

## **Выводы**

Сравнение национальных шведский и белорусских норм в разделе сбора нагрузок от собственного веса не выявил отличий.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Börje Rehnström, Carina Rehnström Byggkonstruktion enligt eurokoderna, Rehnströms bokförlag, 2011
2. Еврокод «Основы проектирования строительных конструкций» ТКП EN 1990-2011, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск-2012.
3. Еврокод 1 «Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-1. Удельный вес, постоянные и временные нагрузки на здания» СТБ EN 1991-1-1-2007, Госстандарт Минск 2008.

УДК 624

## **Влияние температурных воздействий на НДС каменной кладки в многослойных конструкциях**

Жерносек В.Л., Денисенко А.А.

Научный руководитель – Гринев В.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

На территории СНГ возведено более сотни дымовых труб различных высот каждая, и каждая из них испытывает определённое напряжённое состояние. Основные факторы влияющие на это состояние - это ветер и температура. В данной работе мы рассматриваем температурные воздействия.

Основным предназначением дымовых труб является вывод газов (продуктов сгорания топлива). Вместе с ними через трубу удаляются дым, сажа, пепел и копоть, которые, при неправильном формировании внутренней поверхности дымохода, могут оседать на его стенках, затрудняя в дальнейшем прохождение газов.

Ещё одним предназначением дымовых труб является обеспечение нормальной тяги в печи, которая находится в прямом соотношении с толщиной и высотой дымоходного канала. Температура продуктов сгорания на выходе из трубы превышает 373 К (около

100 °С), что позволяет создавать в отопительной конструкции естественную тягу — путём замещения горячих слоев воздуха холодными.

В основном данные дымовые трубы рассчитаны на температуру выходящих газов 100-200°С, но также есть отдельные сооружения на примере которой мы рассматриваем, как ОАО «Нафтан» Битумная 2, где температура выходящих газов достигает 1200°С, вследствие такой температуры с течением времени происходит деформация сооружения. Также результаты расчётов аэродинамического теплового режима работы дымовых труб требуют температурный перепад в футеровке 80°С, а в ж/б оболочке до 50°С, ввиду вышечисленного мы решили рассчитать дымовую трубу ОАО «Нафтан» Битумная-2 на температурный воздействия, чтобы затем проанализировать влияние их на общую устойчивость, и сделать выводы.

Нами были использованы рабочие чертежи трубы и технические характеристики строительных конструкций дымовой трубы.

Мы разбили труба на 3 характерных сечения, где несущий слой кирпича составляют 250, 380 и 510 мм и нашли параметры для каждого сечения, которые приведены в таблице 1. Объём уходящих газов принят 100 м<sup>3</sup>/с.

Таблица 1. Параметры дымовой трубы

<i>Отм., м</i>	<i>Диаметр d, м</i>	<i>Площадь сече- ния, F=0.785d<sup>2</sup></i>	<i>W<sub>г</sub>, м/с</i>	<i>K-т теплоотдачи от газов к стенке, аг</i>
0	3,34	8,757	11,4	8,141
9,2	2,164	3,676	27,2	16,282
44,7	2,147	3,619	27,6	16,3983

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке определялся по номограмме полученной РУП "Белнипиэнергопром". Для определения этого коэффициента необходимо знать скорость газов, внутренний диаметр и температуру газов. Так как данная номограмма рассчитана на температур до 260 градусов мы интерполируя провели линию, представленную на рис.1 красной линией для температуры 1200 и нашли значение коэффициентов для каждого характерного сечения.

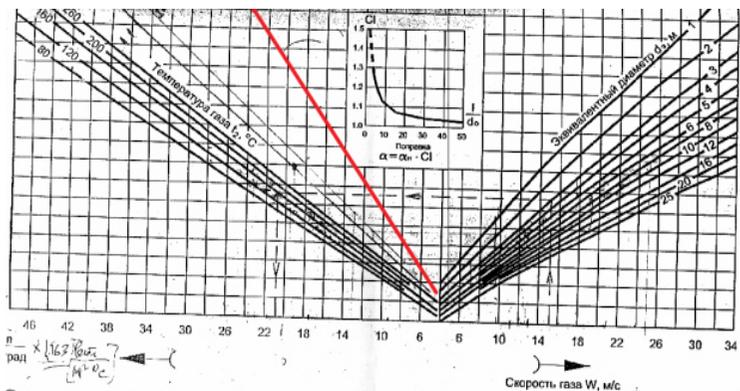


Рис. 1. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи от газов к стенке

Значение температуры в плоскостях контакта слоев конструкции определяется по данной формуле:

$$t_i = t_g - (t_g - t_n) / R_T (1 / \alpha_v + \sum \delta / \lambda), \text{ } ^\circ\text{C}$$

где  $t_v$  - температура внутри трубы,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_n$  - температура снаружи трубы,  $^\circ\text{C}$ ;

$R_T$  - сопротивление теплопередачи конструкции трубы,  $\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

$\alpha_v$  - коэффициент теплоотдачи от газов к стенке,  $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  ;

$\delta$  - толщина слоя конструкции, м;

$\lambda$  - теплопроводность слоя конструкции,  $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  .

