**Практическое занятие 6.**

**Учет температурных деформаций при назначении проектного решения наружных ограждающих конструкций**

Суточные и сезонные  изменения температуры наружного воздуха, прямое солнечное  излучение, отраженное солнечное излучение и т. д. приводят к изменению распределения температуры в отдельных элементах конструкций зданий и сооружений. Эти изменения вызывают температурные воздействия на конструкции зданий, которые необходимо учитывать при их проектировании.

В этой, первой, части дается упрощенный обзор особенностей учета температурных воздействий при проектировании конструкций зданий по российскому своду правил СП 20.13330.2012 (СНиП 2.01.07-85). При реальном проектировании необходимо применять актуализированную редакцию этого документа.

Во второй части представлены основы теории температурных деформаций, напряжений и перемещений в конструкциях.

В третьей части показаны примеры температурных воздействий на простейшие конструкции – балки с различными условиями закрепления, а также выводы, которые можно сделать из них для реальных конструкций.

## 5.1. Температурные воздействия на конструкции зданий

Требования по назначению температурных воздействий для учета их при проектировании зданий и сооружений устанавливает свод правил СП 20.13330.2012 (СНиП 2.01.07-85) [1]. В европейской системе Еврокодов температурные воздействия рассматривает EN 1991-1-5 (Еврокод 1) [2].

**Основные факторы температурных воздействий**

Степень температурных воздействий на конструкции зданий зависит от следующих факторов:

* местные климатические условия,
* пространственная ориентация конструкции,
* общая масса конструкции,
* свойства наружных поверхностей (облицовки, отделки  зданий),
* режимы работы систем обогрева и кондиционирования,
* тепловая изоляция здания.

**Необходимость учета температурных воздействий**

Температурные  воздействия  на  конструкции здания следует учитывать при определении расчетных параметров конструкционных элементов, если существует  возможность превышения предельных состояний по несущей способности и эксплуатационной пригодности вследствие температурных перемещений и/или напряжений. Для  подтверждения  того,  что  температурные  деформации  (перемещения)  не  вызовут перенапряжений в конструкции, элементы несущих конструкций:

* включают в проектные расчеты влияние температурных  воздействий или
* применяют  конструкционные меры, которые будут обеспечивать свободное перемещение узлов и соединений при изменении их температуры.

Для конструкций, которые защищены от суточных и сезонных изменений температуры, температурные климатические воздействия не учитываются.

## 5.2. Температурные воздействия по СНиП 2.01.07-85

**Параметры температурных воздействий**

СНиП 2.01.07-85 предписывает для конструкций, которые не защищены от суточных и сезонных изменений температуры, учитывать изменение во времени:

* средней температуры Δt строительных элементов;
* среднего перепада температуры ϑ по сечению строительных элементов.

1) Нормативные значения изменения средней температуры элемента летом ∆tw и зимой ∆tсопределяют по формулам:

∆tw = tw – t0с

∆tс = tс – t0w

Здесь tw, tс – нормативные значения средней температуры элемента летом и зимой, а также t0w, t0c – летняя и зимняя начальные температуры конструкции.

2) Средние перепады температуры по сечению элемента ϑw и ϑc определяют по формулам таблицы 13.1 СНиП 2.01.07-85 с применением данных других таблиц.

Примечание: Здесь и далее для краткости вместо применяемых в СНиП выражений «теплое время года» и «холодное время года» применяются слова «лето», «летний» и «зима», «зимний».

**Типы конструкций зданий по температурным воздействиям**

В СНиП 2.01.07-85 отдельно рассматриваются две категории конструкций зданий:

* не защищенные от воздействия солнечного излучения;
* защищенные от воздействия солнечного излучения.

Для каждой из этих двух категорий отдельно рассматриваются конструкции:

* не отапливаемых зданий и открытых сооружений
* отапливаемых зданий
* зданий с технологическими источниками тепла.

Ниже для определенности и простоты будем рассматривать только отапливаемые здания, как не защищенные, так и защищенные от солнечного излучения. Другие случаи рассматриваются аналогично, но по другим формулам.

**Параметры, общие для всех категорий конструкций зданий**

tew = tиюль + Δиюль

teс = tянв + Δянв

Здесь:

tиюль и tянв – многолетние средние месячные температуры воздуха в январе и

июле (принимаются по специальным картам);

Δянв и Δиюль – отклонения средних суточных температур от средних месячных

(Δянв принимается по специальной карте, Δиюль = 6 ºС).

