

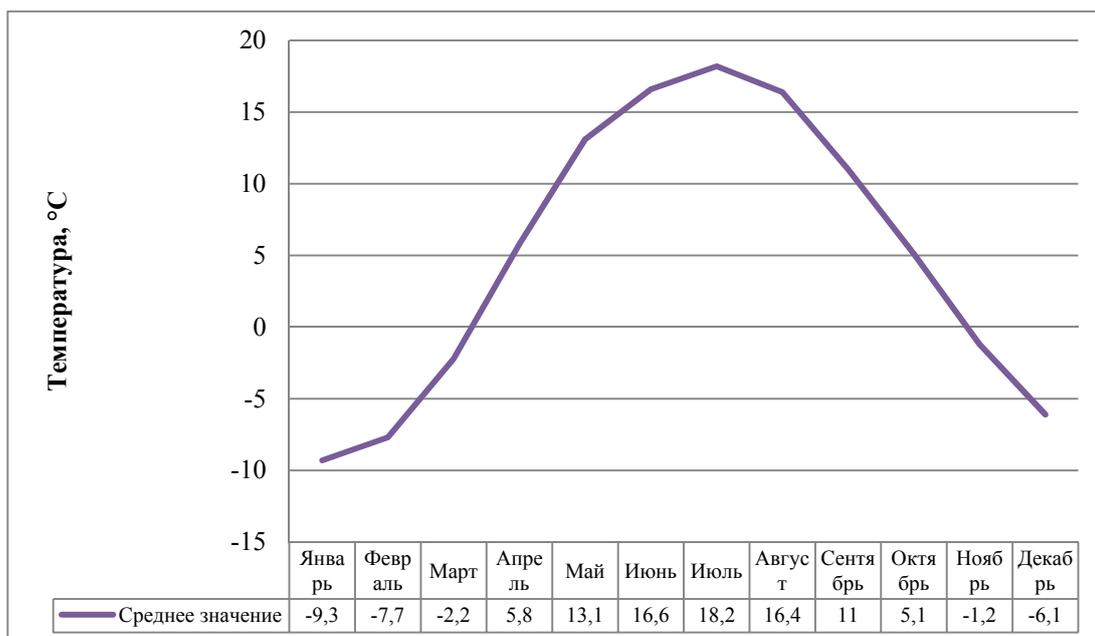
## Оценка рисков устройства фасадных теплоизоляционных композиционных систем при суточных колебаниях температуры воздуха ниже +5°C

*К.т.н., заведующий НИИЛ Климатических испытаний С.А. Пашкевич\*;  
к.т.н., директор НИИ СМИТ А.П. Пустовгар;  
м.н.с. А.О. Адамцевич,  
ФГБОУ ВПО Московский государственный строительный университет*

**Ключевые слова:** гидратация; температура; модель; система; испытание

Правильный выбор технологии производства работ по устройству систем фасадных теплоизоляционных композиционных (далее по тексту – СФТК) является одним из основополагающих факторов обеспечения высоких эксплуатационных характеристик конечного продукта. Существенную роль при проведении работ по устройству СФТК играет температурный режим [1]. По данным [2], допустимые температурные условия протекания процессов гидратации большинства гидравлических вяжущих находятся в интервале (+5...+30)°С, производители СФТК не рекомендуют проводить работы по устройству штукатурных слоев при среднесуточных температурах ниже отметки +5°C. Это связано с повышенным риском замерзания свежеложенного штукатурного раствора, приводящему к деструктивными изменениям поровой структуры материала и снижением его эксплуатационных характеристик, что показано в работах [3-6].

