

DOI: 10.12737/24621

Антохин П.И., магистрант,  
Дьяконов И.Т., канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕТОНА И ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКИ В ХОДЕ ВЫДЕРЖИВАНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

pavel-antokhin@rambler.ru

На современном этапе технического развития, где высоко ценятся низкая трудоёмкость, высокая оперативность и представительность измерений, удобные средства хранения и обработки информации, ИК (инфракрасная) термометрия отвоёвывает всё большее пространство. Точное определение температуры бетона (с ошибкой 1 °С и менее, обычно задаваемой по датчику) крайне осложнено: приборные ошибки накладываются на ошибки используемого способа измерений, на ошибки, связанные с обустройством мест измерений и т.п. В относительных показателях скоростей разогрева-остывания, в абсолютном, диапазоне разрешенных температур при выдерживании бетона такая точность выглядит явно избыточной и неоправданной технически и экономически. Рассматривая ИК технику в качестве средства построочного контроля температуры бетона, и при выполнении измерений с её помощью следует учитывать особенности выполнения ИК измерений и факторы, которые могут приводить к существенным ошибкам измерений. Так как эти факторы могут сильно повлиять на результат измерений. Надёжность косвенного МОТБ (метод определения температуры бетона) с применением пирометров обеспечивается применением достоверной расчётной зависимости для определённого типа палуб и соблюдением правил выполнения измерений, обеспечивающих работу этой зависимости в допустимом диапазоне точности.

**Ключевые слова:** инфракрасная техника, контроль температуры бетона, пирометр, тепловизор, температурно-прочностной контроль.

Метод косвенных измерений температуры бетона через опалубку с использованием ИК техники известен относительно недавно [6, 8, 11]. Практика применения ИК техники непосредственно на стройках и редкое упоминание о таком способе измерений температуры бетона в научно-технической литературе по температурному контролю, позволяют утверждать, что к моменту выполнения исследований не выявлено методических разработок, обеспечивающих корректное использование дистанционных ИК измерений в составе объектного температурного контроля при выдерживании бетона монолитных конструкций.

### Технические особенности выполнения ИК измерений применительно к определению температуры бетона

Согласно рекомендациям [15, 16], температуру бетона в ходе выдерживания монолитных конструкций следует определять на глубине 5...10 см от поверхности. ИК приборы принципиально не могут выполнить такие измерения, поскольку они измеряют температуру на поверхности тел. Таким образом, в качестве объекта измерения может выступать любая доступная для проведения измерений поверхность тела:

– при прямых измерениях – открытая поверхность бетона или, как исключение, тонкая

полиэтиленовая плёнка, плотно прилегающая к поверхности бетона без образования складок (для ИК измерителей со спектральным диапазоном измерений 8...14 мкм она прозрачна при минимуме рассеяния);

– при косвенных измерениях – наружная поверхность палубы неутеплённой опалубки (которая выступает в качестве приемлемого носителя информации о температуре бетона).

**Пирометры** выполняют средневзвешенные измерения температуры поверхности в пределах некоторого пятна, размеры которого зависят от типа используемого прибора (показателя визирования, фокусировки), расстояния до измеряемой поверхности и угла наблюдения.

При выполнении измерений пирометрами пятно измерений должно гарантированно находиться на материале измеряемой поверхности, т.е. пятно измерений должно полностью уместиться на исследуемой поверхности и в нём не должны оказываться посторонние предметы и детали (например, стальное ребро опалубки или часть, утепления, наплыв бетона или грязи). Этому способствует применение пирометров с указателями ширины пятна измерений (две и более точки лазера), применение приборов с малым углом ИК визирования (высоким показате-

лем визирования или оптическим отношением), либо уменьшение дистанции измерений. Указанное требование вызвано необходимостью предотвращения существенных искажений результатов ИК измерений за счёт температуры окружающего воздуха и окружающих предметов.

Тепловизоры позволяют не просто определять температуру в какой-то точке, а видеть полное тепловое отображение объектов (сканирование в реальном времени, фото, видео). В большинстве случаев тепловизоры лишены проблем с нацеливанием на объект. Размер захватываемого изображения зависит от дистанции и угла ИК визирования. Для увеличения угла ИК визирования могут применяться съёмные широкоугольные объективы.

### Расчётное определение температуры бетона через ограждения при ИК измерениях

Основным видом доступных поверхностей при осуществлении температурного контроля с использованием ИК термометрии на раннем этапе выдерживания бетона являются опалубка, - она надёжно контактирует с бетоном, часто не утеплена или может предусматривать в утеплении ниши и окна для пирометрических измерений. Наружные поверхности утеплителя и материала укрытия, особенно имеющие воздушный зазор с поверхностью конструкции, не могут рассматриваться в качестве приемлемого носителя информации о температуре бетона.

