

УДК 697.137:752.41

к.т.н., доцент Л.В. Гапонова,
Харьковская национальная академия городского хозяйства

РАСЧЕТ НА ВОЗМОЖНУЮ КОНДЕНСАЦИЮ ВОДЯНЫХ ПАРОВ СОВРЕМЕННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассматривается расчет на возможную конденсацию водяных паров современных ограждающих конструкций. Проведен анализ ограждающих конструкций с различными схемами для выбора варианта с максимальным теплозащитными свойствами.

В настоящее время широкое распространение получили сталебетонные плиты покрытий и перекрытий промышленных и гражданских зданий. Этому способствуют возможность использования внешней арматуры в качестве опалубки при монолитном способе возведения сооружений; совмещение функций рабочей арматуры с защитным ограждением; монтажа стыков элементов без дополнительных закладных деталей и выступающих частей; упрощения крепления различных коммуникаций и оборудования; понижения высоты элементов за счет отсутствия защитного слоя и компактного расположения арматуры.

В работах [1, 2, 3] авторы отмечают, что сталь и бетон в сталежелезобетонных элементах работают совместно на всех этапах нагружения. Отмеченные конструкции имеют преимущество по сравнению с традиционными железобетонными. Это: простота в технологии изготовления; эффективное использование прочностных свойств. Однако тепловлажностные свойства сталебетонных конструкций исследованы недостаточно. Особенно с применением легких теплогидроизоляционных материалов.

Рекомендуемые в настоящее время в строительных нормах теплотехнические методы расчета ограждающих конструкций основаны на стационарных методах. Эти методы не в полной мере обосновывают влияние кратковременных климатических и других воздействий на изменение тепловлажностного состояния наружных ограждающих конструкций. Как следствие, при проектировании зданий и сооружений многие вопросы решаются на эмпирическом уровне. Все сказанное обуславливает актуальность исследований в этой области.

Цель и задачи исследований. Целью работы является сравнение ограждающих конструкций с различными схемами для выбора варианта покрытия с лучшими теплозащитными свойствами.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Выполнен сравнительный анализ процесса теплопередачи различных ограждающих конструкций.

2. Определено изменение термического сопротивления ограждающих конструкций под действием внешних климатических факторов.

В настоящее время в качестве конструкций перекрытия наиболее распространены плиты с пустотами круглой формы с осью, ориентированной вдоль перекрываемого пролёта. Особенностью этих элементов является то, что теплообмен в них осуществляется как при помощи теплопроводности, так и при помощи конвекции. Учёт конвективной составляющей является весьма сложной и трудоёмкой задачей, поэтому предложено рассматривать конвективный теплообмен в замкнутом пространстве пустот строительных конструкций как элементарное явление теплопроводности, вводя при этом понятие эквивалентной теплопроводности.

Расчет паропроницаемости современных ограждающих конструкций, описанных в каталоге «ROCKWOOL» [4] выполнен графоаналитическим методом, разработанным О.Е. Власовым и К.Ф. Фокиным [5, 6, 7]. В результате расчета построена линия распределения температур внутри конструкций и линии действительных парциальных давлений водяного пара.

Определение температур на границах слоев ограждения выполнялось согласно формуле:

$$t_x = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_o} (R_g + \sum R_x) . \quad (1)$$

где t_g - температура внутреннего воздуха помещения, °С;

t_n - температура наружного воздуха, °С;

R_o - термическое сопротивление ограждения, м²С/Вт;

R_g - термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности ограждения, м²С/Вт;

$\sum R_x$ - сумма термических сопротивлений слоев от внутренней поверхности конструкции до рассматриваемого сечения, м²С/Вт;

А вычисление значений действительных парциальных давлений водяного пара на границах слоев выполнялось с привлечением следующей зависимости,

$$e_x = e_g - \frac{e_g - e_n}{R_n} R_{n.x} . \quad (2)$$

где e_x - парциальное давление водяного пара в сечении, Па;

e_g - парциальное давление водяного пара внутри помещения;

$$e_g = \frac{\varphi \cdot E_g}{100} \quad (3);$$

где φ - относительная влажность внутреннего воздуха, принимаемая согласно режиму эксплуатации, %;

E_e - насыщающее парциальное давление водяного пара при температуре воздуха внутри помещения t_b , Па;

e_n - парциальное давление в наружном воздухе для рассматриваемого периода, Па;

R_n - общее сопротивление паропроницанию, равное сумме термических сопротивлений.

