

УДК 693.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ В СИСТЕМЕ «НАДЕЖНОСТЬ ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ – НАДЕЖНОСТЬ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ТЕРМОАКТИВНЫХ ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМ»

Ю. А. Минаков

Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

Аннотация. Исследован вариант интенсификации процессов технологии монолитного строительства. Разработана герметичная система «Активатор» в виде схемы «опалубка – бетон – теплоизоляция бетона – теплоизоляция теплоизоляционного слоя», обеспечивающая ускоренную кондуктивную термообработку бетона с применением низковольтных термоактивных опалубочных систем, оборудованных плоскими графитопластиковыми нагревателями. Рассмотрены теплофизические и теплотехнические основы тепловой обработки бетона, изучены технологические режимы кондуктивного воздействия низковольтных термоактивных опалубочных систем на физико-механические свойства бетонных конструкций. В модели приняты удельная мощность опалубочных систем 500 Вт/м^2 , температура наружного воздуха $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ и начальная температура бетона $+15 \text{ }^\circ\text{C}$. Результаты исследований аварийных технологических перерывов в термообработке бетона представлены графиками, отражающими зависимость температуры тепловой обработки и прочности бетона от надежности систем энергообеспечения и термообработки. Выявлено, что необходим учет температурных характеристик бетона в начальный период термообработки на верхней поверхности конструкции. Установлено, что сокращение периода аварийного отключения с 6 до 2 часов предотвращает снижение температуры бетона в центральном сечении плиты ниже $+27 \text{ }^\circ\text{C}$. Исследования показали, что при быстром, в течение 1...4 часов, восстановлении системы энергообеспечения набор прочности бетоном не претерпевает резких изменений. Наблюдается замедленный набор бетоном прочности, связанный с аварийным отключением основной системы энергообеспечения через 2 часа от начала термообработки бетона и переходом на дублирующую систему энергообеспечения в течение 6 часов. Показано, что более равномерной является динамика набора прочности бетоном при отключении систем энергообеспечения и термообработки в более поздние периоды – 4...6 часов от начала термообработки. При этом перерыв в энергообеспечении до 4 часов не оказывает существенного влияния на замедление процесса твердения бетона.

Ключевые слова: монолитное строительство; экстремальные условия; прочность бетона; температура; тепловая обработка; термоактивная опалубочная система; аварийное отключение.

Введение. Интенсификация процессов технологии монолитного строительства в экстремальных условиях является актуальным технологическим и организационным направлением современного уровня развития строительства.

Важным фактором является сокращение сроков набора бетоном прочности: рубежной, распалубочной и проектной.

При этом в начальный период – в раннем возрасте бетона – интенсификация процесса отвердения бетона способствует сокращению времени возможного негативного влияния на неокрепшую структуру бетона в реальных производственных условиях случайных факторов внешнего воздействия, носящих вероятностный характер [2, 3].

Негативное влияние внешних факторов на надежность монолитного строительства в экстремальных условиях наиболее характерно проявляется в ситуациях аварийного отключения систем: энергообеспечения и термообработки бетона. Проявление негативного воздействия этого фактора резко снижается в более поздний период – при наборе бетоном не менее 50 % проектной прочности.

Цель исследования заключается в необходимости рациональной интенсификации процессов технологии монолитного строительства.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- создание системы «Активатор» как принципиально новой герметичной системы (принцип «замкнутой» поверхности) «опалубка – бетон – теплоизоляция бетона – влаготеплоизоляция теплоизоляционного слоя», обеспечивающей ускоренную кондуктивную термообработку бетона с применением низковольтных термоактивных опалубочных систем, оборудованных плоскими графитопластиковыми нагревателями и защищенных шестью патентами Российской Федерации на изобретения [1];

- исследование теплофизических и тепло-технических основ тепловой обработки бетона и технологических режимов кондуктивного воздействия низковольтных термоактивных опалубочных систем на физико-механические свойства бетона конструкций, выполняемых в экстремальных условиях, на надежность технологии монолитного строительства и на надежность возводимых конструкций.