Теоретически, допуская знание значения коэффициента теплопроводности материала палубы, можно определять температуру бетона за плоской тонкой стенкой палубы на основе стационарного уравнения Фурье теплопроводности первого рода [7]. Тогда, решив задачу равенства тепловых потоков (1) по закону сохранения энергии, будем иметь:

$$\frac{1}{R} (t_{\text{б}} - t_{\text{п}}) = \alpha (t_{\text{п}} - t_{\text{нв}}) \quad (1)$$

$$t_{\text{б}} = \alpha R (t_{\text{п}} - t_{\text{нв}}) + t_{\text{п}} \quad (1a)$$

где  $R$  – термическое сопротивление ограждения;  $\alpha = \alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}$  – коэффициент теплоотдачи воздуха;  $t_{\text{б}}$  – температура бетона под ограждением;  $t_{\text{п}}$  – температура наружной поверхности ограждения;  $t_{\text{нв}}$  – температура окружающего воздуха (среды).

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения состоит из лучистой ( $\alpha_{\text{л}}$ ) и конвективной ( $\alpha_{\text{к}}$ ) составляющих, которые определяются с учётом, соответственно; степени черноты поверхности ( $\varepsilon$ ) и скорости ветра ( $V$ ).

Лучистую составляющую теплоотдачи в технической литературе часто предлагается искать по упрощённым формулам, которые заслу-

живают отдельной проверки. Однако наиболее достоверно считается определять её на основе закона Стефана-Больцмана, согласно которому, плотность интегрального полусферического излучения абсолютно черного тела зависит только от его температуры и изменяется пропорционально четвертой степени этой абсолютной температуры [7], т.е. поток тепла от излучающей поверхности в этом случае  $q_{\text{л}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot t_{\text{н}}^4$ . Лучистая составляющая коэффициента теплоотдачи с учётом температуры наружного воздуха отсюда может быть выражена:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{(T_1^4 - T_2^4)}{t_{\text{п}} - t_{\text{нв}}} \quad (2)$$

где

$$T_1 = 273 + t_{\text{п}}; T_2 = 273 + t_{\text{нв}}$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $\varepsilon = 0 \dots 1$  – степень черноты излучающей поверхности.

Похожее выражение используется в [4]: наглядно количественные и качественные изменения  $\alpha_{\text{л}}$  по зависимости (2) показаны на рис. 1.

Конвективный теплообмен обусловлен совместным действием конвективного и молекулярного переносов теплоты. В первом случае носителями являются макрочастицы (моли), во втором – микрочастицы; микрочастицы, осуществляют хаотическое тепловое движение; движение макрочастиц – «видимое» движение (т.е. доступное визуальному наблюдению). В технической литературе принято считать, что для рассматриваемого случая теплоотдачи с поверхности опалубки коэффициент конвективной составляющей теплоотдачи зависит только от конвективного переноса теплоты, то есть скорости ветра.

Конвективная составляющая коэффициента теплоотдачи, как правило, даётся в виде формул, таблиц значений или графиков, представляющих собой эмпирические данные [3, 4, 9, 10]. Однако эти зависимости имеют между собой некоторые расхождения, что может существенно сказываться на результатах расчёта. Так, в [5] предлагаются табличные значения  $\alpha_{\text{к}}$  в зависимости от скорости ветра, а также формулы, например, для тел прямоугольного и квадратного сечений:

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{[4,32(1,293 - 0,058 t_{\text{нв}}) V]^{0,8}}{\delta_{\text{к}}^{0,25}} \quad (3)$$

где  $V$  – скорость ветра;  $\delta_{\text{к}}$  – толщина конструкции.

В [6, 8, 12] приводится график изменения  $\alpha_{\text{к}}$  от скорости ветра. В руководстве [12] в формулах вычислений теплопотерь в качестве коэффициента конвективной теплоотдачи с поверхности присутствует выражение вида  $3 + 10 \cdot \sqrt{V}$ . В работе [9] определялся коэффициент теплопере-

дачи приповерхностной воздушной прослойки, где коэффициент конвективного теплообмена получен на основании теории подобия, а коэффициент лучистого теплообмена на наружной поверхности — на основе расчетов по закону Стефана-Больцмана.

Наиболее полно вопросы теплоотдачи с поверхности бетона и опалубки рассматриваются в работах [3, 4]. Автором последней работы показано, что локальные и средние значения конвективной теплоотдачи по граням экспериментального куба существенно зависят от скорости и направления ветрового потока, однако при этом

средняя теплоотдача весьма слабо зависит от угла атаки воздушного потока ( $\pm 5\%$ , что находится в пределах погрешности измерений). Там же указывается; что при увеличении скорости ветра с 4 до 12 м/с теплоотдача конвекцией увеличивается вдвое, а при увеличении температуры бетона с 40 до 70 °С теплотери лучеиспусканием увеличиваются в 1,75 раза, конвекцией – в 1,5 раза. Для рядом стоящих конструкций теплотери конвекцией, в зависимости от расстояния между этими конструкциями, могут сокращаться до 25 %.