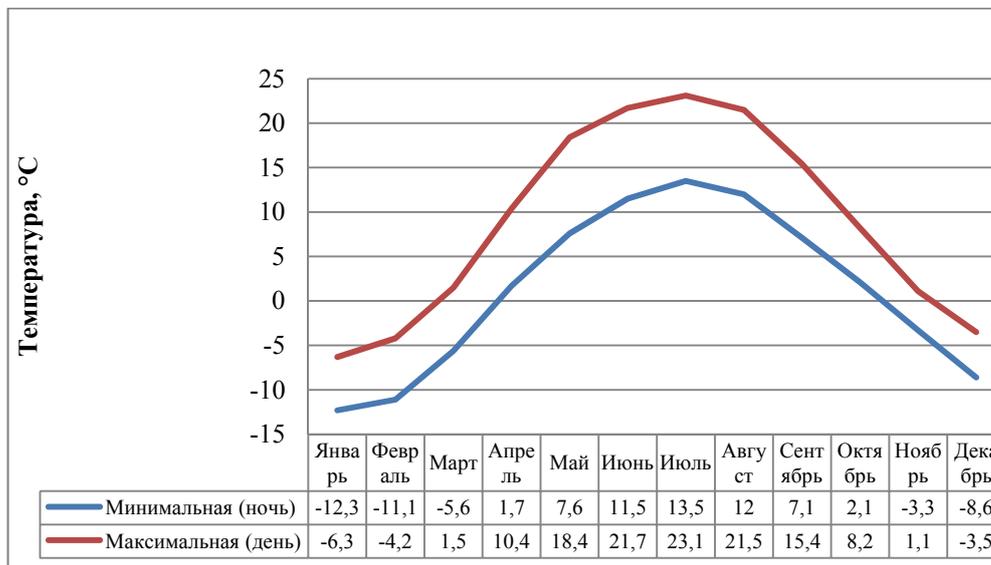
Для решения данной проблемы ряд производителей СФТК предлагает линейку «зимних» продуктов, содержащих в своем составе модифицирующие добавки, позволяющие проводить работы по устройству штукатурных слоев при среднесуточных колебаниях температуры ниже +5°C. Обоснованность такого решения подтверждается результатами исследований [7-17]. Несмотря на это, большинство отечественных компаний завершают штукатурные работы до начала периода преобладания пониженной температуры ввиду технологических и экономических аспектов. Эти аспекты связаны как с высокой по отношению к базовому продукту стоимостью «зимних» материалов, так и с технологическими особенностями производства штукатурных работ при пониженных температурах.



**Рисунок 1. Значения среднесуточной температуры для Москвы**

Стоит отметить, что период со среднесуточной температурой  $+5^{\circ}\text{C}$  является весьма условным и зачастую при производстве штукатурных работ принимает фактическое значение, зафиксированное на момент монтажа. На рис. 1 отображены данные о среднесуточной температуре воздуха для Москвы (по данным Гидрометцентра России).

Падение температуры ниже предельно допустимого значения в ночное время, а также непрогнозируемые заморозки повышают риск снижения эксплуатационных характеристик штукатурных слоев за счет замедления (или прекращения) процессов гидратации гидравлических вяжущих в составе свежесуложенных штукатурных растворов. На рис. 2 приведены данные о суточных колебаниях температуры для г. Москвы (по данным Гидрометцентра России).



**Рисунок 2. Суточные колебания температуры воздуха для Москвы**

Для оценки рисков снижения эксплуатационных характеристик штукатурных слоев было проведено полномасштабное лабораторное моделирование процесса производства работ по устройству штукатурных слоев СФТК при нестабильных суточных колебаниях температуры воздуха.

В качестве экспериментальной установки использовался мобильный стенд для испытаний фасадных покрытий WK'10/40-90\* (рис. 3) с достаточным количеством места для размещения в нем небольшой группы рабочих.



**Рисунок 3. Мобильный стенд для испытаний фасадных покрытий WK'10/40-90\***

Для построения модели климатических испытаний были проанализированы данные Гидрометцентра России о значениях среднесуточной температуры (рис. 1) и суточных колебаниях температуры воздуха (рис. 2). По результатам анализа были выбраны схожие температурные условия апреля и октября. Ежесуточные нормы средней температуры воздуха для данных месяцев приведены на рис. 4-5.