Расчёты были произведены с помощью Excel и сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Расчёт температуры на слоях конструкции трубы

№ п/п	Параметры, обозначения	Размерность	Величины
1	2	3	4
1	Температура дымовых газов, $t_g$	$^\circ\text{C}$	1200
2	Температура наружного воздуха, $t_n$ .в.	$^\circ\text{C}$	-25
3	Скорость газов, $W$	м/с	11.419
4	Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	$\text{Вт}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	8.141
5	Толщина футеровки из шамотного огнеупорного кирпича, $\delta_{\text{кк}}$	м	0.12
6	Толщина диатомового кирпича, $\delta_{\text{д}}$	м	0.12
7	Толщина мин. ваты	м	0.08
8	Толщина кирпичной стенки, $\delta_{\text{к}}$	м	0.51
9	К-т теплопроводности шамотного огнеупорного кирпича, $\lambda_{\text{кк}}$	$\text{Вт}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	0.84

1	2	3	4
10	То же диатомового кирпича	Вт/м <sup>2</sup> .°С	0.2
11	То же мин ваты, лкгр	ккал/м.ч.гр.	0.06
12	То же кирпичной стенки, лоб	Вт/м <sup>2</sup> .°С	0.81
13	К-т теплоотдачи ав от наружной поверхности несущего слоя	Вт/м <sup>2</sup> .°С	15
14	Разность температур "газ-стенка"	°С	51.9711
15	Температура внутренней поверхности футеровки, t1	°С	1148.03
16	Тепловой поток через ограждающие конструкции, q=αг*Δтг	Вт/м <sup>2</sup>	423.09
17	Температура внешней поверхности футеровки, t2	°С	1087.59
18	Температура внутренней поверхности диатомового кирпича, t2	°С	1087.59
19	Температура внешней поверхности диатомового кирпича, t3	°С	833.728
20	Температура внутренней поверхности мин. ваты, t3	°С	833.728
21	Температура внешней поверхности мин. ваты, t4	°С	269.6
22	Температура внутренней поверхности кирпичной стен, t4	°С	269.6
23	Температура внешней поверхности кирпичной стенки, t5	°С	3.2064
24	Перепад температур в футеровке, Δтф	°С	60.44
25	Перепад температур в несущей кладке, Δтк	°С	266.39

Конструкция трубы состоит из шамотного огнеупорного кирпича, диатомового кирпича, минеральной ваты и обычного кирпича. Расчётное сечение трубы расположено в основании, поэтому мы рассматривали сечение, где толщина несущей кладки составляет 510 мм. По данным расчёта было построено температурное поле для конструкции трубы на рис. 2

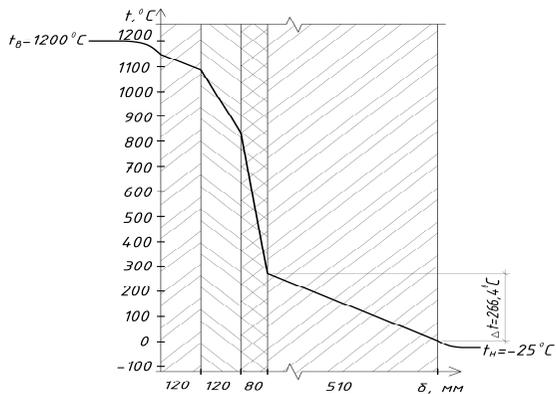


Рис. 2. Температурное поле для конструкции трубы

На данном рисунке видно, что температура на внешней поверхности трубы составляет 3,2°C, когда снаружи температура воздуха - 25°C. Перепад в несущем слое конструкции составляет 266,4°C.

Также было рассчитано значение температурного напряжения за счёт перепада температуры в расчётном сечении по формуле:

$$\sigma_t = \alpha \cdot \Delta t_w \cdot E \cdot d_1 / D_1, \text{ МПа}$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения, °C<sup>-1</sup>;

$\Delta t_w$  - изменение температуры в несущем слое кладки, °C;

E - модуль упругости кирпичной кладки, МПа;

$d_1$  - внутренний диаметр трубы, м;

$D_1$  - наружный диаметр трубы, м.