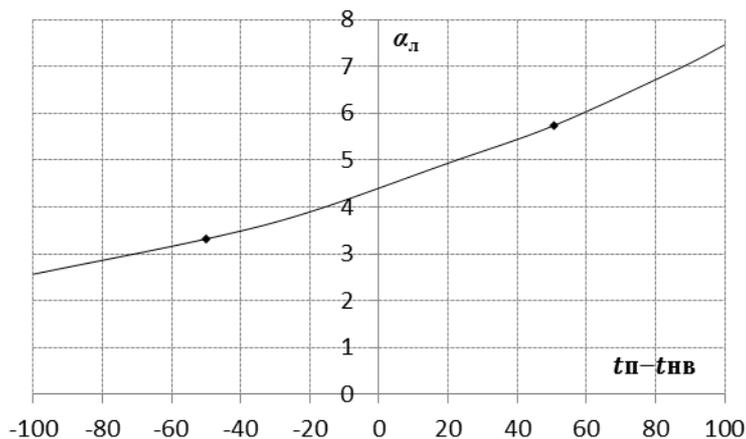


Рис. 1. Коэффициент теплоотдачи: Изменение лучистой составляющей (при  $\epsilon=0,95$ )

Уточнять изменение конвективной составляющей теплоотдачи у конкретной поверхности от скорости ветра возможно экспериментальным путём при известных характеристиках ограждения ( $R$ ), измеренных  $t_n, t_{\sigma}, t_{нв}$  и различных скоро-

стях ветра. Тогда  $\alpha_k$  вычленяется из (4) с учётом (2) и запишется:

$$T_{\Phi} = \frac{T_{нв}}{\sqrt{\epsilon}} \tag{4}$$

$$\alpha_k = \frac{t_{\sigma} - t_{п}}{R(t_{п} - t_{нв})} - \frac{\sigma \epsilon [(273 + t_{п})^4 - (273 + t_{нв})^4]}{t_{п} - t_{нв}} \tag{5}$$

$$t_{\sigma} = \left[ \frac{\sigma \epsilon [(273 + t_{п})^4 - (273 + t_{нв})^4]}{t_{п} - t_{нв}} + \alpha_k \right] R(t_{п} - t_{нв}) + t_{п} \tag{6}$$

С учётом вышеизложенного, формулу (1) для определения температуры бетона по температуре поверхности ограждения приведём к следующему виду.

Достоверность и надёжность вычисления температуры бетона на основе зависимости (6) проверялись при дальнейших экспериментальных исследованиях.

**Расчётное исследование влияния скорости ветра на температуру палубы**

Влияние скорости ветра на температуру поверхности ограждения заложено в конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи воздуха ( $\alpha_k$ ). Для оценки степени этого влияния и выяснения необходимости учитывать скорость ветра при ИК измерениях выполнен вычислительный эксперимент, устанавливающий воз-

можное изменение температуры на поверхности опалубки от действия ветровой инварианты.

Температура поверхности ограждения находилась из соотношения (4), при этом применялся итерационный способ поиска  $t_n$  при определении теплоотдачи с поверхности ограждения.

На основе расчёта получена температура поверхности для неутеплённой фанерной палубы (толщиной 21мм) в зависимости от возможных температур бетона и скорости ветра при постоянной температуре наружного воздуха. Полученные количественные и качественные характеристики изменения температуры поверхности от скорости ветра наглядно показаны на рис. как графики температурных отклонений  $\Delta t = [t_n(V=0) - t_n(V>0)]$ :