Эти системы положены в основу управляемого метода кондуктивной термообработки бетона и основания конструкций [2].

Математическое, аналитическое или иное моделирование

Результаты исследований реальных условий аварийных технологических перерывов в термообработке бетона представлены на графиках (рис. 1-3), отражающих зависимость температуры тепловой обработки и прочности бетона от надежности систем энергообеспе-

чения и термообработки применительно к выполнению плоских монолитных конструкций.

Исследования проведены с применением низковольтных термоактивных опалубочных систем, оборудованных плоскими графитопластиковыми нагревателями, обеспечивающих интенсификацию технологических процессов на основе активатора.

Нижнее тепловое воздействие осуществляется теплоизолированными термоактивными низковольтными опалубочными системами с герметичной влаготеплоизоляцией открытых поверхностей.

Принятые модели теплового воздействия на бетон исключают наличие открытых поверхностей выполняемых конструкций.

В качестве примера приняты удельная мощность опалубочных систем $q = 500 \text{ Вт/м}^2$, температура наружного воздуха $T_0 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ и начальная температура бетона $T_\delta = +15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Техника эксперимента и изложение иных полученных результатов

Исследованиями установлено, что влияние случайного фактора тем негативнее скажется на прочности бетона выполняемых конструкций, чем на более раннем периоде термообработки бетона проявится данный фактор – при низкой прочности бетона [2, 3].

Исследования в этом направлении позволили установить зависимости влияния надежности управляемого метода кондуктивной термообработки бетона на надежность технологии монолитного строительства и сформировать допустимые границы надежности низковольтных термоактивных опалубочных систем.

На рисунках 1-3 представлены различные ситуации аварийного отключения основных систем энергообеспечения и термообработки в различные временные периоды (2, 3, 4, 6 часов) и перехода на применение дублирующих систем энергообеспечения и термообработки при продолжительности периода аварийного отключения 1, 2, 4 и 6 часов. Графики *a* и *в* отражают кинетику формирования температурных полей в зависимости от надежности систем энергообеспечения и термообработки.

