

УДК 692.232.45

**Н. А. МАТВЕЕВА<sup>а</sup>, В. И. КОРСУН<sup>а</sup>, Н. Д. ДАНИЛОВ<sup>б</sup>, П. А. ФЕДОТОВ<sup>б</sup>**<sup>а</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,<sup>б</sup> ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова»

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

**Аннотация.** При проектировании необходим комплексный учет температурных и силовых воздействий на конструкции здания или сооружения. Ограждающие конструкции зданий и сооружений, эксплуатирующихся в северных районах, испытывают влияние температурных перепадов, связанных с изменением суточных и сезонных температур, односторонней солнечной радиации, влажности воздуха, скорости ветра и др. Выполнена оценка влияния воздействия низких климатических температур Якутии на напряженно-деформированное состояние фасадной навесной железобетонной панели. Рассмотрено напряженное состояние наружных стен при различных величинах перепадов температуры, в т. ч. при переменном замораживании и оттаивании в пределах одной секции стены.

**Ключевые слова:** навесная многослойная панель, температурно-климатические воздействия, распределение температур, усилия, деформации.

### СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Территория Российской Федерации отличается большим разнообразием климатических условий для строительства, в том числе наиболее сложными, характерными для районов Восточной Сибири и Дальнего Востока. Особенностью климата Центральной Якутии является его резкая континентальность, отличающаяся продолжительным зимним и коротким летним периодами. На рисунке 1 представлен годовой ход среднесуточной температуры воздуха в г. Якутске за 2017 г.



**Рисунок 1** – Годовой ход среднесуточной температуры воздуха в г. Якутске за 2017 г.

Для климатических условий г. Якутска характерны большие амплитуды колебаний температуры наружного воздуха: сезонных колебаний – до 103 °С, месячных – до 40 °С, в течение суток – до 20 °С. В Центральной Якутии для зимнего периода характерны ясная и тихая погода, штиль или очень слабые ветры со скоростью, не превышающей 1 м/с. Годовое количество осадков не превышает 200 мм, из которых 80 % приходится на летние месяцы. Средняя относительная влажность воздуха самого холодного месяца (январь) составляет 76 %, самого жаркого месяца (июль) вечером – 69 % и днем –

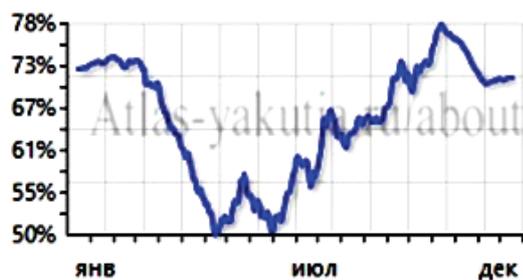


Рисунок 2 – Годовой ход среднесуточной влажности воздуха в г. Якутске за 2017 г.

де, аналогичном расчету конструкций на воздействие повышенных и высоких температур СП 27.13330.2011 [4] с учетом рекомендаций СП 52-105-2009 [5]. В значительной мере НДС конструкций зависит от величин температурно-влажностных перепадов и характеристик физико-механических свойств бетона, зависящих, в свою очередь, от температуры первого охлаждения, числа циклов попеременного замораживания-оттаивания, водонасыщения бетона, его марки по морозостойкости [1, 6–10].

### ЦЕЛЬ ДАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка расчетными методами влияния температурных климатических воздействий северной климатической зоны на характеристики НДС наружных стен новой конструкции.

**Задачи исследования** – анализ и выбор расчетных режимов температурных климатических воздействий на конструкции стен зданий на примере г. Якутска:

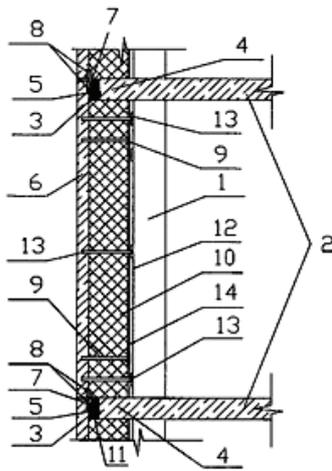
- определение распределения температур по толщине фасадной железобетонной панели для расчетных значений температуры наружного воздуха;
- определение расчетными методами характеристик НДС стены при характерных температурно-климатических воздействиях;
- разработка рекомендаций по учету влияния температурных воздействий северной климатической зоны на фасадную навесную железобетонную панель каркасного здания в процессе ее эксплуатации.

### ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

Специалистами Северо-Восточного федерального университета г. Якутска разрабатываются новые конструктивные решения наружных стен зданий, предназначенных для эксплуатации в климатических условиях Севера. Перспективные технические решения развиваются в направлении применения сборных железобетонных панелей как надежных и долговечных конструкций. Указанные навесные стены относятся к категории не несущих, т. е. они не воспринимают нагрузок от вышерасположенных конструкций и выполняют только ограждающие функции. Существенной особенностью таких конструкций является то, что после установки фасадных навесных панелей к ним с внутренней стороны с помощью клея и коннекторов прикрепляются плиты теплоизоляции. Внутренние слои стены в виде листовых материалов крепятся по утеплителю (после размещения пароизоляционного материала) к фасадной навесной панели с помощью стальных коннекторов. Основные преимущества предложенных конструктивных решений стен являются: повышение сопротивления теплопередаче за счет снижения теплопроводных включений; быстрое и менее трудоемкое возведение наружных стен в сравнении с другими конструкциями стен послойной сборки; исключение мокрых процессов, что позволяет производить монтаж в зимних условиях; экономичность (снижение затрат на возведение 1 м<sup>2</sup> стены достигает 1,5 раза в сравнении с применяемыми в настоящее время конструкциями) при обеспечении требуемой долговечности [3]. На рисунке 3 представлена конструкция стены и узлы сопряжения с перекрытием.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

В данном исследовании рассматривалась наружная многослойная стена каркасно-монолитного жилого здания. Наружный слой стены – железобетонная панель, имеющая в верхней части стальные петли, с помощью которых их навешивают на стальные крюки, размещенные на торцах консолей



**Рисунок 3** – Конструкция стены и узлы сопряжения с перекрытием: 1 – колонна; 2 – перекрытие; 3 – монтажные крюки; 4 – железобетонные консоли перекрытия; 5 – стальные петли; 6 – фасадная панель; 7 – стальной стержень; 8 – закладные детали; 9 – коннектор; 10 – теплоизоляция; 11 – монтажная пена; 12 – внутренний слой стены; 13 – стальные коннекторы; 14 – пароизоляция.

монолитного железобетонного перекрытия между первым и вторым этажами. В нижней части панели находится закладная деталь, которую после установки панели в проектное положение приваривают с помощью стального стержня к закладной детали, имеющейся в фундаментной балке (начиная со второго этажа стальной стержень приваривают к закладным деталям панелей) [3].

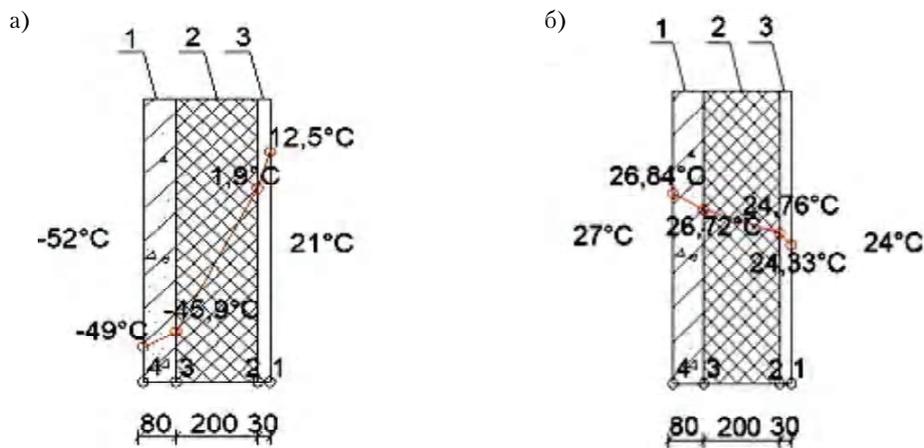
Фрагмент варианта наружной стены с навесными панелями (длиной 6 м и высотой 3 м) представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из:

1. железобетона, толщиной слоя  $\delta_1 = 80$  мм;
2. слоя утеплителя из пенополистирола, толщиной  $\delta_1 = 200$  мм;
3. внутренней отделки из стекломгнезиальных листов, толщиной  $\delta_3 = 30$  мм.