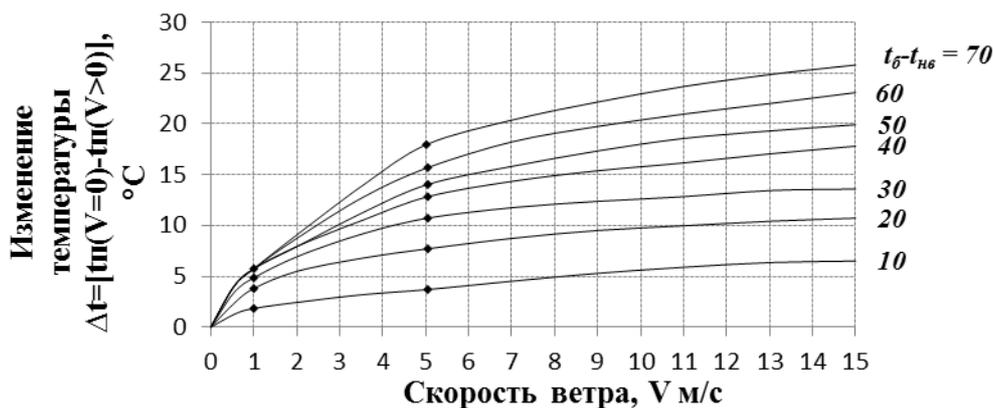


Рис. 2. Изменение температуры поверхности фанерной палубы ( $R=0,175\text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$ ) от действия ветра ( $V=0\dots 15\text{ м}/\text{с}$ ): зависимость величины отклонения  $\Delta t$  от скорости ветра и величины температурной разности  $t_\delta - t_{нв}$ . Принятый коэффициент конвективной теплоотдачи подчиняется зависимости  $\alpha_k = 3,25 + (6 \cdot V)^{0,8}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{°C}$ ;  $\varepsilon = 0,95$

Результаты вычислений показывают, что ветер, скорость которого более 1 м/с, может вызывать существенные колебания температуры на поверхности опалубки, и тем больше, чем выше температура бетона (больше разность температуры бетона и воздуха, далее  $t_\delta - t_{нв}$  или «бетон-воздух»).

Далее рассматривалось влияние скорости ветра на температуру наружной поверхности ограждений, различных по термическому сопротивлению. Для этого были рассчитаны значения температур поверхности ограждений с разными значениями термического сопротивления в одинаковых термодинамических условиях (рис. 33).

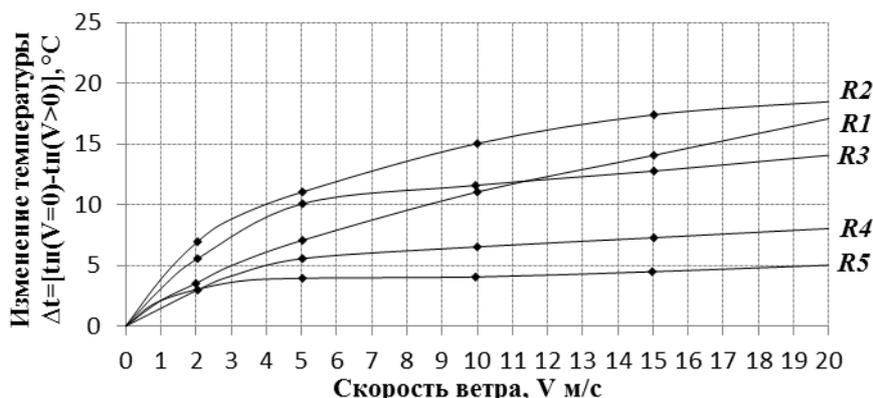


Рис. 3. Изменение температуры поверхности от действия ветра для различных ограждений:  $R1$  – бетонная оболочка 20 мм  $0,011=0,02/1,86$ ;  $R2$  – фанера 21 мм  $0,124=0,021/0,17$ ;  $R3$  – вспененный полиэтилен 10 мм  $0,244=0,01/0,041$ ;  $R4$  – вспененный полиэтилен 20 мм  $0,488=0,02/0,041$ ;  $R5$  – минплита 50 мм  $1,042=0,05/0,048$ ;  $R = \delta/\lambda$ ;  $t_\delta = +40\text{ °C}$ ;  $t_{нв} = -10\text{ °C}$ ;  $\varepsilon = 0,95$ ;  $V = 0\dots 15\text{ м}/\text{с}$  ( $\alpha_k = 3,25 + (6 \cdot V)^{0,8}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{°C}$ ).

Показательно, что максимальные температурные отклонения  $\Delta t = [t_n(V=0) - t_n(V>0)]$  свойственны средним значениям термического сопротивления ограждений ( $R = 0,05\dots 0,3\text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$ ), куда входит основная масса стандартных палуб, применяющихся в большинстве типов опалубок [14, 20]. При этом, как показано в работе [4], угол атаки воздушного потока на теплопередачу ограждений за счёт теплопроводности не влияет, и в расчетах не учитывается.

**Результаты исследований косвенного МОТБ (метод определения температуры бетона) с применением пирометров**

В результате анализа данных производственных наблюдений и экспериментов, по рассматриваемым вопросам можно сделать следующие выводы:

Особенности выполнения измерений.

При выполнении ИК измерений необходимо учитывать указанные вначале статьи особенности для предотвращения значительных ошибок в определении температуры поверхности палубы. Нужно избегать возможных помех в поле визирования, непременно добиваться положения пятна измерений строго на палубе между смежными рёбрами или балками опалубки. На палубе, в местах замеров, не должно быть сильных повреждений (пропилов, отслоений),

грязи, налипшего бетона и толстой плёнки цементного молока.

Ввиду возможных «осечек» прибора, которые могут происходить достаточно часто, следует применять дублирование измерений.

