

УДК 539.384

DOI 10.47367/0021-3497_2023_4_243

**ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОМПОЗИЦИОННЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ТЕКСТИЛЬНЫХ ФАБРИК**

**CALCULATION FEATURES OF COMPOSITE
REINFORCED CONCRETE WALL PANELS
OF INDUSTRIAL BUILDINGS OF TEXTILE FACTORIES**

О.А. КОРОЛЬ, Е.Н. ДЕГАЕВ, Б.Е. НАРМАНИЯ

O.A. KOROL, E.N. DEGAEV, B.E. NARMANIA

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: degaev@inbox.ru

Строительство основных производственных площадей текстильной промышленности в период стремительного развития отрасли осуществлялось с применением сборной панельной системы из элементов заводского изготовления, монтируемых на строительной площадке. Для ограждающих конструкций таких зданий нашли широкое применение композиционные железобетонные конструкции из легких бетонов. Легкие бетоны за счет своей низкой плотности имеют хорошие теплозащитные характеристики, что важно для предприятий текстильной промышленности, где требуется строгий температурно-влажностный режим, обусловленный

технологией производства. При эксплуатации в различных климатических условиях наружные стеновые панели испытывают температурные деформации. В статье выполнен численный расчет изгибающих моментов, возникающих при перепаде температур, для панелей различной толщины. Выявлено, что изгибающие моменты панелей длиной 9000 и 12000 мм при увеличении толщины с 250 мм до 350 мм возрастают в 1,1-1,13 раза при перепаде температуры $\Delta\theta=45$ °С. Изгибающие моменты панелей длиной 3000 и 6000 мм при изменении толщины панелей увеличиваются в пределах 1,03-1,1 раза.

The construction of the main production areas of the textile industry during the period of rapid development of the industry using a prefabricated panel system of factory-made elements mounted on the construction site was carried out. Composite reinforced concrete structures made of light concrete have been widely used for the enclosing structures of such buildings. Light concretes due to their low density have good thermal protection characteristics, which is important for textile industry enterprises, where a strict temperature and humidity regime is required due to the production technology. When used in various climatic conditions, the external wall panels experience temperature deformations. The paper presents a numerical calculation of bending moments arising from temperature differences for panels of various thicknesses. It was revealed that the bending moments of panels with a length of 9000 and 12000 mm increase by 1.1-1.13 times with an increase in thickness from 250 mm to 350 mm at a temperature drop of $\Delta\theta = 45$ ° C. The bending moments of panels with a length of 3000 and 6000 mm increase in the range of 1.03-1.1 times when the thickness of the panels changes.

Ключевые слова: наружные композиционные железобетонные стеновые панели, напряженно-деформированное состояние, температурный перепад, температурные деформации.

Keywords: external wall panels, stress-strain state, temperature difference, temperature deformations.

Введение

Строительство основных производственных площадей текстильной промышленности пришлось на период 1960-1980 гг. стремительного развития отрасли [1]. По действующим в тот период нормативам проектирования здания должны были проектироваться одноэтажными или многоэтажными с сеткой колонн 6x6 м, 9x6 м, 12x6 м, 18x6 м, 18x12 м и высотой 4,8 м, 6 м, 7,2 м, 8,4 м [2].

Наружные стены зданий текстильной промышленности могут изготавливаться из кирпича, однослойных керамзитобетонных панелей и многослойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем. Выбор толщины наружных стен устанавливается теплотехническим расчетом

из условий энергосбережения и может быть 250, 300 и 350 мм [2].

Для каркасно-панельных зданий наружные стены состоят из навесных панелей с замоноличенными стыками, в которых, помимо продольных температурных усилий и деформаций, возникают усилия и деформации при наличии перепада температуры по толщине $\Delta\theta$. В процессе эксплуатации стеновых панелей также будет присутствовать эксцентриситет e_a , обусловленный неточностью производства и монтажа конструкций.