Расчёт произведён с помощью Excel и сведён в таблицу 3.

В результате было получено напряжение вызванное перепадом температуры равное 3 МПа, когда нормативное сопротивление кирпичной кладки составляет 18МПа.

Таблица 3. Расчёт трубы на температурное напряжение

№ n/n	Параметры, обозначения	Размерность	Величины
1	Наружный диаметр трубы в нижнем сечении, D1	м	5
2	Внутренний диаметр трубы в нижнем сечении, d1	м	3.98
3	Модуль упругости кирпичной кладки, E	МПа	2880
4	Коэффициент линейного расширения кладки, $\alpha$	°C <sup>-1</sup>	0.000005
5	Перепад температуры в несущей кладке, $\Delta t_k$	°C	266.394
6	Напряжение вызванное перепадом температуры	МПа	3.054
7	Нормативное сопротивление кладки, R	МПа	18

В практике встречаются случаи, когда температура внутри трубы определить невозможно, а толщина слоёв и материалы известны. В данном случае необходимо использовать пирометры, определяя температуру на наружной поверхности трубы с 4 сторон. Далее определяют среднюю температуру. Также необходимо принять коэффициент теплоотдачи от газа к стенке усредненное значение равное  $6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  и в результате расчёта можно получить приблизительное значение температуры внутри трубы с малой погрешностью. Для расчёта нужно использовать следующую формулу:

$$t_{\text{в}} = (t_{\text{пов}} - t_{\text{н}} / R_{\text{T}} \cdot (1 / \alpha_{\text{в}} + \Sigma \delta / \lambda)) / (1 - 1 / R_{\text{T}} \cdot (1 / \alpha_{\text{в}} + \Sigma \delta / \lambda)), ^\circ\text{C}$$

Нами также была решена обратная задача и сведена в таблицу 4.

Видно что полученный результат не сильно отличается от действительных.

Таблица 4. Решение обратной задачи

<i>№ n/n</i>	<i>Параметры, обозначения</i>	<i>Размерность</i>	<i>Величины</i>
1	Температура на поверхности стенки, тн	°C	3.2
2	Температура наружного воздуха, тн.в.	°C	-25
3	Скорость газов, Втг	м/с	11.42
4	Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке	Вт/м <sup>2</sup> ·°C	6
5	Толщина футеровки из шамотного огнеупорного кирпича, дкк	м	0.12
6	Толщина диатомового кирпича, дд	м	0.12
7	Толщина мин. ваты	м	0.08
8	Толщина кирпичной стенки, дк	м	0.51
9	К-т теплопроводности шамотного огнеупорного кирпича, лкк	Вт/м <sup>2</sup> ·°C	0.84
10	То же диатомового кирпича	Вт/м <sup>2</sup> ·°C	0.2
11	То же мин ваты, лкгр	ккал/м.ч.гр.	0.06
12	То же кирпичной стенки, лоб	Вт/м <sup>2</sup> ·°C	0.81
13	К-т теплоотдачи ав от наружной поверхности кирпичной кладки	Вт/м <sup>2</sup> ·°C	15
14	Общее сопротивление конструкции, R0	Вт/м <sup>2</sup> ·°C	2.94
15	Температура внутри трубы	°C	1218.55

### **Выводы**

1. Оптимизирована номограмма по определению коэффициента теплоотдачи.

2. Составлены в Excel таблицы для определения температуры в любой точке сечения трубы.

3. Найдено температурное напряжение в несущем слое трубы.

4. Определение температуры внутри трубы по температуре наружной поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции».
2. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи конвекцией от газа к стенке, разработанная РУП «Белнипиэнергопром».
3. ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования».

УДК 624.131

#### **Применение композитных профилей при армировании железобетонных конструкций**

Ковганко Л.А., Прокопович В.С.

Научный руководитель – Хотько А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Неметаллический профиль из композитных материалов из года в год завоевывает все большую долю рынка строительных материалов. Расширяется и область его применения. Использование в строительстве композитных профилей дает возможность архитекторам и инженерам реализовывать самые сложные проекты, используя материал с необходимыми физическими свойствами, способный воплотить практически любую форму.

Профили композитных материалов обладают рядом существенных преимуществ:

- малый удельный вес изделия при его высокой прочности;
- устойчивость к коррозии [1,2].

Благодаря своим особенностям, разнообразию в ассортименте, формах профиля из композитных материалов получили широкое применение практически во всех сферах начиная от строительства