При расчете ограждающих конструкций принималась: температура наружного воздуха (зимняя $t_n=-22^\circ\text{C}$,) относительная влажность 90 %; температура воздуха (летняя $t_n=+31^\circ\text{C}$), относительная влажность 60 %; среднегодовая температура $t_n=+6,7^\circ\text{C}$, относительная влажность 90 % для наружных ограждающих конструкций и среднегодовая температура $t_n=+5^\circ\text{C}$ и относительная влажность 90 % для чердачного перекрытия. Температура внутреннего воздуха для наружных ограждающих конструкций и для чердачного перекрытия принималась $t_b=+18^\circ\text{C}$, относительная влажность 70 %.

В таблице 1 приведены типы ограждающих конструкций, температурно-влажностный режим которых изучался.

Произведен тепло-влажностный расчет плиты покрытия (табл.2), плоской кровли. Толщина слоя утеплителя MONROCK = 0,18м., коэффициент теплопроводности $\lambda_{ут} = 0,039$ Вт/(м К). Термическое сопротивление данной ограждающей конструкции $R = 4,83$ (м² К)/Вт. Распределение температур и график влажностного режима представлены на рис. 1, 2.

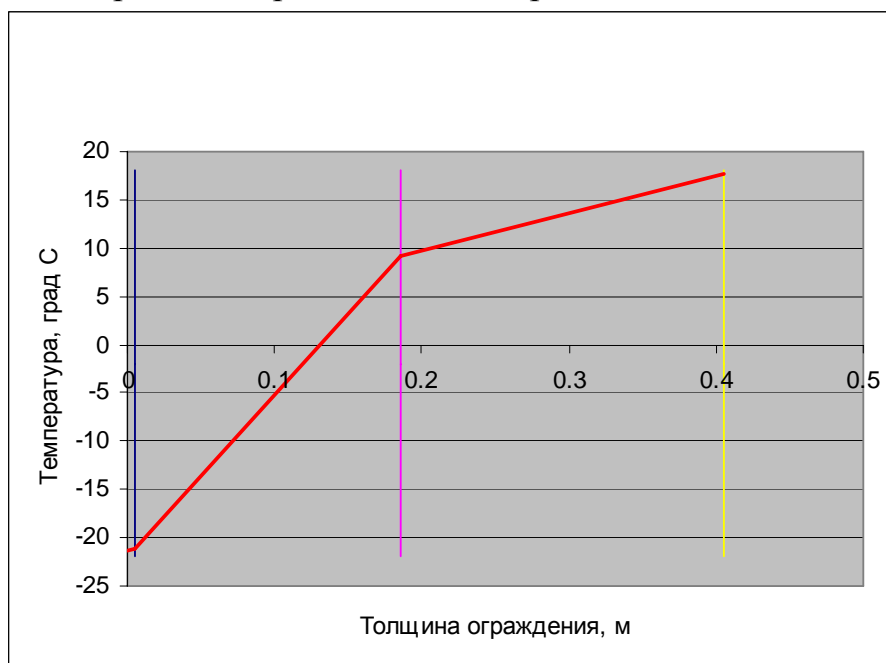

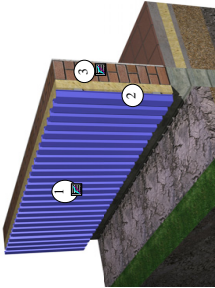
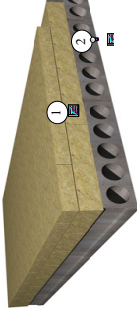
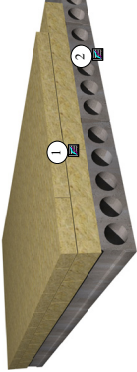


Рис. 1. Распределение температур внутри плоской кровли.

