимних условиях; аэродинамика и внешний теплообмен моделей конструкций, зданий и сооружений; тепло-и массоперенос в капиллярно-пористых материалах.

Михайлов Дмитро Олександрович – магістрант кафедри технології будівельного виробництва ФДБОУ ВО «Томський державний архітектурно-будівельний університет» (ТДАБУ). Наукові інтереси: теорія і технологія виробництва бетонних робіт у зимових умовах, тепло-і масоперенос в капілярно-пористих матеріалах.

Коробков Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технології будівельного виробництва ФДБОУ ВО «Томський державний архітектурно-будівельний університет» (ТДАБУ). Наукові інтереси: теорія і технологія виробництва бетонних робіт у зимових умовах; аеродинаміка та зовнішній теплообмін моделей конструкцій, будівель і споруд; тепло-і масоперенос в капілярно-пористих матеріалах.

Mikhailov Dmitry – master's student, Construction Technology Department, Tomsk State University of Architecture and Building. Scientific interests: theory and technology of concrete work in winter conditions, heat and mass transfer in capillary-porous materials.

Korobkov Sergey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of Construction Technology Department, Tomsk State University of Architecture and Building. Scientific interests: theory and technology of concrete work in winter conditions; aerodynamics and external heat exchange of models of structures, buildings and structures; heat and mass transfer in capillary-porous materials.