Панели крепятся к внутренним конструкциям (колоннам) с помощью поперечных связей, в которых при перепаде температуры по толщине $\Delta\theta$ и эксцентриситете e_a могут возникать усилия, вызы-

вающие смещения, а в самих панелях – изгибающие моменты [1-5].

Величина температурного перепада по толщине панели напрямую зависит от времени года и климатической зоны эксплуатации объекта [1-8].

Авторами ряда методических разработок предлагается усилия в связях, изгибающие моменты в панелях, а также прогибы панелей, углы поворотов сечений панели и раскрытие стыков определять из рассмотрения панельной стены как многопролетной статически неопределимой балки переменной жесткости [4-16].

Исследования в данной области в основном направлены на прогнозирование и определение изгибающих моментов, а также разработку расчетных моделей нестандартных железобетонных конструкций в конкретном регионе строительства [5-10].

В данной статье выполнено численное исследование влияния температурного перепада на изгибающие моменты стеновых панелей различной толщины эксплуатируемых производственных зданий текстильной промышленности в широком диапазоне температур.

Методы исследования

При расчете учитывается температурный режим эксплуатации зданий текстильной промышленности, который в зависимости от производственного цеха может быть от 18 до 27 °С [2].

$$\begin{aligned} & \frac{c_{n-1}}{\ell_{n-1}\ell_n} M_{n-2} + \left[\frac{\ell_n}{6B_n} - \frac{c_{n-1}}{\ell_n} \left(\frac{1}{\ell_{n-1}} + \frac{1}{\ell_n} \right) - \frac{c_n}{\ell_n} \left(\frac{1}{\ell_n} + \frac{1}{\ell_{n+1}} \right) \right] M_{n-1} + \\ & + \left[\frac{\ell_n}{3B_n} + \frac{\ell_{n+1}}{3B_{n+1}} + \frac{c_{n-1}}{\ell_n^2} + c_n \left(\frac{1}{\ell_n} + \frac{1}{\ell_{n+1}} \right)^2 + \frac{c_{n+1}}{\ell_{n+1}^2} \right] M_n + \\ & + \left[\frac{\ell_{n+1}}{6B_{n+1}} - \frac{c_{n+1}}{\ell_{n+1}} \left(\frac{1}{\ell_{n+1}} + \frac{1}{\ell_{n+2}} \right) \right] \cdot M_{n+1} + \frac{c_{n+1}}{\ell_{n+1}\ell_{n+2}} M_{n+2} = \\ & = -\frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_n \Delta \theta^{(n)}}{h_n} \ell_n + \frac{\alpha_{n+1} \Delta \theta^{(n+1)}}{h_{n+1}} \ell_{n+1} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где c_{n-1} ; c_n ; c_{n+1} – упругая податливость опор, определяется по обобщенным опытным данным; α_n ; α_{n+1} ; h_n ; h_{n+1} – коэффициенты температурного расширения и толщина балки в n и $n+1$ пролетах; M_{n-2} ; M_{n-1} ; M_n ; M_{n+1} ; M_{n+2} – искомые опорные моменты.

$$\ell'_n M_{n-1} + 2(\ell'_n + \ell'_{n+1}) M_n + \ell'_{n+1} M_{n+1} = -3(M_{\theta,n} \ell'_n + M_{\theta,n+1} \ell'_{n+1}), \quad (3)$$

При выполнении численных исследований принимаются следующие допущения [4, 5]:

1) замоноличенные стыки панелей работают на изгиб как армированные балки на двух опорах;

2) расчетная длина стыка ℓ_c принимается равной ширине поддерживающей конструкции (стена, рама и т. п.);

3) расчетная длина панели ℓ_n соответственно равна:

$$\ell_n = \ell_i - \ell_c, \quad (1)$$

где ℓ_i – расстояние между осями поддерживающих конструкций, служащих опорами панелей (поперечных стен, колонн).