Таблица 1 – Данные для расчета ограждающих конструкций

Данные для расчета ограждающих конструкций		Температура внутреннего воздуха $t_b = +18^\circ\text{C}$ Относительная влажность 70 %.		
Температура наружного воздуха: зимняя $t_n = -22^\circ\text{C}$. Относительная влажность 90 %.	Плоская кровля Утеплитель MONROCK $R = 4,83 (\text{m}^2 \text{K})/\text{Вт}$	Наружная ограждающая конструкция Толщина предложенной конструкции $\delta = 0,402 \text{ м}$. Утеплитель PANELROCK $R = 3,94$ $(\text{m}^2 \text{K})/\text{Вт}$.	Чердачная плита перекрытия Толщина предложенной конструкции $\delta = 0,47 \text{ м}$. Утеплитель SUPERROCK $R = 6,6 (\text{m}^2 \text{K})/\text{Вт}$	Предложенная многопустотная сталебетонная плита – стальной лист толщиной 0,002 м, многопустотная пенобетонная плита толщиной 0,22 м, $\lambda_{\text{ут}} =$ 0,11 Вт/(м К), утеплитель SUPERROCK толщиной 0,22 м, $\lambda_{\text{ут}} =$ 0,035 Вт/(м К), гидроизоляционный материал толщиной 0,015 м., $\lambda_{\text{ут}} = 0,17$ Вт/(м К). Толщина предложенной конструкции $\delta = 0,47 \text{ м}$. $R = 8,49 (\text{m}^2 \text{K})/\text{Вт}$
Температура наружного воздуха: летняя $t_n = +31^\circ\text{C}$. Относительная влажность 60 %.				
Температура наружного воздуха: среднегодовая температура $t_n = +6,7^\circ\text{C}$. Относительная влажность 90 %.				

Таблица 2 – Типы ограждающих конструкций

<p>Плоская кровля</p> 	<p>Наружная ограждающая конструкция</p> 	<p>Чердачная плита перекрытия</p> 	<p>Предложенная многопустотная сталебетонная плита</p> 
<p>1 – подкладочный рубероид, 2–утеплитель MONROCK 3–железобетонное монолитное перекрытие</p>	<p>1 – профилированный лист; 2 - утеплитель PANELROCK; 3 – кирпич полнотелый.</p>	<p>1-утеплитель SUPERROCK; 2 – железобетонное перекрытие.</p>	<p>1-утеплитель SUPERROCK; 2– сталебетонная пустотная плита перекрытия.</p>

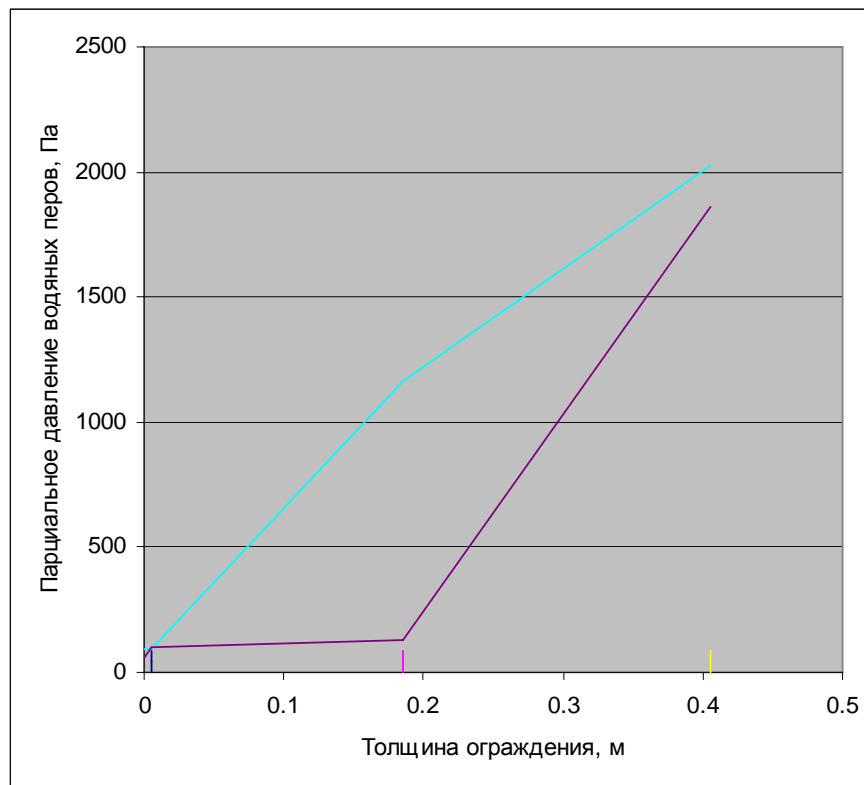


Рис. 2. График влажностного режима плоской кровли при зимней температуре наружного воздуха.

