

УДК 725.36:624.042.5

## **ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ХРАНИЛИЩ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Жданов А.А., к.т.н., доц**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина*

Из внешних воздействий, которые необходимо учитывать при прочностном расчете металлических цилиндрических хранилищ для сыпучих материалов (МЦХСМ), недостаточно исследованы и поэтому в расчетах не учитываются в полной мере температурные климатические воздействия (ТКВ)—изменение температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиация - прямой и рассеянной. Температурные поля, которые наводят ТКВ в вертикальных металлических цилиндрических хранилищах сыпучих материалов, как показывают исследования на моделях и на натуральных объектах [1] (Фото 1), отличаются нестационарностью, влиянием географического места расположения объекта, времени года и многими другими факторами. Так, на гармонические годовые колебания температуры наружного воздуха накладываются гармонические сезонные колебания, а на них, в свою очередь, гармонические суточные колебания с соответствующими фазовыми сдвигами. Интенсивность солнечной радиации также непостоянна как в течение суток, так и на более длинных отрезках времени [2,3].

В данной работе на основе гармонической аппроксимации выполненных автором экспериментальных исследований [1] предложено аналитическое описание температурных полей, наводимых в стенке МЦХСМ, как внешнего климатического температурного воздействия при прочностном расчете стенки хранилища. На рис.1 - 3 приведены характерные графики температурных полей, наводимых в тонкостенных металлических цилиндрических оболочках модели (рис. 1, 2) и натурной стальной силосной оболочки (рис.3).

Температурное поле полностью освещенной солнцем цилиндрической оболочки можно разбить на два участка, в пределах которых оно приближенно описывается функцией:

$$t(\beta) = \begin{cases} t_0 + t_1(1 + \cos 1,5\beta), & (0 \leq \beta \leq \pm 2\pi/3) \\ t_0, & (2\pi/3 \leq \beta \leq \pm\pi) \end{cases} \quad (1)$$



Фото.1. Объект натуральных исследований – зернохранилище на Дрокиевском ХПП (Молдова)

В таком представлении температурное поле полностью освещенной солнцем оболочки является симметричным относительно нормали падения солнечных лучей. Отличие экспериментальных и теоретических данных по величине средне интегральной температуры первого участка не превышает 5%.

Представление функции (1) рядом Фурье имеет вид:

$$t^* = t_0 + \frac{2t_1}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} t_{nc} \cos n\beta, \quad (2)$$

где 
$$t_{nc} = -(4,5t_1 \sin 2\pi \cdot n/3)/(\pi \cdot n(n^2 - 2,25)). \quad (3)$$

Пяти гармоник в (2) достаточно для практически неотличимой аппроксимации (см. рис.4 а).

Температурное поле оболочки, половина которой закрыта экраном (тень от рядом стоящего сооружения), можно разбить на два участка, в пределах которых его можно описать функцией:

$$\left. \begin{aligned} t(\beta) &= t_0 + t_1(1 + \cos 1,5\beta), & (0 \leq \beta \leq 2\pi/3) \\ t(\beta) &= t_0, & (2\pi/3 \leq \beta \leq 2\pi) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

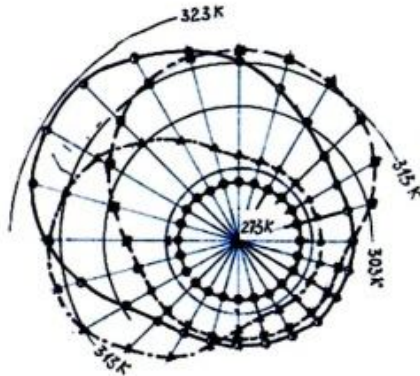


Рис.1. Температурное поле модели хранилища, измеренное 04.10.77 г.:

▲ - 10<sup>00</sup>; ○ - 13<sup>00</sup>; ■ - 16<sup>00</sup>; ● - 18<sup>00</sup>

