

кам балок уложены профилированные листы. Снизу к профлисту посредством тяг подвеса крепится каркас подвесного потолка. Каркас снизу обшит листом влагостойкого гипсокартона толщиной 12,5 мм. Образованное внутреннее пространство перекрытия заполнено пенобетоном плотностью 300 кг/м<sup>2</sup>. Сверху профилированного листа выполнен выравнивающий слой из пенобетона.

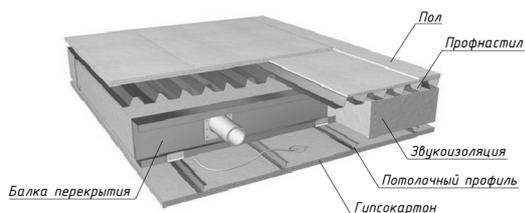


Рисунок 6 – Конструкция перекрытия

Расчеты каркаса представленного решения показали значительное снижение расхода стали по сравнению с классическими каркасными системами. Расход составляет около 20 кг металла на 1 кв. м общей площа-

ди дома, что в 2,7 раз меньше применяемых ранее.

Однако столь существенная экономия металла является не единственным преимуществом данной системы.

Наружные стены, выполненные из легких материалов, являются самонесущими. Их конфигурация, размеры дверных и оконных проемов не ограничиваются необходимостью обеспечить их высокую прочность для восприятия нагрузок. Это дает большую свободу фантазии при проектировании фасадов и разработки и архитектурно-художественного образа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев Л.Г., Касилов А.В. «Вантовые покрытия». Расчет и конструирование. Киев, 1974. 272с.
2. Беленя Е.И «Металлические конструкции». – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1998. – 760 с.:ил.
3. Ружинский С. И др. // Все о пенобетоне. – 2-е изд., улучшенное и дополн. – Спб, ООО «Стройбетон», 2006 - 630с.

УДК 699.86.004.18

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Е.В. Хатина

*Исследована зависимость термического сопротивления слоя теплоизоляции одинаковой толщины при различной мощности источника и различной скорости обдува. Полученные результаты подтверждают эффект динамической теплоизоляции.*

*Ключевые слова: динамическая теплоизоляция, термическое сопротивление.*

Все утепляющие материалы хороши сами по себе там, где нет массопереноса или где средне зимняя наружная температура не переходит через ноль градуса Цельсия.

Поскольку в Алтайском крае средне зимняя температура минус 18°С, то точка росы всегда попадает на слой утеплителя или на границу между утеплителем и несущей стеной.

Поэтому, с одной стороны, утеплитель разрушается из-за образующегося слоя льда на элементах утепляющего материала и сил морозного пучения, с другой стороны, наличие влажного слоя на границе между утеплителем и несущей стеной, а также в толще утеплителя не позволяет за летний период высушить эту зону в существующих конструк-

циях утепляющих слоёв, что с годами ведёт к возрастанию скорости разрушения утеплителей и стены (их деструкции).

Опыт эксплуатации наружных стеновых панелей в панельных зданиях подтверждает этот факт.

Поэтому возникает необходимость разработки конструкций и технологии устройства утепляющего слоя, лишённого этих недостатков.

Один из путей решения: для эффективного утепления существующего жилищного фонда необходим материал, обладающий высокой паропроницаемостью, долговечностью и ремонтпригодностью.

Таким материалом может являться засыпной утеплитель из гранул вспененного

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

пенополистирола, обеспечивающий эффект динамической теплоизоляции[3] и имеющий возможность самостоятельно вентилироваться круглый год.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для исследования эффекта динамической теплоизоляции были решены следующие задачи:

1. Определение излучения средней теплоотдачи нагревателя при свободном движении воздуха[1,2].

Цель: изучение механизма процесса теплообмена при свободной конвекции; определение коэффициента теплоотдачи опытным методом; исследование закономерности изменения коэффициента теплоотдачи утеплителя в свободном потоке воздуха от температурного напора; использование метода исключения лучистой составляющей теплового потока; определение зависимости коэффициента теплоотдачи от продольной координаты и скорости движения воздуха.

Полная плотностеплового потока находится из соотношения

$$q = \frac{Q}{F}, \frac{Bm}{M^2} \quad (1)$$

где  $Q$  - мощность нагревателя, Вт;  $F$  - площадь поверхности нагревателя, м<sup>2</sup>.