Выполнив теплотехнический расчет наружной ограждающей конструкции, состоящей из полнотелого кирпича толщиной 0,25 м., $\lambda = 0,61$ Вт/(м К) с облицовкой металлическим профилированным листом с толщиной слоя утеплителя PANELROCK- 0,12 м, $\lambda_{ут} = 0,036$ Вт/(м К), можно сделать вывод о том, что зона конденсации в рассмотренной конструкции отсутствует при зимней температуре наружного воздуха $t_n = -22^\circ\text{C}$, и температуре внутреннего воздуха $t_v = +18^\circ\text{C}$, относительной влажности 70 % (рис.3, 4).

Распределение температур чердачной плиты перекрытия, состоящей из многослойной плиты, утеплителя SUPERROCK толщиной 0,22 м, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,035$ Вт/(м К), показан на рис. 5, 6.

При положительных температурах наружного воздуха в рассмотренных ограждающих конструкциях зона конденсации не наблюдается.

В качестве альтернативы рассмотрена сталебетонная плита перекрытия, предложенная автором. Плита сочетает в себе функции несущей и теплоизолирующей конструкции.

Плита включает многослойную пенобетонную плиту, армированную стальной мембраной, расположенной в нижнем поясе плиты. Толщина слоя сталебетонной плиты выбрана из условия достижения нормативного

значения термического сопротивления перекрытия 0,22 м и утеплителя SUPERROCK толщиной 0,22 м: Термическое сопротивление сталебетонной плиты с использованием утеплителя ROCKWOLL составляет $R = 8,49$ ($\text{м}^2 \text{К}$)/Вт.

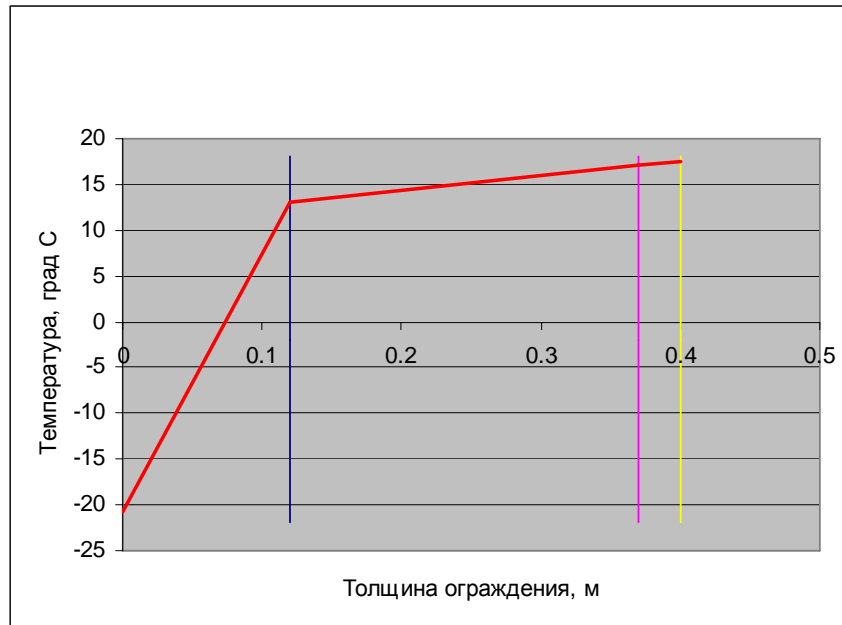


Рис.3. Распределение температур наружной ограждающей конструкции, состоящей из полнотелого кирпича с облицовкой металлическим профилированным листом с утеплителем PANELROCK.