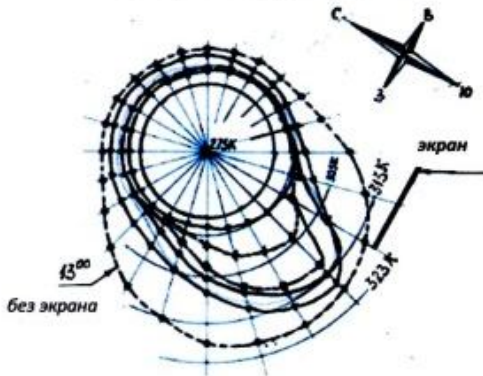


Рис.2. Температурное поле модели хранилища, измеренное 11.10.77 г.:

● - 11<sup>40</sup>; ◆ - 11<sup>45</sup>; ■ - 12<sup>00</sup>; ○ - 12<sup>20</sup>; ▲ - 12<sup>40</sup>; ● - 13<sup>00</sup>

Разложение этой функции в ряд Фурье имеет вид:

$$t^* = t_0 + \frac{t_1}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} (t_{nc} \cos n\beta + t_{ns} \sin n\beta), \quad (5)$$

где  $t_{nc} = -(2,25t_1 \sin 2\pi \cdot n/3)/(\pi \cdot n(n^2 - 2,25)),$  (6)

$t_{ns} = t_1[2n/(n^2 - 2,25) + 2,25(\cos 2\pi \cdot n/3 - 1)/(n(n^2 - 2,25))]/\pi.$  (7)



рядом (5) максимальна в зоне границы «солнце-тень» и для  $\beta = 15^\circ$  составляет 6%.

С достаточной для практики расчетов точностью температурное поле полностью освещенной солнцем вертикальной цилиндрической оболочки можно аппроксимировать рядом (2), содержащим пять гармоник разложения только по косинусам. Температурное поле оболочки с экраном, закрывающим половину оболочки, можно аппроксимировать рядом (5), содержащим десять гармоник разложения по синусам и косинусам. В табл.1 приведены коэффициенты разложения для обоих видов температурного поля оболочки.

Табл.1. Коэффициенты разложения температурных полей в ряды Фурье

n	Оболочка без экрана		Оболочка с экраном	
	$t_{nc}$	$t_{ns}$	$t_{nc}$	$t_{ns}$
1	0,9920	0	0,4962	0,3500
2	0,3540	0	0,1772	0,4206
3	0	0	0	0,2829
4	-0,0226	0	-0,0113	0,1657
5	0,0109	0	0,0054	0,1305
6	0	0	0	0,1132
7	0	0	-0,0019	0,0920
8	0	0	0,0013	0,0803
9	0	0	0	0,0728
10	0	0	-0,0006	0,0640

Все вышеизложенное позволяет предложить расчетный метод определения (задания) температурных полей вертикальных металлических цилиндрических хранилищ сыпучих материалов, основанный на представлении температурного поля оболочек рядами (2) и (5), амплитуды которых определяются с учетом данных климатологических наблюдений и рекомендаций СНиП.

Для расчета максимальных температур нагрева стенки МЦХСМ необходимо учитывать совпадение максимумов температуры наружного воздуха и солнечной радиации. По данным [2, 3] в июле, как наиболее жарком месяце, температура наружного воздуха достигает максимума в 15 часов. По данным А.И.Кругловой [4] в июле месяце в точки вертикальной поверхности западной ориентации в 15-

16 часов поступает максимальное количество прямой и рассеянной солнечной радиации.

С учетом этого параметры температурного поля МЦХСМ, описываемого рядами (2), (5),  $t_0$  и  $t_1$  можно определить по формулам:

$$t_0 = t_{iA}^{15} + p \cdot Q_{DA}^{15} / \alpha_i, \quad (8)$$

$$2t_1 = p \cdot (Q_{iC}^{15} + Q_{DC}^{15} - Q_{DA}^{15}) / \alpha_j, \quad (9)$$

где  $t_{iA}^{15}$  - расчетная температура наружного воздуха в 15 часов (определяется по СНиП [6] с учетом [6]);

$p$  - коэффициент поглощения солнечной радиации наружной поверхностью МЦХСМ (данные для некоторых видов поверхностей приведены в [7, 8, 9, 10]);

$Q_{DA}^{15}$ ,  $Q_{DC}^{15}$  - рассеянная солнечная радиация, поступающая на вертикальные поверхности, соответственно, восточной и западной ориентации при безоблачном небе в июле в 15 часов (принимается по табл. 82 Приложения [4]);

$Q_{iC}^{15}$  - прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность западной ориентации при безоблачном небе в июле в 15 часов (принимается по табл. 27 Приложения [4]);

$\alpha_j$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стенки МЦХСМ (с учетом скорости ветра определяется по формуле Франка [4]).