Для повышения точности определения температуры бетона предъявляются определённые требования к выполнению измерений температуры воздуха. Она должна определяться у наблюдаемых конструкций в зоне выполнения основных измерений по палубе, особенно если конструкции прогреваются в условиях слабой конвекции (большая группа близко расположен-

ных стен или колонн, перекрытие, опёртое на 3-4 стены по контуру и т.п.).

#### Влияние внешних воздействий.

При скорости ветра, менее 0,5 м/с расчёты выполняются достаточно корректно, причём время установления стационарного распределения температур не превышает 1 часа для небольшого значения температурной разности  $t_{\sigma} - t_{не}$  (менее 10 °С) и около 20 мин для большей температурной разности (рис.4). Также следует отметить, что при небольших значениях  $t_{\sigma} - t_{не}$  температура поверхности, в основном, обусловлена влиянием внешних дестабилизирующих факторов:

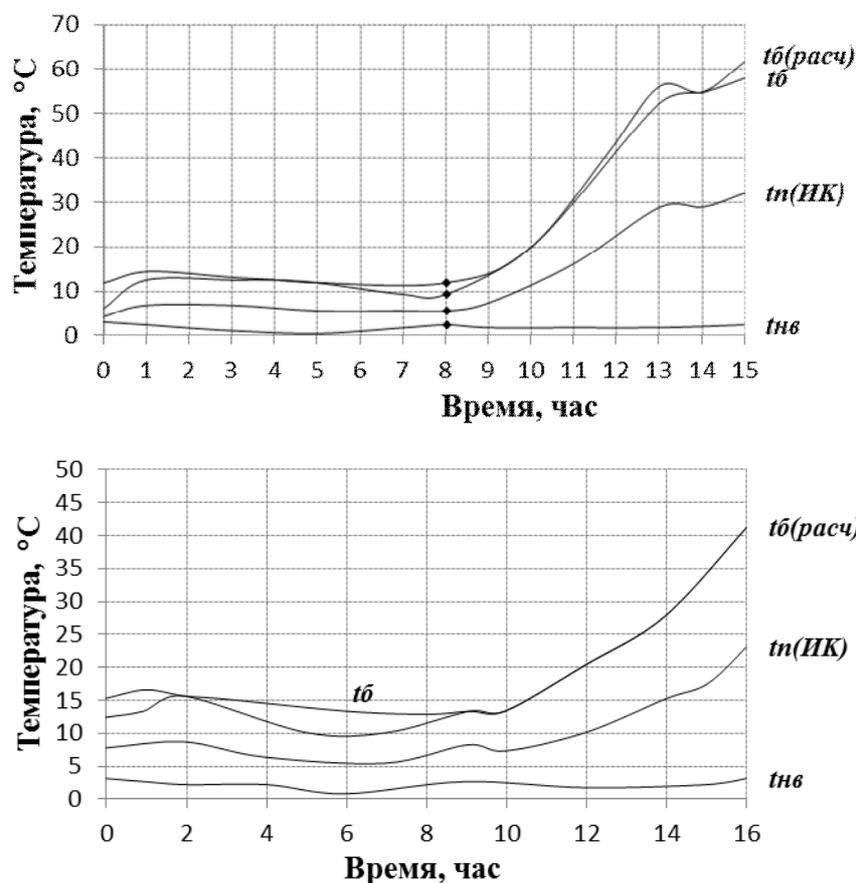


Рис. 4. Примеры серий наблюдений при скорости ветра 0...0,5 м/с:  $t_{\sigma}$  - температура на границе бетон-опалубка;  $t_{не}$  - температура окружающего воздуха;  $t_n(ИК)$  — температура поверхности палубы, измеренная пирометром;  $t_{\sigma}(расч)$  - расчётная температура бетона на границе с палубой по значениям  $t_n(МК)$ . При расчётах скорость ветра принята 0 м/с ( $\alpha_k=3,77$ ), ограждение - фанерная палуба 21 мм ( $R=0,124$ ), степень черноты поверхности  $\varepsilon=0,95$

Однако уже при скоростях ветра 0,5...1 м/с можно наблюдать характерные возмущения температур, которые ещё компенсируются расчётом, учитывающим скорость ветра. При увеличении скорости ветра свыше 1 м/с, который, как правило, имеет порывистый характер, расчёты дают неверные результаты. Это можно объяснить нарушением стационарного распределения температур по толщине ограждения за счёт ветровой инварианты. Температура поверхностных слоев ограждения может быстро снижаться

под воздействием порывов ветра, но восстановление относительно стационарного состояния затем занимает значительное время. Такая выраженная односторонняя инерционность характерна, как было отмечено при выполнении вычислительного эксперимента, для наиболее распространённого материала опалубки – фанеры.

Фанера с пластиковым покрытием ещё более чувствительна к наличию ветра по сравнению с обычной ламинированной – заметные скачки температур наблюдаются уже при скоро-

сти ветра 0,5 м/с, а ошибки в определении температуры бетона при этом могут достигать 10-ти градусов.