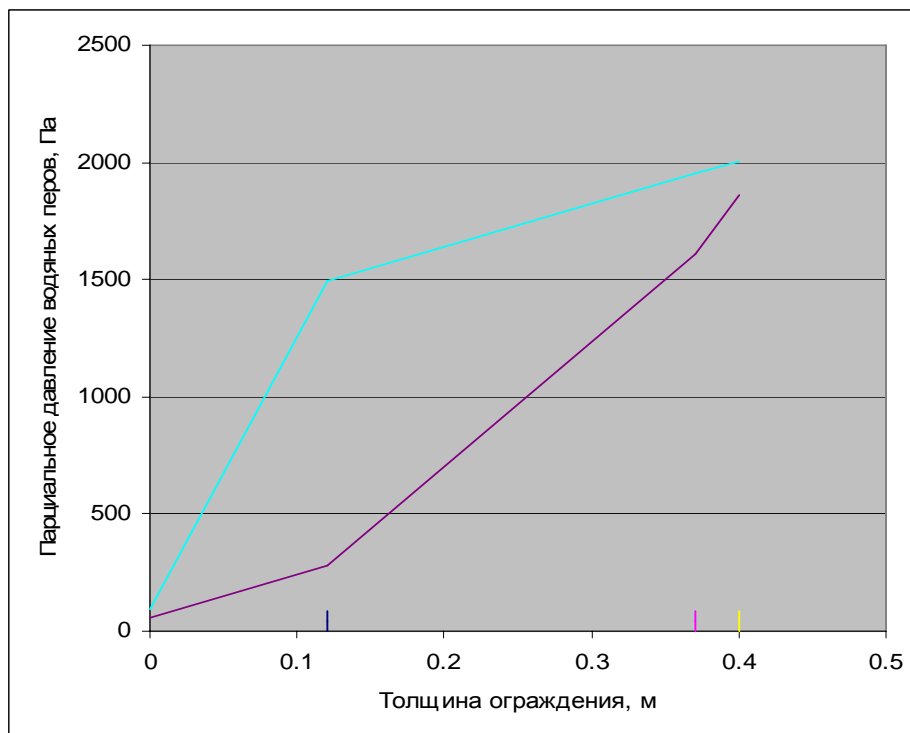


Рис. 4. График температурно-влажностного режима ограждающей конструкции, состоящей из полнотелого кирпича с облицовкой металлическим профилированным листом с утеплителем PANELROCK при зимней температуре наружного воздуха.

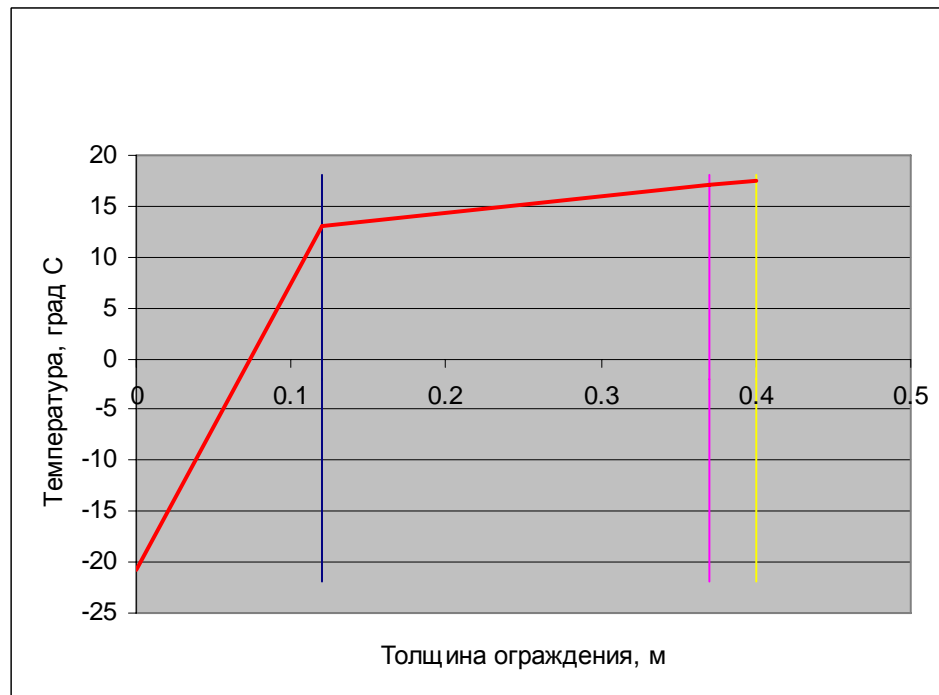


Рис.5. Распределение температур чердачной плиты перекрытия состоящей из многпустотной плиты и утеплителя SUPERROCK.