Летнюю или зимнюю начальную температуру конструкции - температуру, при которой было выполнено замыкание конструкции или ее части в законченную систему, определяют по формулам:

t0w = 0,8·tиюль + 0,2·tянв

t0с = 0,2·tиюль + 0,8·tянв

## 5.3. Конструкция отапливаемого здания, не защищенная от солнечного излучения

**Средние температуры по сечению элемента летом tw и зимой tс**

3.1.1. Нормативная средняя летняя температура по сечению элемента tw

tw = tew + θ1 + θ4

Здесь:

tew – средняя суточная температура наружного воздуха летом (см. 2.3.1);

θ1 – приращение температуры в зависимости от материала и толщины конструкционного элемента – по таблице 13.2;

θ4 – приращение температуры элемента от солнечного излучения.

Приращение θ4 вычисляется по формуле:

θ4 = 0,05·ρ·Smax·k

Здесь:

ρ – коэффициент поглощения солнечного излучения – по таблице 13.3;

Smax (Вт·ч/м2) – суммарное солнечное излучение в июле в зависимости от широты местности и ориентации (вертикально-горизонтально, юг-восток/запад-север) – по таблицам 13.4 или 13.5;

k – коэффициент, учитывающий свойства материала – по таблице 13.6.     Нормативная средняя зимняя температура по сечению элемента tс

tс = tic + 0,6(tec – tic) + 0,5θ2

Здесь:

tic – температура внутреннего воздуха зимой;

tec – средняя суточная температура наружного воздуха зимой (см. 2.4);

θ2 – приращение температуры от солнечного излучения, зависит от материала

       (для металлических конструкций составляет 6 ºС).

**Средние перепады температуры по сечению элемента ϑw и ϑc**

3.2.1. Средний летний перепад температуры по сечению элемента ϑw

ϑw = θ5

Здесь θ5 – приращение перепада температуры от солнечного излучения.

Приращение θ5 вычисляется по формуле:

θ5 = 0,05·ρ·Smax·(1-k)

Здесь:

ρ – коэффициент поглощения солнечного излучения;

Smax (Вт·ч/м2) – суммарное солнечное излучение в июле в зависимости от широты местности и ориентации (вертикально-горизонтально, юг-восток/запад-север);

k – коэффициент, учитывающий свойства материала.

3.2.2. Средний зимний перепад температуры по сечению элемента ϑс

ϑс = 0,8(tec – tic) – 0,5θ3

Здесь θ3 – приращение перепада температуры в зависимости от материала.

**Пример расчета летних температурных воздействий**

Исходные данные:

* конструкция отапливаемого здания;
* конструкция не защищена от солнечного излучения;
* материал конструкции - алюминий (ρ = 0,5; θ1 = 8 ºС; k = 0,7);
* Москва, 59º с.ш., вертикальная поверхность, восточная ориентация  
  (Smax = 791 Вт·ч/м2);
* время замыкания конструкции – зима;
* время температурных воздействий – лето.

Это может относиться, в том числе, к наружным элементам светопрозрачных фасадных конструкций, например, прижимным планкам стоечно-ригельных фасадов.

СНиП 2.01.07-85 учитывает возрастание теплопоглощения материалами темных цветов, в том числе, стали, увеличением коэффициента поглощения солнечного излучения ρ до 0,8. Вместе с тем, алюминиевые сплавы, окрашенные и неокрашенные, светлые и темные, никак не подразделяются – в таблице 13.3 для них предусмотрена только одна строка «алюминий» с коэффициентом ρ, равным 0,5.

Для определения температурного воздействия летом применяют формулы:

∆tw = tw – t0с

ϑw = θ5

Здесь:

tw – нормативная средняя температура элемента летом;

t0c – зимняя начальная температура конструкции;

3.3.3. Летняя средняя суточная температура наружного воздуха:

tew = tиюль + ∆июль = 20 + 6 = 26 ºС

3.3.4. Средняя летняя температура элемента tw

1) tw = tew + θ1 + θ4

2) Летняя средняя суточная температура наружного воздуха tew = 26 ºС

3) Приращение θ1 = 8 ºС.

4) Приращение θ4 = 0,05·ρ·Smax·k

θ4 = 0,05·0,5·791·0,7 ≈ 14 ºС.