Для металлической опалубки столь выраженного эффекта не наблюдается. Кроме того, для металлической палубы характерно практически полное совпадение как фактических, так и расчётных значений температур бетона с измеренными на внешней поверхности опалубки за счёт очень низкого термического сопротивления ограждения. Однако, несмотря на незначительность влияния скорости ветра на температуру поверхности в расчётном плане, в практических наблюдениях это влияние прослеживается вполне отчётливо.

Существенным искажающим фактором является прямое облучение поверхности опалубки солнцем, в этом случае, когда измерена температура нагретой солнцем палубы, расчеты температуры бетона будут происходить с недопустимо большой ошибкой в сторону её завышения.

Недопустимо большие ошибки в определении температуры бетона будут и при любых других внешних воздействиях, вызывающих кратковременный или длительный нагрев наружной поверхности палубы: это и отражённый солнечный свет, и интенсивное тепловое излучение (в т.ч. ИК) от промышленных нагревательных установок, и тёплый воздух от теплогенератора. Следует отметить, что при внешнем обогреве конструкций теплогенераторами (при выдерживании конструкций в тепляках) температура бетона косвенным способом может быть определена достаточно корректно, но только если тепляк достаточно большой (отсутствует циркуляция горячего воздуха вдоль поверхности палубы, на которой производятся измерения), а изменения температуры в тепляке происходят плавно (не более 5°C/ч).

#### Расчётные зависимости для определения температуры бетона.

Анализ результатов проводимых натурных исследований показывает, что теоретическая зависимость для определения температуры бетона (6) может использоваться (рис.) при условии ограничения внешних воздействий в зоне измерений и при соблюдении определённых правил выполнения измерений.

Полученное экспериментально уравнение для измерений по палубе из фанеры толщиной 21мм имеет вид (рис.):

$$t_{\delta} = 0,68(t_{\text{п}} - t_{\text{нв}}) + t_{\text{п}} \quad (7a)$$

Если принять постоянным коэффициент теплоотдачи с поверхности опалубки  $\alpha$ , то аналитическое уравнение (1a) можно привести к виду линейных корреляций:  $t_{\delta} = B_1(t_n - t_{\text{нв}}) + t_n$  при

$B_1 = \alpha R$ . Для удобства сравнения аналитические уравнения для расчёта температуры бетона по измерениям температуры палубы и воздуха были приведены к виду линейных корреляций при  $\alpha = 8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$  ( $\alpha_k = 3$  при  $V = 0 \text{ м/с}$ ;  $\alpha_n = 5$  при  $t_n - t_{\text{нв}} = 20 \text{ °C}$  и  $\varepsilon = 0,95$ ):

– для фанеры 21мм опалубки вертикальных конструкций ( $R = 0,124$ ):

$$t_{\delta} = 0,988(t_{\text{п}} - t_{\text{нв}}) + t_{\text{п}} = 2t_{\text{п}} - t_{\text{нв}} \quad (7)$$

– для фанеры 18мм опалубки горизонтальных конструкций ( $R = 0,106$ ):

$$t_{\delta} = 0,848(t_{\text{п}} - t_{\text{нв}}) + t_{\text{п}} \quad (8)$$

Очевидно, что экспериментальное и аналитическое уравнения (при постоянном значении коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  имеют определённые различия, что не было выявлено сразу при наложении графиков (см. рис.). Различия могут быть вызваны несопадением принятых значений термического сопротивления ограждения и коэффициента теплоотдачи с фактическими.

При оценке точности определялась дисперсия данных эксперимента относительно аналитического уравнения (6) при постоянных значениях  $\alpha_k = 3,77 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$  (при  $V = 0 \text{ м/с}$ ) и  $\varepsilon = 0,95$  для рассматриваемых ограждений из фанеры 21мм.

#### Оценка точности.

Ошибки определения температуры бетона будут складываться:

- из ошибок измерительного прибора;
- из производственных ошибок при измерении температуры палубы и температуры воздуха возле конструкции;
- из ошибок, связанных с несоответствием расчётных и фактических температурных распределений в толще ограждения на момент измерений;
- из степени увеличения ошибок  $(t_{n2} - t_{n1}) / (t_{\delta 2} - t_{\delta 1})$  связанной с величиной коэффициента перевода расчётной зависимости, и увеличивающейся при увеличении  $t_{\delta} - t_{\text{нв}}$ .

При этом точность метода будет повышаться преимущественно за счёт снижения ошибок первых трёх типов посредством соблюдения правил выполнения измерений. В определённой мере повышению точности должно способствовать использование, экспериментальных зависимостей вместо аналитических.