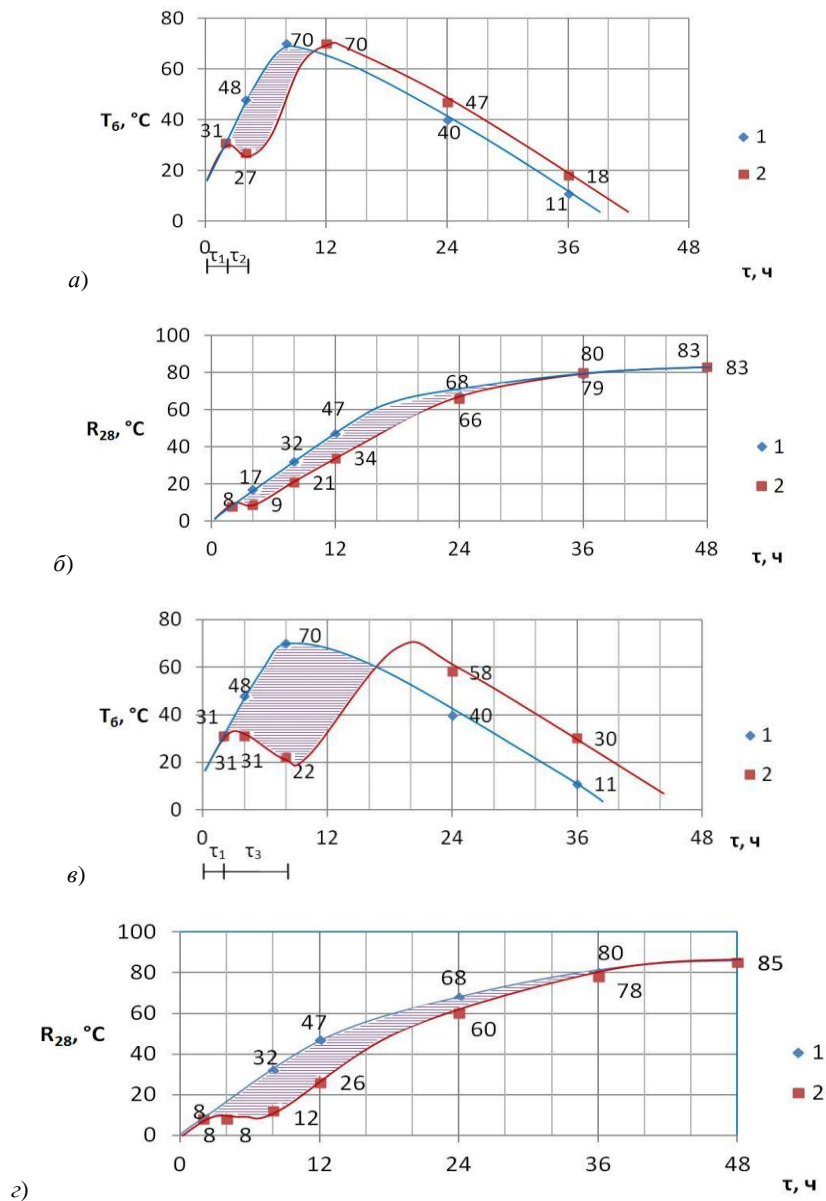


Рис. 1. Графики зависимости температуры (а, в) и прочности (б, з) бетона от надежности систем энергообеспечения и термообработки. $q = 500 \text{ Вт/м}^2$, $T_0 = -20^\circ \text{C}$, $T_6 = +15^\circ \text{C}$. $\tau_1 = 2$ часа – период действия основной системы энергообеспечения; $\tau_2 = 2$ часа, $\tau_3 = 6$ часов – периоды аварийного отключения основной и включения дублирующей систем энергообеспечения

Надежность систем энергообеспечения и термообработки – это заданный режим в среднем сечении плоской теплоизолированной конструкции на расстоянии 0,5 м от палубы во время аварийного отключения основных систем энергообеспечения и термообработки (1) и после включения дублирующей системы энергообеспечения (2).

На графиках б и з (см. рис. 1-3) представлены кривые, характеризующие динамику

набора бетоном прочности в заданном режиме (1), во время аварийного отключения основных систем энергообеспечения и термообработки и после включения дублирующей системы (2).

Интерпретация результатов исследования

Анализ результатов исследования свидетельствует о создании наиболее сложных

условий формирования тепловых полей и твердения бетона при раннем (1...2 часа) аварийном отключении систем энергообеспечения и термообработки. В этих ситуациях для плоских конструкций перекрытий в

случае длительного периода отключения систем температура бетона в верхней части теплоизолированной конструкции может снизиться до минимально допустимой или перейти ее.