Средняя температура поверхности нагревателя определяется по данным измерений

$$t_c = \Delta t_c + t_{ж}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

где  $\Delta t_c = \sum_{i=1}^{i=6} \frac{\Delta t_i}{6}$  - среднее значение избыточной температуры между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_i$  - значение избыточной температуры в отдельных точках между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{ж}$  - температура воздуха в воздушном зазоре,  $^\circ\text{C}$ .

Определяется средняя абсолютная температура поверхности нагревателя

$$T_c = t_c + 273, K \quad (3)$$

где  $t_c$  - средняя температура поверхности нагревателя,  $^\circ\text{C}$ .

Определяются средняя абсолютная температура окружающих тел (на границе излучения)

$$T_{окр} = t_{окр} + 273, K \quad (4)$$

где  $t_{окр}$  - средняя температура окружающих тел (на границе излучения),  $^\circ\text{C}$ .

Плотность теплового потока, обусловленную тепловым излучением поверхности нагревателя, находится расчетным путем с помощью зависимости

$$q_u = c_{np} \cdot \left( \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{окр}}{100} \right)^4 \right), \frac{Bm}{M^2} \quad (5)$$

где  $T_c$  - абсолютная температура поверхности нагревателя, К;  $T_{окр}$  - абсолютная температура окружающих тел (на границе излучения), К;  $c_{np}$  - приведенная излучательная способность, Вт/(м<sup>2</sup> К<sup>4</sup>).

Конвективная составляющая плотности теплового потока выражается разностью полной плотности теплового потока и плотности потока излучения  $q_k = q - q_u, \frac{Bm}{M^2}$

где  $q$  - плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_u$  - плотность теплового потока, обусловленная тепловым излучением, Вт/м<sup>2</sup>.

Средний коэффициент конвективной теплоотдачи от поверхности нагревателя к воздуху рассчитывается по уравнению

$$\alpha = \frac{q_k}{\Delta t_c}, \frac{Bm}{^\circ\text{C} \cdot M^2} \quad (6)$$

где  $q_k$  - конвективная составляющая плотности теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $\Delta t_c$  - среднее значение избыточной температуры между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре,  $^\circ\text{C}$ .

Полученные результаты обработки данных представляются в виде графика зависимости коэффициента теплоотдачи от температурного напора  $\alpha = f(\Delta t)$ , а также в безразмерном виде в форме зависимостей  $Nu = f(Gr \cdot Pr)$ ,  $Nu = f(Re)$ .

Для получения данных зависимостей методом интерполяции находятся следующие коэффициенты:  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $Pr$ , взятые по значению температуры воздуха в воздушном зазоре. Для каждого сечения по высоте установки ( $x = 0,18$  (0,56; 0,94) м.) выделяются:

- среднее значение избыточной температуры в сечении

$$\Delta t_c = \sum_{i=1}^{i=2} \frac{\Delta t_i}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

где  $\Delta t_i$  - значение избыточной температуры слева - справа от нагревателя между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре, °С.

- средний коэффициент конвективной теплоотдачи от поверхности нагревателя к воздуху в сечении

$$\alpha = \frac{q_k}{\Delta t_c}, \frac{Вт}{^{\circ}С \cdot м^2} \quad (8)$$

где  $q_k$  - конвективная составляющая плотности теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $\Delta t_c$  - среднее значение избыточной температуры в сечении, °С.

- число Нуссельта

$$Nu = \frac{\alpha_x \cdot x}{\lambda_{ж}},$$

где  $\alpha_x$  - средний коэффициент конвективной теплоотдачи от поверхности нагревателя к воздуху в сечении, Вт/(°С м<sup>2</sup>);  $x$  - координата термопары, м;  $\lambda_{ж}$  - теплопроводность воздуха, взятая по температуре воздуха в воздушном зазоре, Вт/(°С м).

- коэффициент Прандтля - Грасгофа

$$Pr \cdot Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot x^3}{\nu^2} \cdot Pr,$$

где  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\beta = \frac{1}{t_{окр}}$  - коэффициент объемного расширения, 1/°С;  $t_{окр}$  - средняя температура окружающих тел (на границе излучения), °С;  $\Delta t$  - среднее значение избыточной температуры в сечении между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре, °С;  $x$  - координата термопары, м;  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $Pr$  - критерий Прандтля, взятый по температуре воздуха в воздушном зазоре.

- число Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega_o \cdot x}{\nu_{ж}},$$

## 2. Определение границы излучения

Цель: определить долю каждой составляющей теплового потока на свойства утеплителя [1,2].