Изгибная жесткость панелей B_n и стыков B_c определяется как для армированных однослойных бетонных сечений с учетом пластических свойств бетона с трещинами. Сопряженные со стенами поддерживающие конструкции и поперечные связи обладают определенной упругой податливостью, которую следует учитывать в расчетах [3, 4].

В наиболее общем случае, т. е. когда опоры неразрезной балки обладают различной податливостью, температурные усилия, возникающие при изменении перепада температуры по толщине $\Delta\theta$, находят из решения системы k уравнений вида (для n -й опоры) [3-6]:

Для случая жестких опор температурные моменты определяют из решения системы уравнений (2), полагая c_{n-1} , c_n и т. д. равными нулю, что приводит к решению системы трехчленных уравнений:

где ℓ'_n, ℓ'_{n+1} – приведенные пролеты, равные:

$$\ell'_n = \ell_n/B_n; \ell'_{n+1} = \frac{\ell_{n+1}}{B_{n+1}}, \quad (4)$$

$M_{\theta,n}, M_{\theta,n+1}$ – эквивалентные температурные моменты n и $n+1$ пролетов, равные:

$$M_{\theta,n} = \frac{\alpha_n \Delta \theta_n}{h_n} B_n; M_{\theta,n+1} = \frac{\alpha_{n+1} \Delta \theta_{n+1}}{h_{n+1}}. \quad (5)$$

Поперечные силы Q и опорные реакции R определяются по формулам:

$$Q_n = \frac{M_n - M_{n-1}}{\ell_n}; R_n = Q_{n+1} - Q_n. \quad (6)$$

Стены зданий с регулярной конструктивной схемой состоят из панелей одинаковых геометрических размеров и жесткости. Температурные градиенты таких панелей и стыков примерно одинаковые, что позволяет принять приближенно:

$$M_{\theta,n} = \frac{\alpha_n \Delta \theta_n}{h_n} B_n; M_{\theta,c} = \frac{\alpha_c \Delta \theta_c}{h_c} B_c. \quad (7)$$

Температурные прогибы в середине панели u_n и углы поворотов на опорах ψ_n при перепаде температуры по толщине находятся по формулам:

$$u_n = \left(\frac{\alpha_n \Delta \theta_n}{h_n} + \frac{M_{n-1} + M_n}{2B_n} \right) \frac{\ell_n^2}{8}; \quad (8)$$

$$\psi_{n-1} = \frac{\alpha_n \Delta \theta_n \ell_n}{2h_n} + \frac{\ell_n}{6B_n} (2M_{n-1} + M_n); \quad (9)$$

$$\psi_n = \frac{\alpha_n \Delta \theta_n \ell_n}{2h_n} + \frac{\ell_n}{6B_n} (M_{n-1} + 2M_n); \quad (10)$$

где M_{n-1} и M_n определяются из решения системы уравнений (2), (3).

Усилия, прогибы и углы поворота, возникающие в панелях и стыках при наличии эксцентриситета продольной силы e_N , определяются по формулам (2-10) путем замены в них выражения эквивалентного температурного момента при перепаде температуры по толщине M_θ выражением изгибающего момента при наличии эксцентриситета [3]:

$$M_N = -N_n e_N, \quad (11)$$

где N_n – продольное усилие в панели, кН; e_N – эксцентриситет продольной силы N_n , принимается равным расстоянию между центрами тяжести площадей армированных сечений панели и стыка с учетом наличия трещин.

При совместном действии на стены перепада температуры $\Delta \theta_n$ и продольной силы N_n с эксцентриситетом e_N усилия, прогибы и углы поворота панелей и стыков на опорах суммируются на основании принципа независимости действия сил. При этом возможны два случая работы вертикальных стыков панелей при изгибе с растяжением [3, 7-12]:

1 случай, когда в бетоне замоноличивания стыка сквозные трещины не образуются (имеется сжатая зона);

2 случай, когда сквозные трещины возникают (сжатая зона бетона отсутствует).