Расчет распределения температур по толщине выполнен для режимов наиболее холодного (январь) и теплого (июль) времен года в соответствии с п. 6 СП 27.13330.2011 [4]. Результаты расчета представлены на рис. 4.

При температуре наружного воздуха  $-52^\circ\text{C}$  распределение температуры по толщине фасадной железобетонной панели имеет значительный перепад. Железобетон на поверхности раздела слоев 3 и 4 подвергается воздействию постоянно низких температур от  $-49$  до  $-45,9^\circ\text{C}$ . При использовании пенополистирола плотностью  $35 \text{ кг/м}^3$  в качестве внутреннего слоя теплоизоляции эпюра распределения температуры на поверхности раздела слоев 2 и 3

резко изменяется от  $-45,9^\circ\text{C}$  до  $+1,9^\circ\text{C}$ . Внутренняя поверхность стены, обшитая огнеупорным стекломгнезитовым листом, имеет температуру  $12,5^\circ\text{C}$ .



**Рисунок 4** – Эпюры распределения температуры по толщине сечения элемента: а) в зимнее время, б) в летнее время.

При температуре наружного воздуха  $+27^\circ\text{C}$  в летнее время значения температуры по толщине всей ограждающей конструкции изменяется незначительно от  $26,8$  до  $24,3^\circ\text{C}$ .

Расчет на температурно-климатические воздействия выполняется в соответствии с п. 5-6 СП 52-105-2009 [5]. Определение усилий от воздействия температуры и влажности в статически неопределимых конструкциях производится методом сил, перемещения  $\Delta_{it}$  в основной системе в  $i$ -м направлении, вызванные воздействием температуры равны:

$$\Delta_{it} = \sum \int_0^l \bar{M}_i \left( \frac{1}{r} \right)_{ix} dx + \int_0^l \bar{N}_i \varepsilon_{\alpha} dx, \quad (1)$$

где  $\bar{M}_i, \bar{N}_i$  – изгибающий момент и продольная сила в сечении  $x$  элемента основной системы от действия в  $i$ -м направлении соответствующей единичной силы;

$(1/r)_{ix}, \varepsilon_{ix}$  – кривизна и деформации оси элемента в сечении  $x$ , вызванные воздействием температуры.

Конструкция загружалась на понижение температуры, понижение влажности, повышение влажности при кратковременной (при расчете по первой расчетной стадии работы в холодное время) нагрузке, а также на понижении температуры и влажности, понижении температуры и повышении влажности при длительной (при расчете по второй расчетной стадии в условиях попеременного замораживания и оттаивания) нагрузке. Результаты расчета представлены в таблице.

**Таблица** – Деформации и усилия в элементе стены от температурно-влажностных воздействий

| № | Деформации оси элемента, $\varepsilon_{ix}, \text{м} \cdot 10^{-5}$ | Кривизна оси элемента, $(1/r)_{ix}, \text{м} \cdot 10^{-6}$ | Изгибающий момент, $M_i, \text{Нм} \cdot 10^{-6}$ | Продольная сила, $N_i, \text{Н} \cdot 10^{-3}$ | Перемещения, $\Delta_{in}, \text{мм}$ |
|---|---|---|---|--|---------------------------------------|
| 1 | 24,7  | 5 551,7   | 5 274,1   | 441,9  | 0,138                                 |
| 2 | 40,8  | 61 25,0   | 5 818,7   | 874,9  | 0,078                                 |
| 3 | 3,4   | 8,45  | 8,02  | 6,03   | 0,003                                 |
| 4 | -83,5   | -12 901,7   | -12 256,6   | 1 491,5  | 1,320                                 |
| 5 | -24,7   | -5 560,1  | 5 280,1   | 441,2  | 0,135                                 |