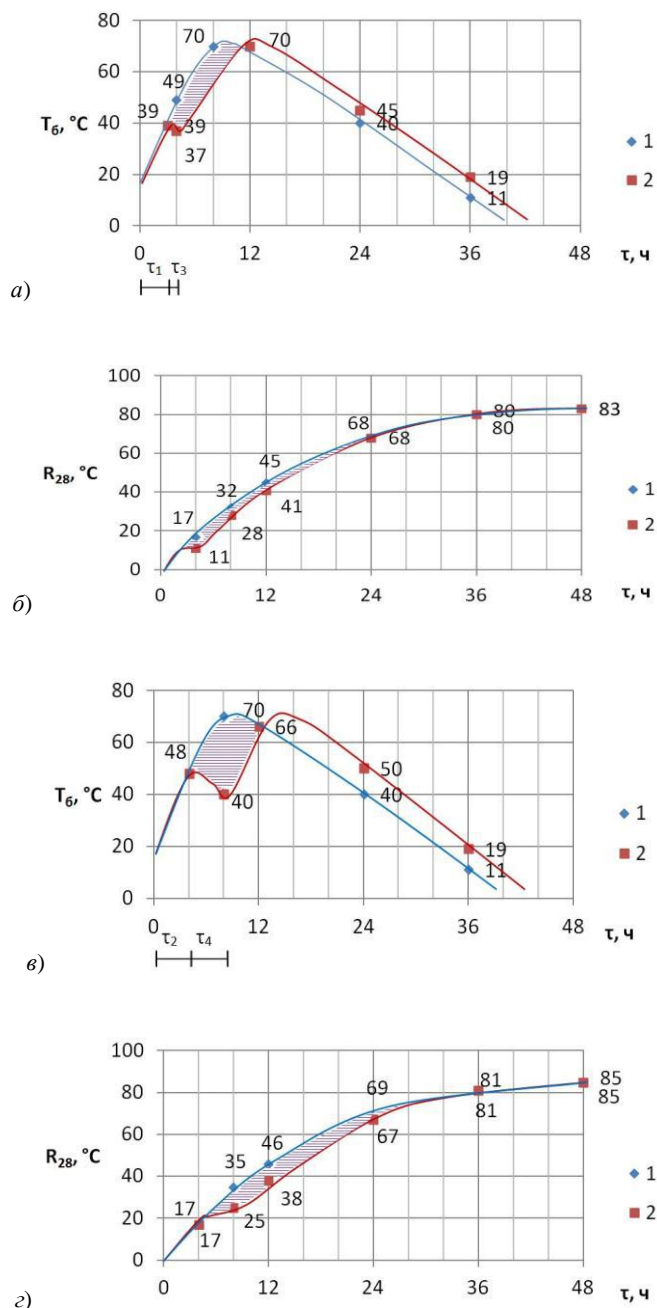


Рис. 2. Графики зависимости температуры (а, в), прочности (б, г) бетона от надежности систем энергообеспечения и термообработки. $q = 500 \text{ Вт/м}^2$, $T_0 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_6 = +15 \text{ }^\circ\text{C}$. $\tau_1 = 3 \text{ часа}$, $\tau_2 = 4 \text{ часа}$ – периоды действия основной системы энергообеспечения; $\tau_3 = 1 \text{ час}$, $\tau_4 = 4 \text{ часа}$ – периоды аварийного отключения основной и включения дублирующей систем энергообеспечения