Случай работы стыков при изгибе с растяжением определяется в соответствии с условиями:

1-й случай:

$$|c_c N_n| \leq (h_c - a_c) \psi_{c,2}, \quad (12)$$

2-й случай:

$$|c_c N_n| \geq (h_c - a_c) \psi_{c,2}. \quad (13)$$

Для практических расчетов панельных стен на указанные воздействия представляют интерес три наиболее характерных способа закрепления наружных стеновых панелей к внутренним конструкциям зданий (стенам, колоннам, перекрытиям).

Ниже приведены формулы для вычисления суммарных значений моментов M_i , опорных реакций R_i и углов поворота панелей на упругих опорах φ_i при совместном действии перепада температуры $\Delta \theta$ и эксцентриситета продольной силы e_N для второго случая работы стыков при изгибе и указанных способов закрепления панелей [3, 13, 14].

Моменты $M_i = M_i^\theta + M_i^N$ рассчитываются по следующим формулам:

$$M_{n-1,c} = 0; \quad (14)$$

$$M_{n-1,\Pi} = M_N; \quad (15)$$

$$M_{n,\Pi} = -(M_\theta + M_N) \left[\frac{m_2 - m_5}{m_1 + m_5} + 1 \right] + M_N; \quad (16)$$

где $M_{n-1,c}$ – изгибающий момент в стыке на опоре n-1; $M_{n-1,\Pi}$, $M_{n,\Pi}$ – то же в панели соответственно на опорах n-1 и n.

Опорные реакции $R_i = R_i^\theta + R_i^N$ рассчитываются по формуле:

$$R_{n-1,c} = -R_n = -(M_\theta + M_N) \frac{m_3}{\ell_n(m_1 + m_5)}; \quad (17)$$

где R_{n-1} , R_n – опорные реакции панелей (усилия в поперечных связях) на опорах n-1 и n.

Углы поворота на опорах $\varphi_i = \varphi_i^\theta + \varphi_i^N$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\varphi_{n-1} = (M_\theta + M_N) \frac{\ell_n}{2B_n} \cdot \frac{m_5 + 1}{m_1 + m_5}; \quad (18)$$

$$\varphi_n = -(M_\theta + M_N) \frac{\ell_n}{2B_n} - \frac{(1-2s)(m_2 - m_5)}{m_1 + m_5}, \quad (19)$$

где φ_{n-1} , φ_n – углы поворота панелей на опорах n-1 и n; $M_\theta = M_{\theta,n} M_N$ – эквивалентный и изгибающий моменты при наличии перепада температуры по толщине и эксцентриситета продольной силы, определяются по формулам (7) и (11); s – безразмерный коэффициент, принимается равным: для панелей без промежуточных опор в пролете $s=1$; с одной или двумя промежуточными опорами $s=0,5$:

$$0 < s = \frac{\ell_s}{\ell_n} < 0,5,$$

где ℓ_s – расстояние от крайней опоры до промежуточной опоры панели; ξ , ζ , η – относительные значения коэффициентов соответственно температурного расширения, изгибных жесткостей и длины панелей и стыков, вычисляются по формулам:

$$\xi = \frac{\alpha_c}{\alpha_n}; \zeta = \frac{B_n}{B_c}; \eta = \ell_c / \ell_n, \quad (20)$$

где B_n, B_c – изгибные жесткости соответственно панелей и стыков; α_c, α_n – коэффициенты температурного расширения панелей и стыков; m_1, m_2, m_3, m_5 – безраз-

мерные коэффициенты, вычисляются по формулам:

$$m_1 = \frac{3-4s}{s(2-3s)}; \quad (21)$$

$$m_2 = \frac{1}{2-3s}; \quad (22)$$

$$m_3 = \frac{3(1-s)}{s^2(2-3s)}; \quad (23)$$

$$m_5 = \frac{6\varepsilon}{s^3(2-3s)}; \quad (24)$$

где ε – коэффициент, учитывающий влияние упругой податливости опор панели, вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(c_0 + c_1)B_n}{\ell_n^3}, \quad (25)$$

где c_0, c_1 – коэффициенты упругой податливости соответственно крайней и промежуточной опоры.