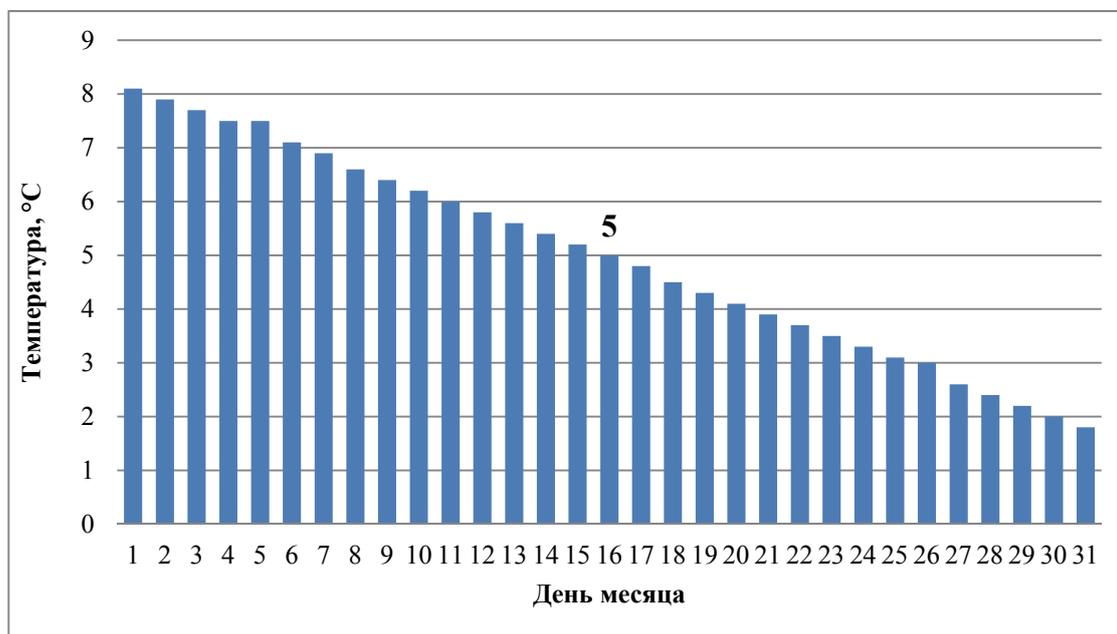


Рисунок 4. Ежесуточные нормы средней температуры воздуха