Минимальная температура стенки МЦХСМ в суточном цикле нагрева - охлаждения может быть принята одинаковой для всех её точек и определена по формуле:

$$t_0 = t_{VII}^{\bar{N}} - \Delta_{VII} - 3 - 0,5 \cdot t_{VII}^{\bar{A}}, \quad (10)$$

где  $t_{VII}^{\bar{N}}$  - многолетняя среднемесячная июльская температура, принимаемая по картам 5 и 6 гл. СНиП II-6-74 [5];

$\Delta_{VII}$  - отклонение средней температуры наиболее теплых суток от значения  $t_{VII}^{\bar{N}}$  (по данным [6]  $\Delta_{VII} = 6$  К);

$t_{VII}^{\bar{A}}$  - нормативное значение средних амплитуд (точнее размахов) суточных колебаний температуры в июле (принимается по табл. 2 гл. СНиП II-A.6-72).

## **Выводы**

1. Предложен экспериментально-расчетный способ задания температурных климатических воздействий на стенки МЦХСМ с учетом влияния прямой и рассеянной солнечной радиации, времени года и места расположения объекта.

2. Температурное поле принимается квазистационарным, рассчитывается для наиболее жаркого месяца июля на 15 часов для полностью освещенной солнцем оболочки и при наличии экрана, закрывающего по всей высоте половину стенки хранилища. В суточном цикле минимальная температура стенки осесимметрична и может быть принята равной температуре наружного воздуха в 3 часа ночи.

3. Представление температурного воздействия в рядах Фурье удобно и для последующего анализа напряженно-деформированного состояния стенки хранилища, компоненты которого отыскиваются разложением в ряды Фурье.

### **Summary**

**The results of measurements of a harmonic approximation of the temperature fields wall vertical cylindrical metal storage of bulk materials had induced in it climatic temperature impacts - changes in the outdoor temperature, direct and diffuse solar radiation. The technique of definition of the amplitudes of harmonics of temperature fields was proposed.**

1. Обзор конструкций. Исследование деформативных характеристик зерна и параметров температурных воздействий: Отчет/ОТИПШ им. М.В.Ломоносова; Научный руководитель к.т.н., доц. А.В.Анатольев. Ответственный исполнитель инж. А.А.Жданов. – Шифр работы 98/76; № ГР 77011443. - Одесса, 1978. - 99 с.
2. Шкловер А.М. Теплотехнический расчет зданий, расположенных на Юге СССР.– М.: Стройиздат, 1952.– 44 с. 3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с. 4. Круглова А.И. Климат и ограждающие конструкции. – М.: Стройиздат, 1970.- 167 с. 5. Строительные нормы и правила. Ч.П.Гл.6. Нагрузки и воздействия: Нормы проектирования. СНиП II-6-74. - М.: Стройиздат, 1976.
6. Бельшев И.А. Нормирование температурных климатических воздействий для расчета конструкций зданий. – В кн.: Расчеты строительных конструкций. М., 1976, вып.42. с. 23-36. (Труды института / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко; вып.42).
7. Пуховский А.Б. О статическом расчете замкнутых металлических цилиндрических оболочек под действием солнечной радиации. – Известия вузов. Строительство и архитектура, 1965, № 3, с. 27-32. 8. Пуховский А.Б. Об одной задаче статического расчета металлических цилиндрических оболочек в

условиях одностороннего нагрева. – Известия вузов. Строительство и архитектура, 1967, №3, с. 27-32. 9. Тамплон Ф.Ф. Нагрев металлических ограждающих конструкций под действием солнечной радиации. – Промышленное строительство, 1974, № 6, с. 38-41. 10. Тамплон Ф.Ф., Николашкин Г.А. Натурные обследования кровель и стен из алюминиевых панелей. – Промышленное строительство, 1970, № 9, с. 36-39.