Для жестких опор ($c_0 = c_1 = 0$) коэффициенты ε и m_5 равны нулю. Для этого случая ниже приведены формулы для вычисления суммарных значений M_i , R_i и φ_i панелей на жестких опорах. Эти формулы могут быть также использованы для приближенных расчетов панелей на упругих опорах [3, 12-16].

Моменты $M_i = M_i^\theta + M_i^N$ рассчитываются по следующим формулам:

$$M_{n-1,c} = 0; \quad (26)$$

$$M_{n-1,\Pi} = M_N; \quad (27)$$

$$M_{n,\Pi} = -(M_\theta + M_N) \left[\frac{m_2}{m_1} + 1 \right] + M_N. \quad (28)$$

Опорные реакции $R_i = R_i^\theta + R_i^N$ рассчитываются по следующей формуле:

$$R_{n-1,c} = -R_n = -(M_\theta + M_N) \frac{m_3}{\ell_n m_1}. \quad (29)$$

Углы поворота на опорах $\varphi_i = \varphi_i^\theta + \varphi_i^N$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\varphi_{n-1} = (M_\theta + M_N) \frac{\ell_n}{2m_1 B_n}; \quad (30)$$

$$\varphi_n = -(M_\theta + M_N) \frac{\ell_n}{2m_1 B_n} - \frac{1-2s}{2-3s}. \quad (31)$$

Для панелей с незамоноличенными стыками или при отсутствии в стыке продольных связей изгибная жесткость стыка B_c может быть равной нулю. Соответствующие значения изгибающих моментов, опорных реакций и углов поворота панелей на опорах в таких случаях определяются по формулам (14-31).

Результаты и обсуждения

Рассчитаны изгибающие моменты однослойных панелей из легких бетонов ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$) длиной 3000, 6000, 9000, 12000 мм и толщиной 250, 300 и 350 мм при температурных перепадах $\Delta\theta$ от 0°C до 45°C с шагом 5°C . Значения изгибной жесткости панелей B_n представлены в табл. 1.

Таблица 1

Длина панели, м	Толщина панели, мм		
	250	300	350
	$B_n, \text{ МПа}\cdot\text{м}^4$		
3,0	3,40	5,27	7,57
6,0	3,69	5,67	8,10
9,0	3,83	5,87	8,35
12,0	3,93	6,00	8,51

Для сокращения трудоемкости определения изгибающих моментов M_{n-1} разработана номограмма (рис. 1) для панелей длиной 3000, 6000, 9000, 12000 мм и тол-

щиной 250, 300, 350 мм, которая позволяет определить их графическим способом и рационально подобрать геометрические характеристики стеновых панелей [9].