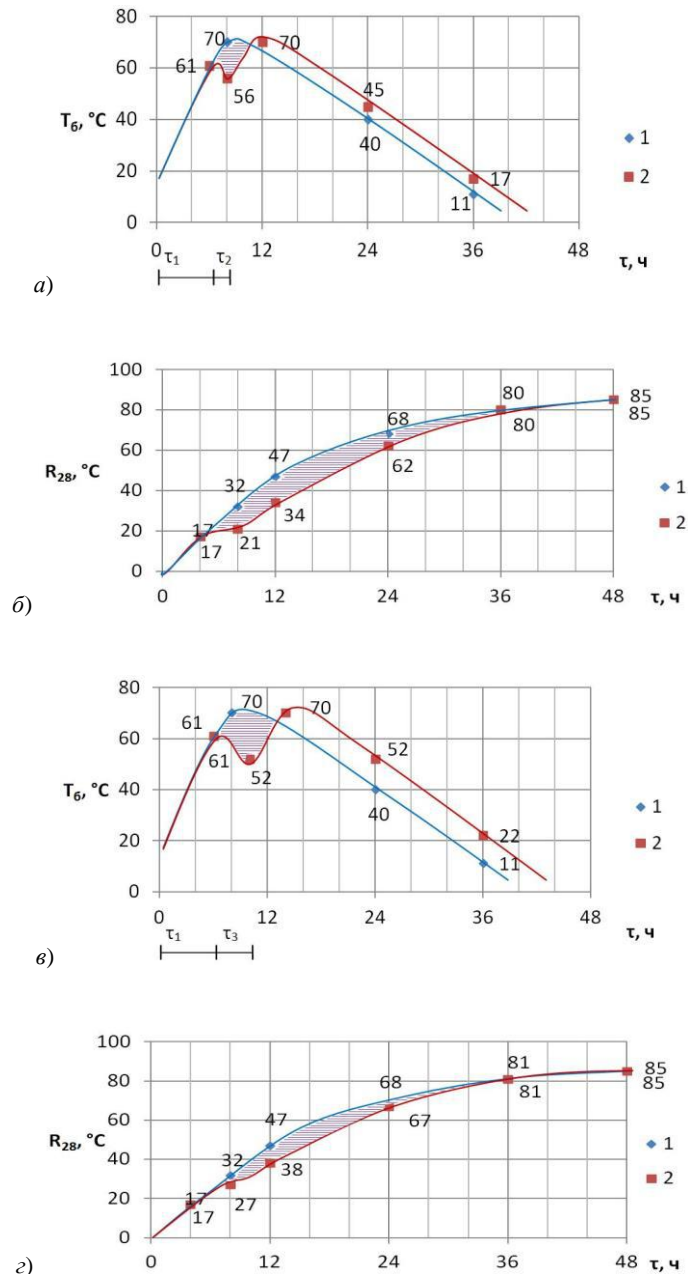


Рис. 3. Графики зависимости температуры (а, в), прочности (б, г) бетона от надежности систем энергообеспечения и термообработки. $q = 500 \text{ Вт/м}^2$, $T_0 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_6 = +15 \text{ }^\circ\text{C}$. $\tau_1 = 6$ часов – период действия основной системы энергообеспечения; $\tau_2 = 2$ часа, $\tau_3 = 4$ часа – периоды аварийного отключения основной и включения дублирующей систем энергообеспечения

На рисунке 1, в кривая 2, характеризующая изменение температуры бетона в период отключения системы энергообеспечения и термообработки с 2 до 8 часов, свидетельствует о снижении температуры бетона до $+22 \text{ }^\circ\text{C}$ к окончанию периода отключения системы. Кривая 1, характеризующая изменение температуры в срединном сечении конструкции за этот период аварийного отключения систем

энергообеспечения и термообработки, свидетельствует о снижении температуры с 31 до $27 \text{ }^\circ\text{C}$.

Как свидетельствует график, представленный на рисунке 1, а, сокращение периода аварийного отключения с 6 до 2 часов позволяет не допустить снижения температуры бетона в срединном сечении плиты ниже $+27 \text{ }^\circ\text{C}$ (кривая 2).

В результате исследования процессов в плоской конструкции перекрытия с двойной теплоизоляцией установлено, что температура бетона при аварийном отключении систем энергообеспечения и термообработки и прекращении термообработки бетона перекрытий жилого дома снижается со скоростью 1...2 часа ($^{\circ}\text{C}/\text{ч}$), т.е. не происходит резкое снижение температуры бетона.

Как следует из результатов исследований (графики *a* и *b* рис. 1, 2, 3), негативные последствия, связанные с аварийным отключением систем энергообеспечения и термообработки бетона, при продолжительности периода аварийного отключения в диапазоне 4...6 часов не нарастают.

Анализ результатов исследований допустимой продолжительности аварийного отключения систем энергообеспечения и термообработки, прекращения процесса термообработки бетона выполнен для трех плоскостей железобетонной плиты перекрытия: контактной поверхности «греющая палуба – бетон» с максимальной температурой бетона, верхней поверхности плиты с минимальной и срединного сечения со средней температурой бетона. Установлена зависимость продолжительности аварийного отключения систем от времени тепловой обработки и начальной температуры бетона. Выявлена также зависимость температуры и прочности бетона от надежности систем энергообеспечения и термообработки и продолжительности их аварийного отключения.

Наиболее опасным с точки зрения возможности развития деструктивных процессов является длительное по продолжительности отключение систем энергообеспечения и термообработки в начальный период, приводящее к снижению температуры бетона на верхней поверхности конструкции.

Продолжительность допустимых перерывов в энергообеспечении для данных условий значительно сокращается. Так, максимальная продолжительность аварийного отключения электроэнергии составляет до 10...12 часов

при условии, что к этому времени бетон достиг температуры не менее $+20^{\circ}\text{C}$, что соответствует часовой продолжительности термообработки бетона.