октября для Москвы

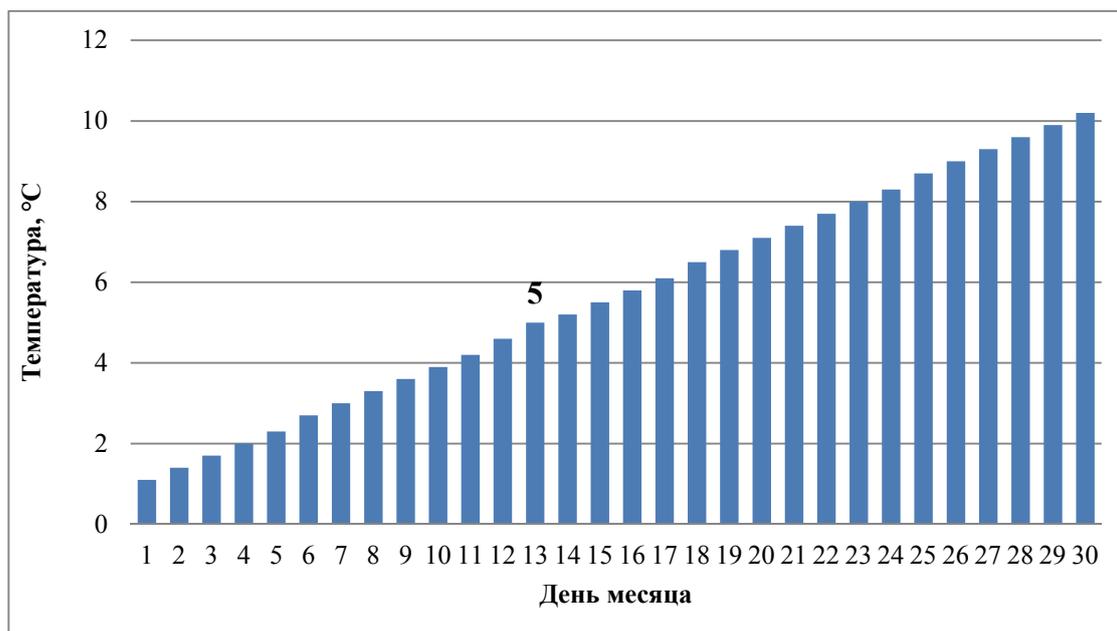
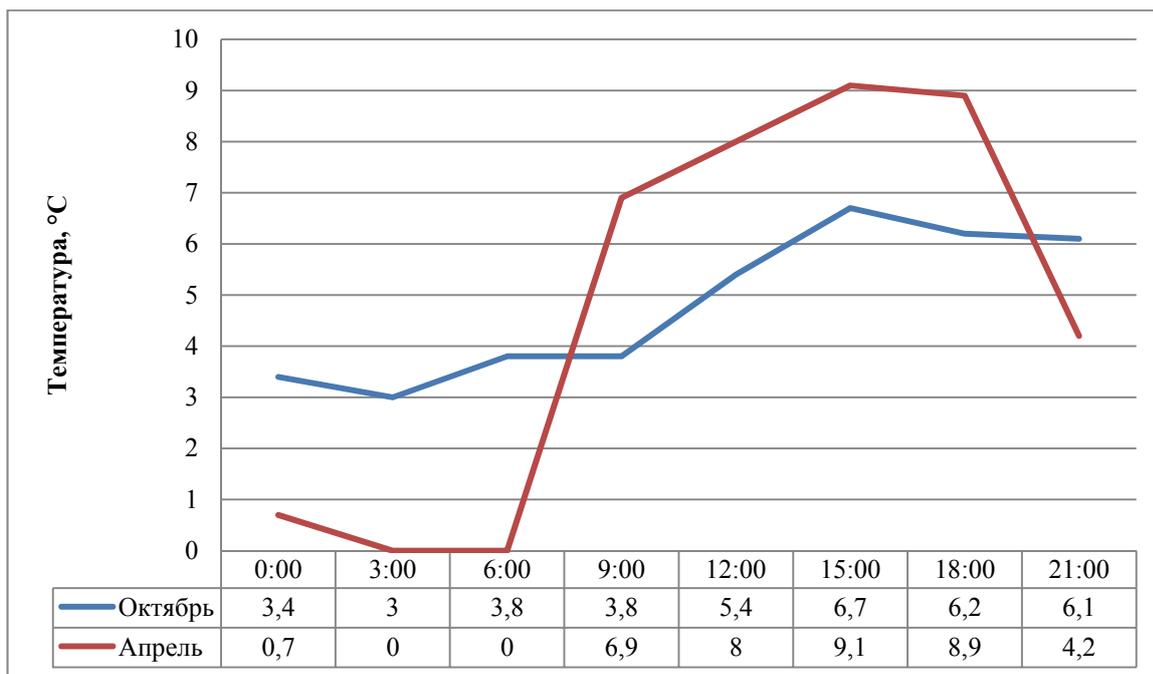