Граница излучения определяется в следующей последовательности:

Определяется коэффициент теплопроводности материала утеплителя

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{(t1 - t2) \cdot F}, \frac{Вт \cdot м}{^{\circ}С \cdot м} \quad (9)$$

где  $Q$  - мощность нагревателя, Вт;  $\delta$  - толщина утеплителя, м;  $t1$  - температура на поверхности нагревателя, °С;  $t2$  - температура на поверхности утеплителя, °С;  $F$  - площадь поверхности нагревателя, м<sup>2</sup>.

Вычисляется сопротивление теплопередаче

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \frac{^{\circ}С \cdot м^2}{Вт} \quad (10)$$

где  $\delta$  - толщина утеплителя, м;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/(°С м).

Рассчитывается приведенный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{np} = \frac{1}{R}, \frac{Вт}{^{\circ}С \cdot м^2} \quad (11)$$

где  $R$  - сопротивление теплопередаче, (°С м<sup>2</sup>)/Вт.

Вычисляется плотность теплового потока

$$q = \frac{Q}{F}, \frac{Вт}{м^2} \quad (12)$$

где  $Q$  - мощность нагревателя, Вт;  $F$  - площадь поверхности нагревателя, м<sup>2</sup>.

Определяется значение избыточной температуры между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре

$$\Delta t_c = t_c - t_{ж}, ^{\circ}С \quad (13)$$

где  $t_c$  - температура на поверхности нагревателя, °С;  $t_{ж}$  - температура воздуха в воздушном зазоре, °С.

Рассчитывается конвективная составляющая теплового потока

$$q_k = \alpha_{np} \cdot \Delta t_c, \frac{Вт}{м^2} \quad (14)$$

где  $\alpha_{np}$  - приведенный коэффициент теплоотдачи, Вт/(°С м<sup>2</sup>);  $\Delta t_c$  - значение избыточной температуры между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре, °С.

# ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

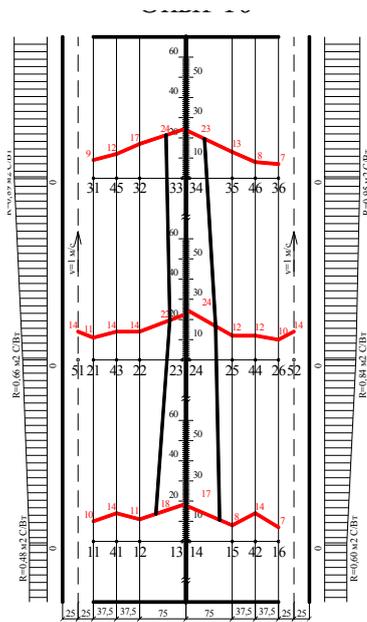


Рисунок 1 – Граница излучения для пенополистирола крупной фракции (опыт №10,  $P=33 \text{ Вт/м}^2$ ,  $V=1 \text{ м/с}$ )

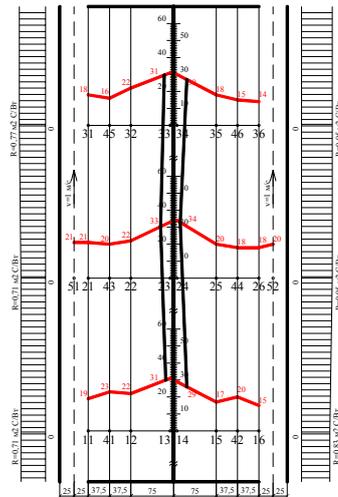


Рисунок 2 – Граница излучения для пенополистирола мелкой фракции (опыт №23,  $P=33 \text{ Вт/м}^2$ ,  $V=1 \text{ м/с}$ )

Рассчитывается плотность теплового потока, обусловленная тепловым излучением

$$q_u = q - q_k, \frac{Bm}{M^2} \quad (15)$$

где  $q$  - плотность теплового потока,  $\text{Вт/м}^2$ ;  $q_k$  - конвективная составляющая теплового потока,  $\text{Вт/м}^2$ .

Определяется абсолютная температура на границе излучения (окружающих тел)

$$T_{окр} = 100 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{T_c}{100}\right)^4 - \frac{q_u}{c_{пр}}}, K \quad (16)$$

где  $T_c = t_c + 273$  - абсолютная температура нагревателя, К;  $t_c$  - температура на нагревателе,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $q_u$  - плотность теплового потока, обусловленная тепловым излучением,  $\text{Вт/м}^2$ ;  $c_{пр}$  - приведенная излучательная способность,  $\text{Вт/(м}^2 \text{К}^4)$ .