5) Средняя летняя температура по сечению элемента tw = 26 + 8 + 14 = 48 ºС

Начальная температура при замыкании конструкции зимой t0с

t0с = 0,2·tиюль + 0,8·tянв = 0,2·20 + 0,8·(**–**10) = 4 **–** 8 = **–**4 ºС

3.3.6. Нормативное изменение средней температуры по сечению элемента летом:

 ∆tw = tw – t0с = 48 – (– 4) = 52 ºС.

3.3.7. Средний перепад температуры по сечению элемента ϑw

1) ϑw = θ5

2) Приращение θ5 = 0,05·0,5·791·(1-0,5) ≈ 10 ºС.

3) ϑw = 10 ºС

Коэффициент надежности по нагрузке для температурных климатических воздействий составляет 1,1. Поэтому расчетные летние температурные воздействия для конструкции отапливаемого здания, не защищенной от излучения солнца составят:

* по изменению средней температуры элемента: 52·1,1 ≈ 57 ºС;
* по среднему перепаду температуры по сечению элемента: 10·1,1 ≈ 11 ºС.

Отметим, что при расчете этих температурных воздействий не учитывалось возможное существенное увеличение температуры алюминиевых элементов, окрашенных в темные цвета, под воздействием солнечного излучения.

## 5.4. Конструкция отапливаемого здания, защищенная от солнечного излучения

Средняя летняя температура по сечению элемента tw

tw = tew

Здесь: tew – средняя суточная температура наружного воздуха летом.

Средняя зимняя температура по сечению элемента tс

tс = tic

Здесь: tic – температура внутреннего воздуха зимой.

**Средние перепады температуры по сечению элемента ϑw и ϑc**

Средний летний перепад температуры по сечению элемента ϑw

ϑw = 0

Средний зимний перепад температуры по сечению элемента ϑс

ϑс = 0

**Пример расчета летних температурных воздействий.**

Исходные данные:

* конструкция отапливаемого здания;
* конструкция защищена от солнечного излучения;
* материал конструкции - алюминий;
* Москва, 59º с.ш.;
* время замыкания конструкции – зима;
* время температурных воздействий – лето.

Этот случай может относиться к алюминиевым подконструкциям [навесных вентилируемых фасадов](https://alucom.ru), так как они защищены от солнечного излучения слоем наружной облицовки.

Для определения температурных воздействий летом применяют формулы:

∆tw = tw – t0с

ϑw = 0

Летняя средняя суточная температура наружного воздуха:

tew = tиюль + ∆июль = 20 + 6 = 26 ºС

Средняя летняя температура по сечению элемента tw

tw = tew = 26 ºС

Начальная температура при замыкании конструкции зимой t0с

t0с = 0,2·tиюль + 0,8·tянв = 0,2·20 + 0,8·(**–**10) = 4 **–** 8 = **–** 4 ºС

Нормативное изменение средней температуры по сечению элемента летом:

∆tw = tw – t0с = 26 – (– 4) = 30 ºС.

Средний перепад температуры по сечению элемента ϑw

ϑw = 0

Расчетные температурные воздействия для конструкции отапливаемого здания, защищенной от излучения солнца

С учетом коэффициента надежности 1,1 по нагрузке для температурных климатических воздействий согласно, расчетные температурные воздействия составляют:

* по изменению средней температуры по сечению элемента летом: 33 ºС;
* по среднему перепаду температуры по сечению элемента летом: 0 ºС.

### Заключение

1) Температурные воздействия на элементы конструкций зданий оцениваются согласно СНиП 2.01.07-85 по следующим параметрам:

- изменение средней температуры элемента конструкции;

- средний перепад температуры по сечению элемента конструкции.

2) В климатических условиях Москвы нормативные летние температурные воздействия для алюминиевой конструкции, не защищенной от солнечного излучения, например, элементов светопрозрачного фасада, могут достигать:

* 57 ºС по изменению средней температуры конструкционного элемента и
* 11 ºС по перепаду по сечению элемента.

При оценке этих температурных воздействий не учитывалось возможное повышенное поглощение солнечного излучения алюминиевыми элементами, окрашенными в темные цвета.

3) Летние температурные воздействия на алюминиевую конструкцию, защищенную от солнечного излучения, например, на подконструкцию навесного вентилируемого фасада, значительно ниже:

* 33 ºС по изменению средней температуры конструкционного элемента и
* 0 ºС по перепаду по сечению элемента.