Рисунок 5. Ежесуточные нормы средней температуры воздуха апреля для Москвы

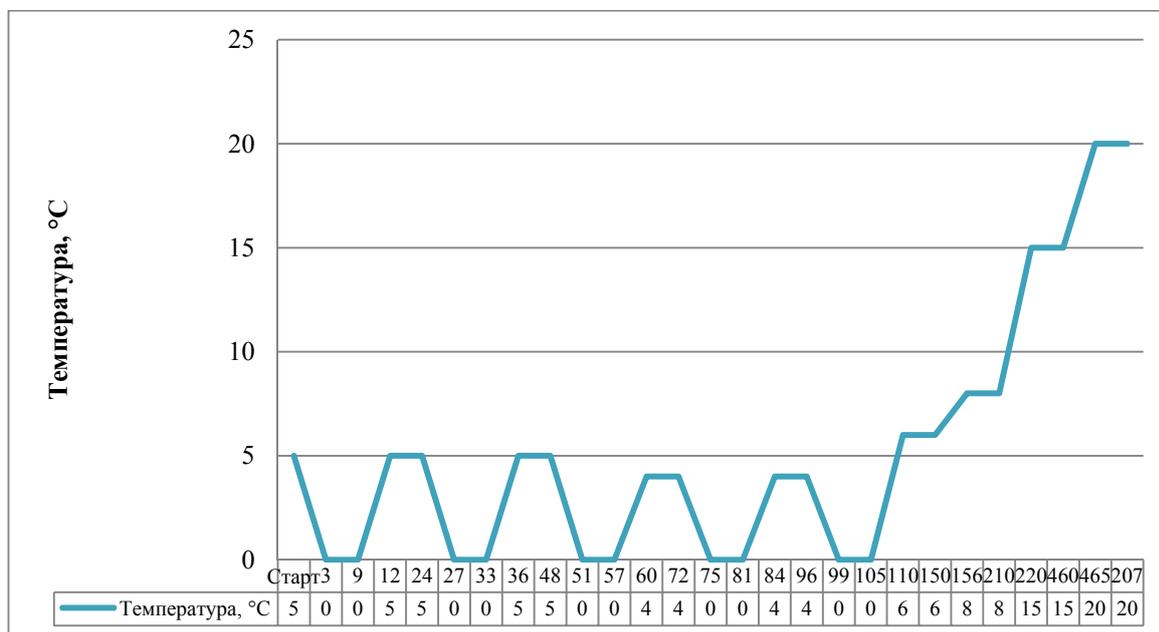
Сводная детализация изменения температуры воздуха в течение суток в дни месяцев с условно стабильным преобладанием температуры  $+5^{\circ}\text{C}$  (15 октября и 13 апреля) представлена на рис. 6.

Как видно из рис. 6, несмотря на преобладание в дневные часы температуры выше  $+5^{\circ}\text{C}$ , сохраняется риск снижения температуры в утреннее и вечернее время, что может приводить к замедлению процессов гидратации гидравлического вяжущего вещества в составе штукатурного раствора при производстве работ в данный временной интервал и негативно влиять на эксплуатационные характеристики конечного продукта.



**Рисунок 6. Сводная детализация изменения температуры в течение суток (15 октября и 13 апреля) для Москвы**

На основании проведенного климатологического анализа производства работ по устройству штукатурных слоев СФТК и данных о существующих методах испытаний штукатурных покрытий, твердеющих при отрицательной температуре [18], была построена оптимальная модель проведения климатических испытаний при суточных колебаниях температуры воздуха ниже +5°C – рис. 7.



**Рисунок 7. Графическая модель климатических испытаний**

С учетом сравнительно небольших размеров опытного образца и необходимости получения выходных данных об эксплуатационной надежности СФТК цикл климатических испытаний был условно разбит на 2 части. В первой части производились работы по устройству штукатурных слоев с последующим циклическим температурным нагружением, во второй части – повышение температуры до значения +20°C, выдержка до достижения 28-суточного возраста и подготовка к проведению лабораторных испытаний.

Проведение лабораторных исследований по представленной методике климатических испытаний осуществлялось следующим образом: в первую очередь оценивались риски проведения работ по устройству базового штукатурного слоя, затем – по устройству защитно-декоративного штукатурного слоя СФТК. В обоих случаях устройство соответствующего штукатурного слоя осуществлялось на заранее установленное при нормальных температурно-влажностных условиях основание (теплоизоляционный и базовый штукатурный слой). Таким образом, была определена вариативная модель проведения работ на строительной площадке.

Оценка состояния штукатурных слоев по окончании климатических испытаний производилась визуальным и инструментальным методами. При визуальном контроле оценивалось наличие видимых разрушений базового штукатурного и защитно-декоративного слоев [19]. Инструментальному контролю подлежала оценка показателей адгезии базового штукатурного слоя к теплоизоляционному слою, ударная прочность базового штукатурного слоя и сопротивление пробою (по ETAG 004) защитно-декоративного штукатурного слоя.