## ВЫВОДЫ

1. В наружных стенах, подвергающихся воздействиям низких температур, наибольшие усилия – продольные силы и изгибающие моменты – возникает при первом одностороннем замораживании.
2. При попеременном замораживании и оттаивании наблюдается наибольшее удлинение стенового элемента, обусловленное накоплением необратимых деформаций в структуре бетона при совместном действии отрицательных температур и увлажнения конструкции наружным воздухом.
3. Наибольшее перемещение, равное  $\Delta t = 1,32$  мм, вызывают совместное действие понижения температуры и влажности. Одно только понижение температуры обуславливает деформацию, равную  $\Delta t = 0,138$  мм. Повышение влажности не вызывает значимых перемещений, однако при понижении влажности перемещения достигают значения  $\Delta t = 0,078$  мм.
4. Изложенное обуславливает необходимость реализации мер для обеспечения стойкости и долговечности ограждающих конструкций в суровых климатических условиях Севера от длительного воздействия попеременного замораживания и оттаивания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корсун, В. И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий [Текст] / В. И. Корсун. – Макеевка : ДонГАСА, 2003. – 153 с.
2. Тепловая защита зданий на Севере: материалы, изделия и конструкции [Текст] / А. Е. Местников, П. С. Абрамова, Т. С. Антипкина, А. Д. Егорова. – М. : Изд-во АСВ, 2009. – 236 с.
3. Данилов, Н. Д. О новых технических решениях наружных стен зданий, ориентированных на строительство в северной климатической зоне [Текст] / Н. Д. Данилов, А. А. Собакин, А. А. Семенов // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №1. – С. 34.
4. СП 27.13330.2011. Бетоны и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур [Текст]. Актуализированная редакция СНиП 2.03.04-84. – Введ. 2011-05-20. – М. : НИИЖБ, 2011. – 60 с.
5. СП 52-105-2009. Железобетонные конструкции в холодном климате на вечноммерзлых грунтах [Текст]. – Взамен «Рекомендаций по расчету железобетонных свайных фундаментов, возводимых на вечноммерзлых грунтах, с учетом температурных и влажностных воздействий» ; введ. 2009-04-20. – М. : НИИЖБ, 2009. – 55 с.
6. Mirzazadeh, M. Mehdi. Effects of low temperature on the static behavior of reinforced concrete beams with the temperature differentials [Text] / M. Mehdi Mirzazadeh, M. Noel, F. Mark. Green // Constr. Build. Mater. – 2016. – Vol. 112. – P. 191–201. – ISSN 0950-0618.
7. Qiaoa, Yi. Influence of low temperature on dynamic behavior of concrete [Text] / Yi Qiaoa, W. Haifu, C. Liangcai [and etc.] // Constr. Build. Mater. – 2016. – Vol. 115. – P. 214–220. -ISSN 0950-0618.
8. Yuan, Y. Prediction of temperature response in concrete in a natural climate environment / Y. Yingshu, J. Jianhua [Text] // Constr. Build. Mater. – 2011. – Vol. 25. – P. 3159–3167. – ISSN 0950-0618.

9. Jia-Bao, Y. Behaviors of reinforced concrete beams under low temperatures [Text] / Y. Jia-Bao, J. Xie // Constr. Build. Mater. – 2017. – Vol. 141. – P. 410–425. – ISSN 0950-0618.
10. Berry, M. Effect of cold temperatures on the behavior and ultimate capacity of GFRP-reinforced concrete beams [Text] / M. Berry, J. Johnson, K. McDevitt // Cold Regions Science and Technology. – 2017. – Vol. 136. – P. 9–16. – ISSN 0950-0618.

Получено 09.03.2018

Н. А. МАТВЕЕВА <sup>a</sup>, В. И. КОРСУН <sup>a</sup>, Н. Д. ДАНИЛОВ <sup>b</sup>, П. А. ФЕДОТОВ <sup>b</sup>  
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЕФЕКТІВ НА НАПРУЖЕНО-  
ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗОВНІШНІХ СТІН БУДИНКУ В УМОВАХ ЯКУТІЇ  
<sup>a</sup> Санкт-Петербурзький політехнічний університет Петра Великого, <sup>b</sup> ФДАОУ ВО  
«Північно-східний Федеральний університет ім. М. К. Аммосова»

**Анотація.** При проектуванні необхідно врахувати комплексну дію температурних і силових впливів на конструкції будівель і споруд. Огороджувальні конструкції будівель і споруд, які експлуатуються в північних районах, випробують на вплив температурних перепадів, які пов'язані зі зміною добових і сезонних температур, односторонньої сонячної радіації, вологості повітря, швидкості вітру та ін. Було виконано розрахунок на вплив кліматичних температур Якутії на напружено-деформований стан фасадної навісної залізобетонної панелі. Розглянуто напружений стан зовнішніх стін залежно від різних значень перепадів температури, у тому числі при перемінному циклі заморожування і відтавання в межах одної секції стіни.