Резкое сокращение до 6...7 часов допустимого перерыва в термообработке бетона характерно для более раннего отключения электроэнергии – через 1...2 часа от начала термообработки, так как к этому времени температура бетона верхней поверхности конструкции возросла от начальной ($+15^{\circ}\text{C}$) всего на 10... 12 $^{\circ}\text{C}$.

Полученные зависимости позволили установить, что при выполнении этих условий температура бетона конструкции сохранится в пределах $+2...+5^{\circ}\text{C}$, что исключает проявление деструктивных процессов в бетоне.

На основании исследований сделан важный вывод о необходимости учета температурных характеристик бетона в начальный период термообработки на верхней поверхности конструкции. Важным является установление корреляционной связи между средней и минимальной температурой бетона в конструкции.

Анализ свидетельствует о том, что при быстром, в течение 1...4 часов, восстановлении системы энергообеспечения набор прочности бетоном не претерпевает резких изменений.

Однако имеются границы области надежности, при переходе за которые развивается снижение температуры бетона до критической с развитием в бетоне деструктивных процессов. Вполне очевидно, что эти границы будут значительно шире при термообработке теплоизолированных конструкций, чем конструкций без теплоизоляции.

Замедленный набор бетоном прочности наблюдается на графике *z* рисунка 1, характеризующем процесс термообработки бетона с аварийным отключением основной системы энергообеспечения через 2 часа от начала термообработки бетона и переходом на дублирующую систему энергообеспечения в течение 6 часов.

Несмотря на разницу 20 % в прочности бетона фактической (2) и заданной (1) к 8 часам, к 24 часам от начала термообработки бетона эта разница сократилась до 8 %, а к 36 часам прочность составляла 80 %, что соответствовало проектной для данного времени.

Более равномерной является динамика набора прочности бетоном при отключении систем энергообеспечения и термообработки в более поздние периоды – 4...6 часов от начала термообработки. Об этом наглядно свидетельствуют показатели прочности бетона, отраженные на графиках \bar{b} и \bar{z} рисунка 3, характеризующие высокую сходимость фактических (2) и расчетных (1) параметров.

Перерыв в энергообеспечении до 4 часов не оказывает существенного влияния на замедление процесса твердения бетона. Расхождение между фактической (2) и расчетной (1) прочностью к 24 часам не превышает 1...6 %.

Выводы

1. Создан активатор процессов твердения бетона в форме замкнутой герметичной системы тепловой обработки бетона «опалубка – бетонная смесь – твердеющий бетон – бетон Вразопалубочная – Впроектная»,

обеспечивающий интенсификацию набора прочности бетона и значительно сокращающий предел твердения бетона при всесезонном производстве работ, позволивший сблизить «зимнее» и «летнее» бетонирование с обеспечением оптимальных температурно-влажностных условий для формирования однородной высокопрочной структуры бетона, резко сокращающий время негативного воздействия на неокрепшую структуру бетона экстремальных условий.

2. На основе исследований установлены зависимости и закономерности влияния температурных градиентов тепловых полей на формирование структуры бетона в системе «бетонная смесь – твердеющий бетон – бетон Вразопалубочная – Впроектная» с гарантированным обеспечением надежности интенсивной технологии монолитного строительства в экстремальных условиях.

3. Сформулированы положения зависимости надежности интенсивной технологии монолитного строительства в экстремальных условиях от надежности низковольтных термоактивных опалубочных систем, управляемого метода тепловой обработки бетона и остывания конструкций на основе системы «Активатор», дублирующих систем энергообеспечения и термообработки бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минаков Ю. А. Способ возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций: патент Российской Федерации № 2119025. 1997.
2. Минаков Ю. А. Исследование надежности монолитного строительства в экстремальных условиях // Международная научно-практическая конференция "Перспективы развития науки и образования". Часть 3. Тамбов, 2014. С. 112-113.
3. Минаков Ю. А. Монолитное строительство в экстремальных условиях: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. 460 с.