По результатам визуального контроля не было обнаружено видимых повреждений, однако инструментальный контроль выявил значительное снижение эксплуатационных характеристик системы.

1. Среднее значение адгезионной прочности к теплоизоляционному слою составило 0,09 МПа, что ниже минимально допустимого значения в 0,1 МПа – рис. 8 (а-б).



а) Адгезионная прочность 0,09 МПа. Отрыв по границе



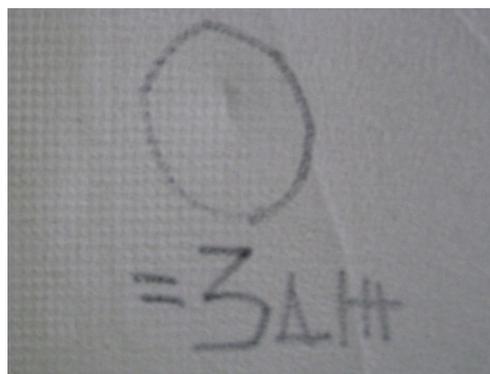
б) Адгезионная прочность 0,09 МПа. Отрыв по границе

**Рисунок 8. Адгезия базового штукатурного слоя после проведения климатических испытаний**

2. Ударная прочность на некоторых участках составила  $\leq 3$  Дж, при рекомендуемом значении  $> 3$  Дж – рис. 9 (в-г).



а) Ударная прочность  $< 3$  Дж. Трещина в месте удара



б) Ударная прочность = 3 Дж. Вмятина в месте удара

**Рисунок 9. Ударная прочность базового штукатурного слоя после проведения климатических испытаний**

Оценка состояния защитно-декоративного слоя по окончании климатических испытаний выявила нарушения структуры поверхности, характеризующиеся растрескиванием и частичным разрушением защитно-декоративного слоя – рис. 10.



а) частичное разрушение



б) трещина

**Рисунок 10. Состояние защитно-декоративного слоя после проведения климатических испытаний**

Пробой защитно-декоративного слоя был зафиксирован для максимального диаметра бойка 20 мм (по ЕТАГ 004), что является недопустимым при эксплуатации системы скрепленной теплоизоляции – рис. 11.



а) сквозной пробой при ударе бойка Ø20 мм



б) сквозной пробой при ударе бойка Ø20 мм

**Рисунок 11. Сопrotивление пробую защитно-декоративного слоя после проведения климатических испытаний**

### **Выводы**

В результате проведенных исследований было показано, что падение температуры воздуха ниже значения  $+5^{\circ}\text{C}$  на начальном этапе твердения штукатурных слоев приводит к снижению базовых показателей СФТК: адгезионной и ударной прочности. Кроме того, на поверхности исследуемого образца были обнаружены трещины, что указывает на появление гидравлических напряжений в цементной системе штукатурного слоя при снижении температуры твердения с последующим деструктивным изменением поровой структуры материала.

Таким образом, при проведении работ по устройству штукатурных слоев СФТК при прогнозируемых суточных колебаниях температуры воздуха ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  следует строго руководствоваться требованиями производителя СФТК в части применения «зимних» продуктов, содержащих в своем составе специальные модифицирующие добавки.

*Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом № 16.552.11.7064 от 13.07.2012 г.*