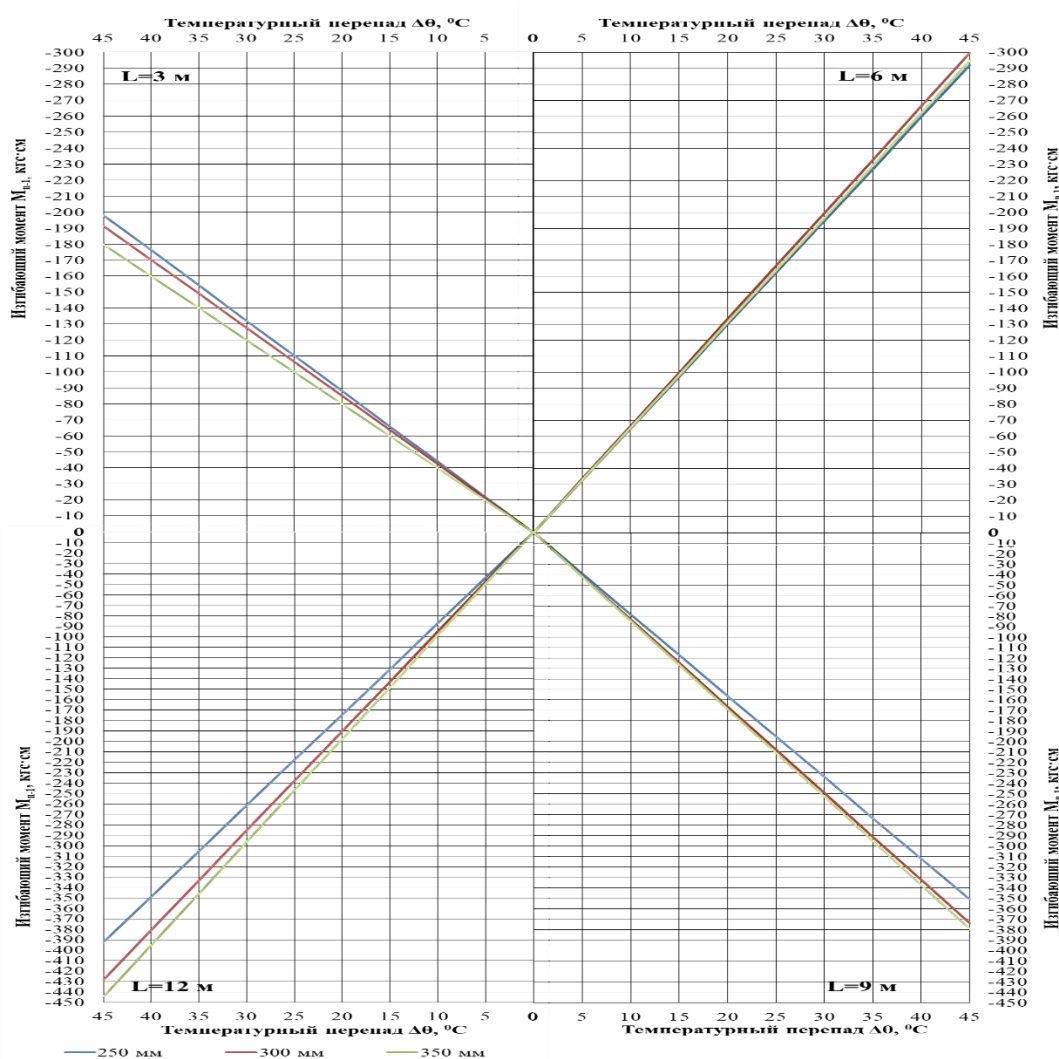


Рис. 1

Для нахождения изгибающих моментов необходимо проложить вертикальную линию от оси X (или X') до графика, находящегося в зоне, соответствующей высоте этажа. От точки пересечения необходимого графика прокладывается горизонтальная линия до оси Y (или Y'), на которой и будет указано значение изгибающего момента M_{n-1} для искомой панели с заданным температурным перепадом. Точность номограммы обусловлена ее шкалами. Для нахождения изгибающих моментов температурных перепадов, не кратных 5°C, необходимо воспользоваться методом интерполяции известных промежуточных значений.

ВЫВОДЫ

Безопасная эксплуатация производственных зданий текстильной промышленности связана с необходимостью учета не только силовых нагрузок, но и климатических воздействий, в первую очередь температурных перепадов между внутренними помещениями и наружной стеной.

С этой целью рассчитаны изгибающие моменты однослойных панелей из легких бетонов с различной толщиной для температурных перепадов $\Delta\theta$ от 0 °C до 45 °C. Выявлено, что изгибающие моменты панелей длиной 9000 и 12000 мм при увеличении толщины с 250 мм до 350 мм возрастают в 1,1-1,13 раза при перепаде температуры $\Delta\theta=45$ °C. Изгибающие моменты панелей длиной 3000 и 6000 мм при изменении толщины панелей увеличиваются в пределах 1,03-1,1 раза.