Результаты оценки дисперсии данных эксперимента относительно аналитического уравнения показывают, что стандартная ошибка  $S_r$  ( $n = 155$ ) косвенного определения температуры бетона ИК измерениями равна около 3 °C, а максимальные ошибки составляют до 9 °C (

рис. ). Увеличение ошибки при использовании аналитической зависимости незначительно – на 0,3 °С. Таким образом, можно принять, что ана-

литическая зависимость (6) для использования годится, а точность метода в определении температуры бетона составляет 3 °С.

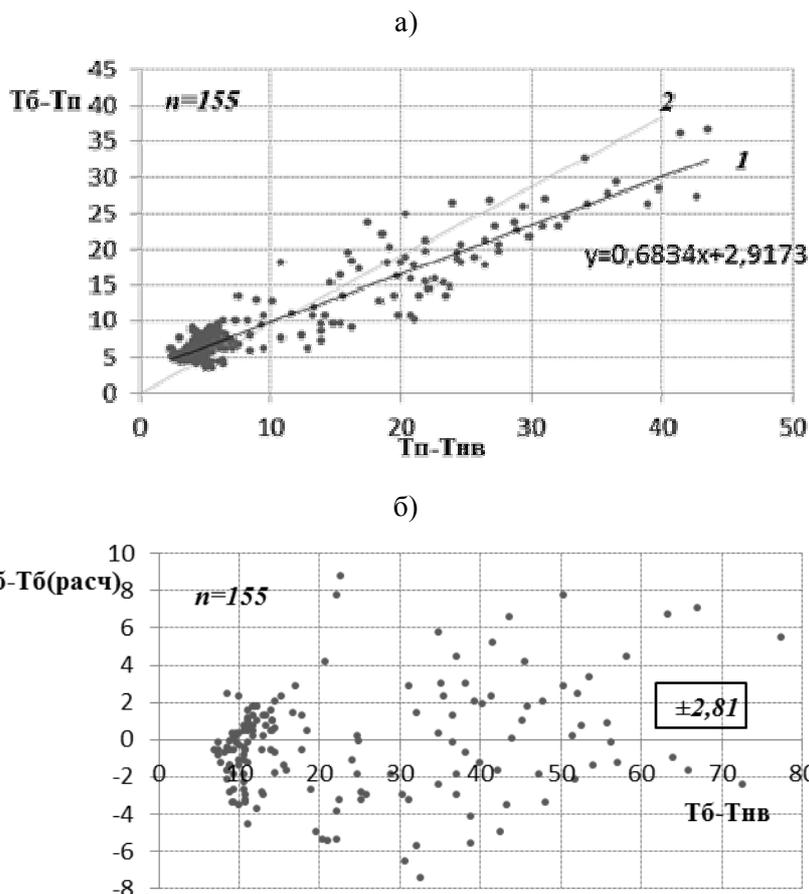


Рис. 5. а) Построение расчётной корреляции по данным эксперимента для ограждений из фанеры 21мм: 1 – экспериментальная корреляция (7а); 2 – аналитическое уравнение (7). б) Оценка ошибок определения температуры бетона для полученной экспериментальной зависимости.

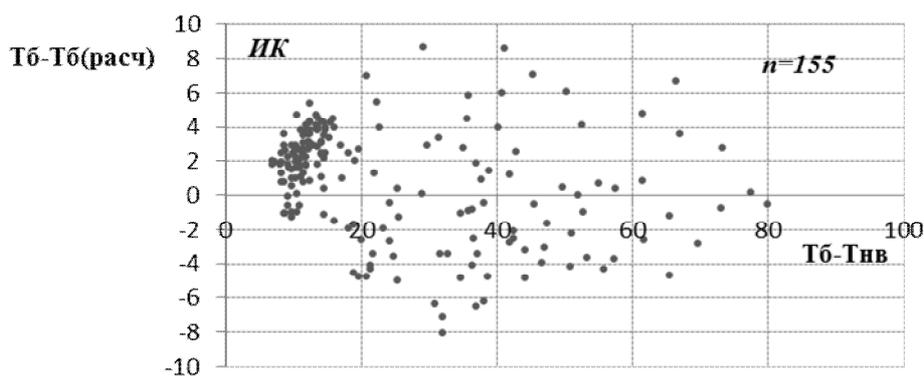


Рис. 6. Характер распределения ошибок определения температуры бетона косвенным способом с применением пирометров

Выполненный эксперимент позволяет сделать вывод, что для производственных измерений с применением пирометров, имеющих приборную ошибку до ±2 °С, стандартная и максимальная ошибки не превышают 4 °С и 10 °С соответственно, а в случаях использования измерительных средств с большими приборными

ошибками (до ±5 °С) – 6 °С и 15 °С соответственно.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Афанасьев П.Г. Инженерная подготовка зимнего бетонирования // Строительная газета. 2002. №41 (11 октября). С.5.