**Ключові слова:** зовнішні відкидні панелі, залізобетон, температурно-кліматичні впливи, розподіл температур, напруження, деформації.

NARYA MATVEEVA <sup>a</sup>, VLADIMIR KORSUN <sup>a</sup>, NIKOLAY DANILOV <sup>b</sup>,  
PETR FEDOTOV <sup>b</sup>  
INFLUENCE OF TEMPERATURE WEATHER EFFECTS ON THE STRESS-  
STRAIN STATE OF EXTERNAL WALLS IN THE CONDITIONS OF YAKUTIA  
<sup>a</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, <sup>b</sup> Federal State Autonomous  
Educational Institution of Higher Education «M. K. Ammosov North-Eastern Federal  
University»

**Abstract.** The design requires complex accounting of temperature and power effects on the construction of the building or construction. Enclosing structures of buildings and structures operating in the northern regions, experience the influence of temperature changes associated with the change of daily and seasonal temperatures, one-sided solar radiation, air humidity, wind speed etc. The calculation on the influence of low climatic temperatures of Yakutia on the stress-strain state of the facade hinged reinforced concrete panel is performed. The tense condition of external walls at various values of temperature changes, including at alternating freezing and thawing within one section of a wall is considered.

**Key words:** external hinged panel, reinforced concrete, temperature-climatic influences, distribution of temperatures, tension, deformation.

**Матвеева Нарьяна Анатольевна** – магистрант кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Научные интересы: исследование напряженно-деформированного состояния наружных ограждающих конструкций в условиях климатических температурных воздействий.

**Корсун Владимир Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры строительства уникальных зданий и сооружений Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Научные интересы: железобетонные конструкции в условиях температурных воздействий, исследование НДС, разработка методов расчета.

**Данилов Николай Давыдович** – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры и городского строительства Северо-Восточного Федерального университета им. М. К. Аммосова г. Якутска. Научные интересы: строительная теплофизика, разработка теплоэффективных наружных ограждающих конструкций зданий.

**Федотов Петр Анатольевич** – аспирант, старший преподаватель кафедры архитектуры и городского строительства Северо-Восточного Федерального университета им. М. К. Аммосова г. Якутска. Научные интересы: строительная теплофизика, разработка теплоэффективных наружных ограждающих конструкций зданий.

**Матвеева Нарийа Анатоліївна** – магістрант кафедри будівництва унікальних будівель і споруд Санкт-Петербурзького політехнічного університету Петра Великого. Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій в умовах температурних впливів.

**Корсун Володимир Іванович** – доктор технічних наук, професор кафедри будівництва унікальних будівель і споруд Санкт-Петербурзького політехнічного університету Петра Великого. Наукові інтереси: залізобетонні конструкції в умовах температурних впливів, дослідження напружено-деформованого стану, розробка методів розрахунку.

**Данилов Микола Давидович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури і міського будівництва Північно-Східного Федерального університету ім. М. К. Аммосова м. Якутська. Наукові інтереси: будівельна теплофізика, розробка теплоефективних зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель.

**Федотов Петро Анатолійович** – аспірант, старший викладач кафедри архітектури і міського будівництва Північно-Східного Федерального університету ім. М. К. Аммосова м. Якутська. Наукові інтереси: будівельна теплофізика, розробка теплоефективних зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель.

**Matveeva Narya** – Master's student, Construction of Unique Buildings and Structures, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Scientific interests: research of stress-strain state of reinforced concrete structures in conditions of temperature climatic influences.

**Korsun Vladimir** – D. Sc. (Eng.), Professor, Construction of Unique Buildings and Structures Department, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Scientific interests: reinforced concrete structures, research of stress-strain state of reinforced concrete structures under conditions of temperature effects.

**Danilov Nikolay** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Architecture and Urban Construction Department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «M. K. Ammosov North-Eastern Federal University». Scientific interests: building thermophysics, development of heat-efficient external enclosing structures of buildings.

**Fedotov Petr** – post-graduate student, senior lecturer, Architecture and Urban Construction Department, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «M. K. Ammosov North-Eastern Federal University». Scientific interests: building thermo physics, development of heat-efficient external enclosing structures of buildings.