Для определения изгибающих моментов M_{n-1} панелей длиной 3000, 6000, 9000, 12000 мм и толщиной 250, 300, 350 мм графическим способом разработана номограмма, позволяющая интенсифицировать процесс принятия решения о выборе рациональных геометрических параметров наружных стеновых панелей, эксплуатируемых в различных климатических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Король, Е.А.* Верификация температуры воздуха рабочих зон на предприятиях текстильной

промышленности / *Е.А. Король, Е.Н. Дегаев, Б.Е. Нармания* // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 189...194. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_189.

2. *Руководство по проектированию антикоррозионной защиты строительных конструкций производственных зданий предприятий текстильной промышленности.* М.: НИИЛШ Госстроя СССР, 1980. 89 с.

3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

4. *Кочетов, О.С.* Построение графиков изополя изгибающего момента в программном комплексе SOFiStiK / *О.С. Кочетов, В.А. Булаев, И.В. Булаев* // Динамика взаимоотношений различных областей науки в современных условиях: сб-к статей Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 13 ноября 2017 года. Уфа: Аэтерна, 2017. Ч. 2. С. 78...80.

5. *Готман, А.Л.* Расчет пирамидальных свай на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент с учетом действия вертикальной нагрузки / *А.Л. Готман, С.А. Крутяев* // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13, № 3. С. 28...39. – DOI 10.15593/2224-9826/2022.3.03.

6. *Азизов, Т.Н.* Определение изгибающих и крутящих моментов в ортотропной плите как в системе из перекрестных балок / *Т.Н. Азизов* // Sciences of Europe. 2022. № 87-1(87). С. 61...63. – DOI 10.24412/3162-2364-2022-87-1-61-63.

7. *Булгакова, З.Р.* Устойчивость железобетонного изгибаемого элемента (балки) под действием равномерно распределенного изгибающего момента / *З.Р. Булгакова* // Молодой ученый. 2017. № 19(153). С. 40...43.

8. *Кузнецов, В.С.* Прочность ребристых плит при совместном действии крутящего, изгибающего моментов и поперечной силы / *В.С. Кузнецов, С.Н. Мягкова* // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 6(137). С. 43...44.

9. *Король, Е.А.* Особенности расчета стеновых панелей с монолитной связью слоев на стадиях монтажа, транспортирования и эксплуатации / *Е.А. Король, М.Н. Берлинова* // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14, № 3(126). С. 367...375. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.3.367-375.

10. *Paliychuk I.I.* Calculation of stretching and bending stress in a casing string installed in a well with a complex profile. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. – DOI: 10.31471/1993-9973-2019-1(70)-77...88.

11. *Menglim Hoy, Artit Udomchai, Chakkrid Yeanyong, Suksun Horpibulsuk, Arul Arulrajah.* Stability investigation of the flood protection structure at Nava Nakorn industrial estate, Thailand, Engineering Failure Analysis, Vol. 137, 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106279>.

12. *Комаров, В.А.* Консольные опоры железобетонных ригелей при совместном действии вертикальных сил и опорного изгибающего момента /

В.А. Комаров, О.В. Болдырева, А.Н. Жуков // Региональная архитектура и строительство. 2013. №3. С. 128...133.

13. *Истомин, А.Д.* Работа статически неопределимых железобетонных элементов в условиях отрицательных температур / А.Д. Истомин, А.В. Кудрявцев // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 51...55.

14. *Барабанищikov, Ю.Г.* Трещиностойкость железобетонной стенки в условиях стесненной основой температурной деформации / Ю.Г. Барабанищikov, К.В. Семенов, С.С. Зимин [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8(71). С. 51...62. – DOI 10.18720/CUBS.71.5.

15. *Истомин, А.Д.* Влияние массивности конструкций на температурные деформации бетона при циклическом замораживании и оттаивании / А.Д. Истомин, Е.Н. Александров // Наука и техника в дорожной отрасли. 2018. № 1(83). С. 31...32.