Информация об авторах

МИНАКОВ Юрий Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия. Автор около 300 научных работ и публикаций, заслуженный строитель МАССР, заслуженный строитель РФ, почетный строитель РФ, дважды лауреат государственной премии МАССР. Область научных интересов – монолитное строительство в экстремальных условиях. E-mail: MinakovYA@volgatech.net

UDC 693.5

**THE RELATION STUDY OF THE SYSTEM
OF "INTENSIVE TECHNOLOGY RELIABILITY OF MONOLITHIC
CONSTRUCTION IN EXTREME CONDITIONS – RELIABILITY
OF LOW-VOLTAGE THERMOSETTING FORMWORK SYSTEMS"**

Yu. A. Minakov

Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)

Abstract. The paper studies the process of intensification of monolithic construction technology. A full-pressure system called "Activator" has been developed in the form of a diagram: "formwork – concrete – concrete heat-proofing – the insulating layer moisture insulation" that provides accelerated conductive concrete heat treatment using low-voltage shuttering with the heating elements, equipped with flat graffito- plastic heaters. Concrete heat treatment, thermo physical and heat engineering fundamentals have been studied, technological exposure conductive modes of low conductive thermosetting formwork systems effects on the concrete structures physical and mechanical properties have been considered. The model relies on specific power of the formwork systems with the adopted value of 500 W/m^2 , the ambient air temperature of $20 \text{ }^\circ\text{C}$ and the concrete initial temperature of $+15 \text{ }^\circ\text{C}$. Emergency technological breaks results of concrete thermal treatment are presented in charts showing the interrelation between the heat treatment temperature and concrete strength and the energy supply systems reliability and heat treatment. The research proves that it is necessary to consider the concrete temperature characteristics in the heat treatment initial period on the upper structure surface. It has been revealed that the reduction of the period of emergency shut down from 6 to 2 hours prevents the concrete temperature decrease in the plate central section below $+27 \text{ }^\circ\text{C}$. The research has also shown that the concrete strength did not undergo abrupt changes, provided the system was restored within 1...4 hours. Slow concrete strength development in case of the main power supply system emergency disconnection by 2 hours from the concrete heat treatment beginning and transfer to the redundant power supply system within 6 hours has been revealed. The observations proved the delay in concrete hardening associated with the emergency shutdown of the main power supply system 2 hours after the beginning of heat treatment of concrete and transfer to the redundant power supply system within 6 hours. It is shown that the dynamics of concrete strength development is more uniform when disconnecting of the power supply occurs in the later periods: 4...6 hours from beginning of heat treatment. The break in power supply up to 4 hours has no significant effect on the rate of concrete hardening process.

Keywords: Monolithic construction, extreme conditions, concrete strength, temperature, thermal treatment, shuttering with heating elements, emergency shutdown.

REFERENCES

1. Minakov Yu. A. Sposob vozvedenija monolitnyh betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij: patent Rossijskoj Federacii No 2119025 [Method of erection of monolithic concrete and reinforced concrete structures: patent of the Russian Federation No 2119025], 1997.
2. Minakov Yu. A. Issledovanie nadezhnosti monolitnogo stroitel'stva v jekstremal'nyh uslovijah, *Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija "Perspektivy razvitija nauki i obrazovanija"* [International scientific-practical conference "Prospects of development of science and education"], Chast' Z. Tambov, 2014, pp. 112-113.
3. Minakov Yu. A. Monolitnoe stroitel'stvo v jekstremal'nyh uslovijah: monografija [Monolytic construction in extreme conditions], Yoshkar-Ola: VSUT, 2015, 460 p.

Information about the authors

MINAKOV Yury Aleksandrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction Technology and Roads, Volga State University of Technology. Research interests – monolithic construction under extreme conditions. Author of about 300 scientific publications. Honorary Builder of the MASSR, Honorary Builder of Russia, Honorary Builder of the Russian Federation, laureate of the state prize of MASSR. E-mail: MinakovYA@volgatech.net

Библиографическая ссылка

Минаков, Ю. А. Исследование зависимости в системе «надежность интенсивной технологии монолитного строительства в экстремальных условиях – надежность низковольтных термоактивных опалубочных систем» / Ю. А. Минаков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2017. – № 4. – С. 66-74.