## Литература

1. Ortiz J., Aguado A., Agulló L., García T., Zermeño M. Influence of environmental temperature and moisture content of aggregates on the workability of cement mortar // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 5. Pp. 1808-1814.
2. Hewlett P. Lea's Chemistry of Cement and Concrete. Oxford, United Kingdom, 2004. 1066 p.
3. Matschei T., Glasser F. P. Temperature dependence, 0 to 40°C, of the mineralogy of Portland cement paste in the presence of calcium carbonate // Cement and Concrete Research. 2010. Vol. 40. Issue 5. Pp. 763-777.
4. Пашкевич С. А., Адамцевич А. О., Пустовгар А. П., Голунов С. А., Шишияну Н. Н. Исследование формирования поровой структуры цементных систем, твердеющих при пониженных и отрицательных температурах // Вестник МГСУ. 2012. №3. С. 115-120.
5. Пашкевич С. А., Адамцевич А. О., Пустовгар А. П., Соловьев В. Г. Взаимосвязь прочности и пористости штукатурных растворов СФТК, твердеющих при пониженной положительной и малой отрицательной температуре // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: научное издание. М., 2012. С. 439-444.
6. Ушеров-Маршак А. В., Сопов В. П., Златковский О. А. Физико-химические основы влияния мороза на твердение бетона. Научно-практичні проблеми сучасного залізобетона. Киев: НДІБК, 1999. Вип. 50. С. 391-394.
7. Cheung J., Jeknavorian A., Roberts L., Silva D. Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. Issue 12. Pp. 1289-1309.
8. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook New York: William Andrew, 1996. Pp. 740–799.
9. Пашкевич С. А., Нормантович А. С., Голунов С. А., Пустовгар А. П. Сухие строительные смеси для монтажа СФТК при пониженных и отрицательных температурах // Российский ежегодник ССС. 2012. С. 18-26.
10. Пашкевич С. А., Пустовгар А. П., Голунов С. А., Адамцевич А. О. Применение противоморозных добавок в базовых штукатурных составах систем фасадной скрепленной теплоизоляции // Строительные материалы. 2011. №8. С. 44-46.
11. Розенберг Т. И. [и др.]. Исследование процессов льдообразования в «холодных» бетонах // Вопросы строительства. Рига: Звайгзне, 1974. Вып. 3. С. 89-96.
12. Миронов С. А. Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1975. 701 с.
13. Миронов С. А., Лагойда А. В. Бетоны, твердеющие на морозе. М.: Стройиздат, 1975. 265 с.
14. Розенберг Т. И., Мамедов А. А. О влиянии комплексных добавок на процессы гидратации и свойство бетона, замороженного на ранних стадиях твердения // Труды ВНИИСТ. М., 1978. С. 89-96.
15. Розенберг Т. И. [и др.]. Исследование процессов твердения бетонов с комплексными добавками при температуре ниже 0°C // Труды Международного симпозиума по зимнему бетонированию. М.: Стройиздат, 1975. С. 152-162.
16. Саввина Ю. А., Лейтрих В. Э., Серб-Сербина Н. Н. Процессы твердения и свойства «холодного» бетона. Куйбышев: Оргэнергострой, 1957. 180 с.
17. Умань Н. И., Сватовская Л. Б., Овчинникова В. П. Твердение цементных минералов при пониженных температурах // Цемент. 1998. №5-6. С. 26-28.
18. Пашкевич С. А., Пустовгар А. П., Голунов С. А. Методы испытаний штукатурных фасадных покрытий, твердеющих при отрицательных температурах // Вестник МГСУ. 2011. Т. 2. №3. С. 180-185.
19. Roland N., Harmuth H. Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems // Cement and Concrete Research. 2005. Vol. 35. Issue 8. Pp. 1641-1645.

\* Станислав Александрович Пашкевич, Москва, Россия

Тел. моб.: +7(926)656-4966; эл. почта: pashkevich86@mail.ru

© Пашкевич С.А., Пустовгар А.П., Адамцевич А.О., 2012

doi: 10.5862/MCE.34.2

## Risk evaluation of composite heat insulation facade systems installation in the conditions of diurnal temperature variations under +5°C

**S.A. Pashkevich;****A.P. Pustovgar;****A.O. Adamtsevich,**

Moscow State Building University

+7(926)656-4966; e-mail: pashkevich86@mail.ru

### Key words

hydration; temperature; model; system; test

### Abstract

Allowable temperature conditions for hydration processes of the majority hydraulic binders are in the range (+5... +30)°C. That is why temperature is important for work with ETICS - external thermal insulation composite systems. Period with an average daily outdoor temperature +5°C is quite arbitrary, because temperature can drop below the limit value in the night and unpredictable frosts promote the risk of slowdown (or termination) of hydration processes of hydraulic binders in the fresh plaster.