Вычисляется температура на границе излучения

$$t_{окр} = T_{окр} - 273, ^{\circ}\text{C} \quad (17)$$

где  $T_{окр}$  - абсолютная температура на границе излучения (окружающих тел), К.

Определяется расстояние от нагревателя до границы излучения по графику распределения температур по высоте и по сечению (в мм.).

### 3. Изложение результатов исследований

На основании методик, изложенных выше, строятся графики зависимости коэффициента теплоотдачи от числа Прандтля – Грасгофа, числа Рейнольдса и температурного напора, а также графики, показывающие границу излучения для каждого материала.

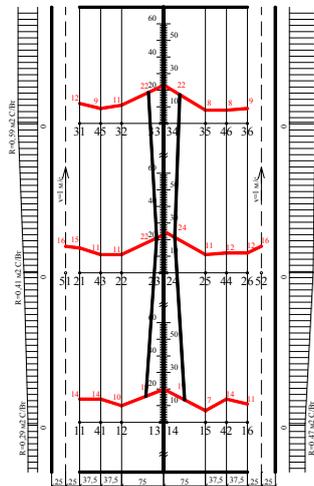


Рисунок 3 – Граница излучения для минеральной ваты (опыт №36,  $P=33 \text{ Вт/м}^2$ ,  $V=1 \text{ м/с}$ )

## ВЫВОДЫ

1. Термическое сопротивление слоя теплоизоляции одинаковой толщины при одинаковой мощности источника зависит от увеличения скорости обдува следующим образом: с увеличением скорости обдува термическое сопротивление уменьшается. Терми-

ческое сопротивление при любой скорости обдува в зависимости от материала утепления уменьшается в следующей последовательности:

- Пенополистирол мелкой фракции;
- Минеральная вата;
- Пенополистирол крупной фракции.

2. Термическое сопротивление слоя теплоизоляции одинаковой толщины при одинаковой скорости обдува зависит от увеличения мощности источника следующим образом: с увеличением мощности источника термическое сопротивление увеличивается. Термическое сопротивление при любой мощности источника в зависимости от материала утепления уменьшается в следующей последовательности:

- Пенополистирол мелкой фракции;
- Минеральная вата;
- Пенополистирол крупной фракции.

3. Доля излучения в пенополистироле крупной фракции находится в диапазоне 33 – 48%, конвекции – 51 – 66%;

Доля излучения в пенополистироле мелкой фракции находится в диапазоне 9 – 17%, конвекции – 82 – 90%;

Доля излучения в минеральной вате находится в диапазоне 24 – 33%, конвекции – 75 – 66%.

Во всех материалах утепления доля теплопроводности составляет менее 1%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 1982. — 415 с.
2. Воскресенский К.Д. Сборник расчётов и задач по теплопередаче. — М.: Госэнергоиздат, 1959. — 355 с.
3. Строительство и архитектура. Сер 10. Инженерно-теоретические основы строительства. Экспресс-информация. 1986, вып. 4, 20 с.

УДК 624.131.23

## ОБСЛЕДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «БИЙСК - КАРАБИНКА - ГРАНИЦА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ» С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Б.М. Черепанов, Т.С. Бодосова

*В работе представлены результаты детального обследования проблемных участков автомобильной дороги регионального значения «Бийск – Карабинка – граница Республики Алтай». Разработаны рекомендации по ликвидации повреждений земляного полотна и дорожной одежды.*

*Ключевые слова: автомобильные дороги, морозное пучение грунтов, износ дорожных одежд, увлажнение земляного полотна, физико-механические свойства грунта.*

#### ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации, с момента постройки, дорожные одежды автомобильных дорог получают значительные повреждения. Устранение последствий повреждений методом ежегодного ямочного ремонта, проводимого на дороге в весенне-летний периоды, не устраняет дальнейшего разрушения, а лишь позволяет обеспечивать проезд автомобильного транспорта. Многочисленные существующие мероприятия не всегда являются эффективными и экономически выгодными для конкретной дороги из-за инженерно-

геологических и климатологических особенностей региона.

#### ОБЪЕКТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зима 2009-2010 годов оказалась очень суровой для Алтайского края. Весна затяжной. По мере оттаивания нижних слоев дорожных сооружений, возникали большие разрушения, вызвавшие аварийную ситуацию на дорогах. Для исследования выбрана одна из наиболее деформированных весной 2010 года на территории Алтайского края - автомобильная дорога «Бийск - Карабинка - граница Республики Алтай» (рисунок 1).