2. Волков В.Ю. Исследование температурных распределений в стеновой конструкции при обогреве нагревательными проводами: дисс. ... магистра; Москва, МГСУ, 2003. С. 422.

3. Гныря А.И. Теплозащита бетона монолитных конструкций в зимнее время: дисс. ... докт. техн. наук; Томск, ТИСИ, 1992. С. 275.

4. Коробков С.В. Тепло-и влагозащита бетона при возведении монолитных зданий в зимних условиях с применением туннельной опалубки: дисс. ... канд. техн. наук; Томск, ТГАСУ, 2001. С. 322.

5. Инструкция по применению химических добавок в бетонах и растворах для сельского строительства. ОСН-АПК 2.10.32.001-04. Москва 2004.

6. Комиссаров С.В. Система температурно-прочностного мониторинга за состоянием бетона при устройстве монолитных конструкций // Обеспечение качества несущих конструкций при всесезонном монолитном домостроении: сб. статей по материалам семинара - совещания «Монолитное домостроение: отечественная и зарубежная опалубка, способы ведения работ»; Москва, 20 апреля 2000г. / Правительство Москвы, Московская лицензионная палата, ГУ «Мосстройлицензия». М., 2000.

7. Прибытков И.А. Теоретические основы теплотехники. М.: Академия, 2004. 464 с.

8. Ремейко О.А. Технологическое сопровождение всесезонного монолитного строительства // Обеспечение качества несущих конструкций при всесезонном монолитном домостроении: сборник статей по материалам семинара совещания «Монолитное домостроение: отечественная и зарубежная опалубка, способы ведения работ»; Москва, 20 апреля 2000г. / Прави-

тельство Москвы, Московская лицензионная палата, ГУ «Мосстройлицензия». Москва, 2000.

9. Рымаров А.Г. Изменение коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности ограждающих конструкций высотного здания в холодный период // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2006. №1. С. 14–16.

10. Соломатов В.И. Особенности зависимости прочности бетона от активности и расхода цемента // Бетон и железобетон. 1999. №2. С. 22–23.

11. Титасв В.А. Прогнозирование прочности бетона на основе данных температурного контроля // Технологии бетонов: 2007. №3(14). С. 66–67.

12. Рекомендации по электрообогреву монолитного бетона и железобетона нагревательными проводами. М.: ЦНИИОМТП, 1989.

13. Марьямов Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона. М.: Стройиздат, 1970. 137 с.

14. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции / ГУЛ НИИЖБ Госстроя России. Москва, 2004. 59 с.

15. ГОСТ 10181-2000 Смеси бетонные. Методы испытаний / НИИЖБ Москва, 2001. 23 с.

16. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции / ЦНИИПСК им. Мельникова. М., 2012. 923 с.

17. Malhotra, V.M. In-place evaluation of concrete // Journal of Construction Division, Proceedings of American Society of Civil Engineers. 1975. Vol.101. P. 23–26.

18. Guide to Formwork for Concrete / Reported by ASI. Gommitee 347, American concrete institute, 1994. 34 P.

---

**Antokhin P.I., Diakonov I.T.**

#### **INFLUENCE EXTERNAL INFLUENCES ON THE ACCURACY OF TEMPERATURE CONCRETE FEATURES AND PERFORMANCE MEASUREMENT WITH INFRARED TECHNOLOGY IN THE AGING MONOLITHIC STRUCTURES**

*At the present stage of technological development, where low labor intensity are highly valued, high efficiency and representativeness of measurements, a convenient means of storing and processing information, the infrared (IR) thermometry recaptures more and more space. The exact definition of the concrete temperature (with an error of 1 °C or less, usually defined by the sensor) is extremely complicated: Instrumental errors superimposed on the error measurement method used, on the errors associated with the arrangement of the measurement sites, etc. In relative terms, the rates of heating-cooling, in the absolute, the range of allowed temperatures when exposed concrete such accuracy looks obviously excessive and unjustified technically and economically. Considering the IR technique as a means postroechnyh control the concrete temperature, and when performing measurements using its implementation should be tailored to suit the IR measurements and factors that can lead to significant measurement errors. Since these factors can greatly affect the measurement result. Reliability indirect MOTB (method of determining the temperature of the concrete) with pyrometers is achieved by using the calculated accurate according to a certain type of decks and compliance with the measurement rules to ensure the work of this relationship within the allowable range of accuracy.*

**Key words:** *infrared technology, control concrete temperature, thermometer, thermal imager, temperature and strength control.*

---

**Антохин Павел Игоревич**, магистрант кафедры технология и организация строительного производства.  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.  
Адрес: Россия, Москва, Ярославское ш.,26.  
E-mail: pavel-antokhin@rambler.ru

**Дьяконов Игорь Тихонович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технология и организация строительного производства.  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.  
Адрес: Россия, Москва, Ярославское ш.,26.