16. *Плотников, А.А.* Учет температурных воздействий при проектировании несущих конструкций / А.А. Плотников // Жилищное строительство. 2021. № 11. С. 21...26. – DOI 10.31659/0044-4472-2021-11-21-26.

REFERENCES

1. *Korol E.A., Degaev E.N. and Narmania B.E.* Verification of air temperature in working areas at textile enterprises // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. No. 6 (402). P. 189...194. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_189.

2. Guidelines for the design of anti-corrosion protection of building structures of industrial buildings of textile industry enterprises. M., NIILSH Gosstroy USSR, 1980. 89 p.

3. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions.

4. *Kochetov O.S., Bulaev V.A., Bulaev I.V.* Plotting the bending moment isofield in the SOFiSTiK software package // Dynamics of relations of different fields of science in modern conditions: collection of articles of the International Scientific-practical conference, Ufa, November 13, 2017. Ufa: Aeterna, 2017. Part 2. P. 78...80.

5. *Gotman A.L., Krutyaev S.A.* Calculation of pyramidal piles for horizontal load and bending moment, taking into account the effect of vertical load // *Construction and Geotechnics*. 2022. T. 13, No. 3. P. 28...39. – DOI 10.15593/2224-9826/2022.3.03.

6. *Azizov T. N.* Determination of bending and torque moments in an orthotropic slab as in a system of cross beams // *Sciences of Europe*. 2022. No. 87-1(87). P. 61...63. – DOI 10.24412/3162-2364-2022-87-1-61-63.

7. *Bulgakova Z.R.* Stability of a reinforced concrete bending element (beam) under the action of a uniformly distributed bending moment // *Young scientist*. 2017. No. 19 (153). P. 40...43.

8. *Kuznetsov V.S., Myagkova S.N.* Strength of ribbed plates under the combined action of torsional, bending moments and transverse force // *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2010. No. 6 (137). P. 43...44.

9. *Korol E.A., Berlinova M.N.* Calculation features of wall panels with a monolithic connection of layers at the stages of installation, transportation and operation // *Vestnik MGSU*. 2019. T. 14, No. 3 (126). P. 367...375. – DOI 10.22227/1997-0935.2019.3.367-375.

10. *Paliychuk I.I.* Calculation of stretching and bending stress in a casing string installed in a well with a complex profile. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. DOI: 10.31471/1993-9973-2019-1(70)-77-88.

11. *Menglim Hoy, Artit Udomchai, Chakkrid Yeanyong, Suksun Horpibulsuk, Arul Arulrajah.* Stability investigation of the flood protection structure at Nava Nakorn industrial estate, Thailand, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 137, 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106279>.

12. *Komarov V.A., Boldyreva O.V., Zhukov A.N.* Cantilever supports of reinforced concrete crossbars under the combined action of vertical forces and a support bending moment // *Regional Architecture and Construction*. 2013. No. 3. P. 128...133.

13. *Istomin A.D., Kudryavtsev A.V.* Work of statically indeterminate reinforced concrete elements under negative temperatures // *Industrial and civil construction*. 2016. No. 7. P. 51...55.

14. *Barabanshchikov Yu.G., Semenov K.V., Zimin S.S. [et al.]* Crack resistance of a reinforced concrete wall under conditions of thermal deformation constrained by the base // *Construction of unique buildings and structures*. 2018. No. 8(71). P. 51...62. – DOI 10.18720/CUBS.71.5.

15. *Istomin A.D., Aleksandrov E.N.* Influence of massiveness of structures on temperature deformations of concrete during cyclic freezing and thawing // *Science and Technology in the Road Industry*. 2018. No. 1 (83). P. 31...32.

16. *Plotnikov A.A.* Accounting for temperature effects in the design of load-bearing structures // *Housing construction*. 2021. No. 11. P. 21...26. – DOI 10.31659/0044-4472-2021-11-21-26.

Рекомендована кафедрой жилищно-коммунального комплекса НИУ МГСУ. Поступила 20.06.23.