For the qualitative risk assessment of the operational properties reduction for plaster layers of walling, in this paper a full-scale laboratory simulation of the production of ETICS in conditions of unstable diurnal fluctuations in air temperature was conducted using a mobile stand for facades trials.

According to the test results, a significant degradation in major performance in the case of daily fluctuations in air temperature below +5°C was determined.

### References

1. Ortiz J., Aguado A., Agulló L., García T., Zermelo M. Influence of environmental temperature and moisture content of aggregates on the workability of cement mortar. *Construction and Building Materials*. 2009. Vol. 23. Issue 5. Pp. 1808-1814.
2. Hewlett P. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Oxford, United Kingdom, 2004. 1066 p.
3. Matschei T., Glasser F.P. Temperature dependence, 0 to 40 °C, of the mineralogy of Portland cement paste in the presence of calcium carbonate. *Cement and Concrete Research*. 2010. Vol. 40. Issue 5. Pp. 763-777.
4. Pashkevich S.A., Adamtsevich A.O., Pustovgar A.P., Golunov S.A., Shishiyanu N.N. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 3. Pp. 115-120. (rus)
5. Pashkevich S.A., Adamtsevich A.O., Pustovgar A.P., Solovyev V.G. *Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitelnoy nauke i obrazovanii: nauchnoye izdaniye* [Integration, partnership and innovation in construction science and education: scientific edition]. Moscow: MGSU, 2012. Pp. 439-444. (rus)
6. Usherov-Marshak A.V., Sopov V.P., Zlatkovskiy O.A. *Naukovo-praktichni problemi suchasnogo zalizo bstonu*. Issue 50. Kiev: NDIBK, 1999. Pp. 391—394. (rus)
7. Cheung J., Jeknavorian A., Roberts L., Silva D. Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. Issue 12. Pp. 1289-1309.
8. Ramachandran V.S. *Concrete Admixtures Handbook*. New York: William Andrew, 1996. 1153 p.
9. Pashkevich S.A., Normantovich A.S., Golunov S.A., Pustovgar A.P. *Rossiyskiy yezhegodnik SSS 2012* [Russian Mortar Yearbook 2012]. Munich, 2011. Pp.18-26. (rus)
10. Pashkevich S.A., Pustovgar A.P., Golunov S.A., Adamtsevich A.O. *Construction materials*. 2011. No. 8. Pp. 44-46. (rus)
11. Rozenberg T.I., Breytman E.D., Pimenov V.V. [et al]. *Voprosy stroitelstva*. Riga, 1974. Vol. 3. Pp. 89-96.
12. Mironov S.A. *Teoriya i metody zimnego betonirovaniya* [Theory and methods of winter concreting]. Moscow: Stroyizdat, 1975. 701 p. (rus)

Pashkevich S.A., Pustovgar A.P., Adamtsevich A.O. Risk evaluation of composite heat insulation facade systems installation in the conditions of diurnal temperature variations under +5°C

13. Mironov S.A., Lagoyda A.V., *Betony, tverdeyushchiye na moroze* [Concretes hardening in frost]. Moscow: Stroyizdat, 1975. 265 p. (rus)
14. Rozenberg T.I., Mamedov A.A. *Trudi VNIIST*. Moscow, 1978. Pp. 89-96. (rus)
15. Rozenberg T.I. [et al]. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma po zimnemu betonirovaniyu* [International Symposium about winter concreting]. Moscow: Stroyizdat, 1975. Pp. 152-162. (rus)
16. Savvina Yu.A., Leytrikh V.E., Serb-Serbina N.N. *Protsessy tverdeniya i svoystva «kholodnogo» betona* [Hardening processes and properties of cold weather concrete]. Kuybyshev: Orgenergostroy, 1957. 180 p. (rus)
17. Uman N.I., Svatovskaya L.B., Ovchinnikova V.P. *Cement*. 1998. No. 5-6. Pp. 26-28. (rus)
18. Pashkevich S.A., Golunov S.A., Pustovgar A.P. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3/2. Pp. 180-185. (rus)
19. Roland N., Harmuth H. Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. Issue 8. Pp. 1641-1645.

**Full text of this article in Russian: pp. 15-21**