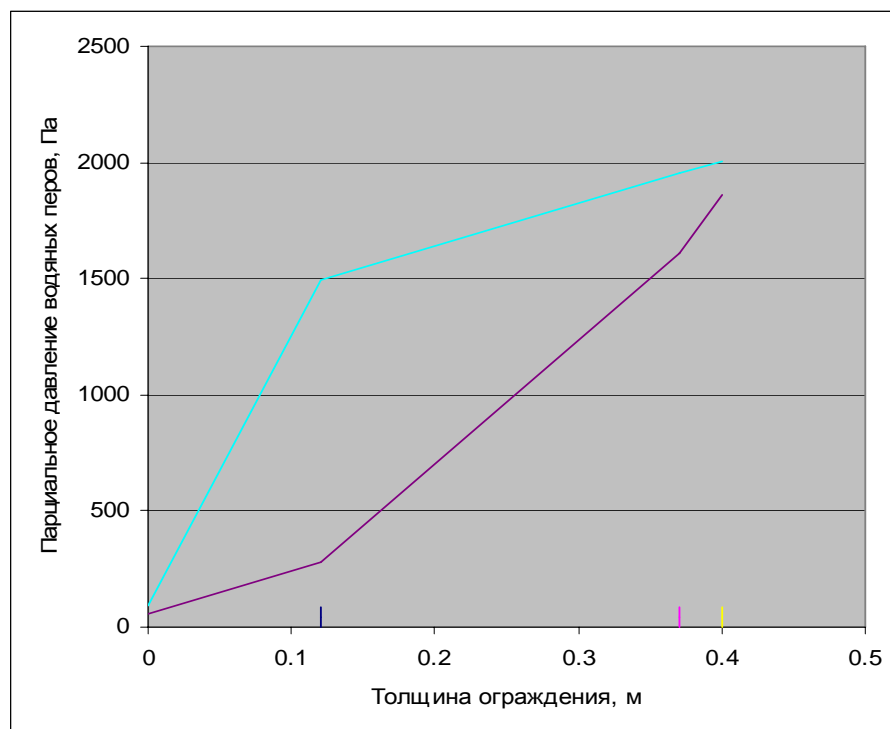


Рис. 6. График температурно-влажностного режима ограждающей конструкции, чердачной плиты перекрытия состоящей из многпустотной плиты и утеплителя SUPERROCK при зимней температуре наружного воздуха.

График распределения температур (рис.7) и график температурно-влажностного режима многпустотной сталебетонной плиты и утеплителя SUPERROCK (рис.8) показывают, что в зоне отрицательных температур конденсация отсутствует.

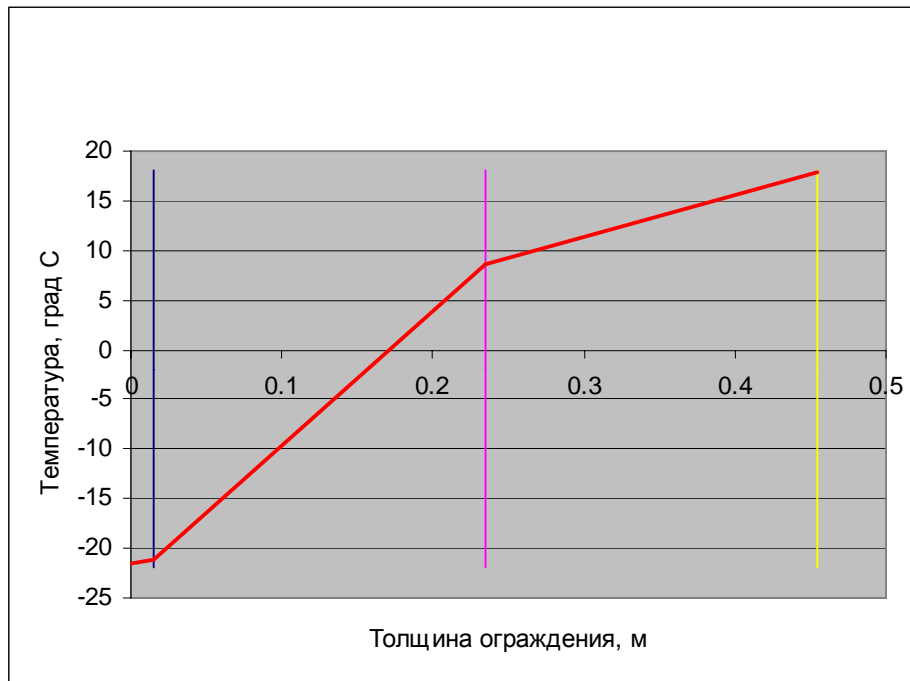


Рис. 7. Распределение температур многпустотной сталебетонной плиты и утеплителя SUPERROCK толщиной 0,22 м.

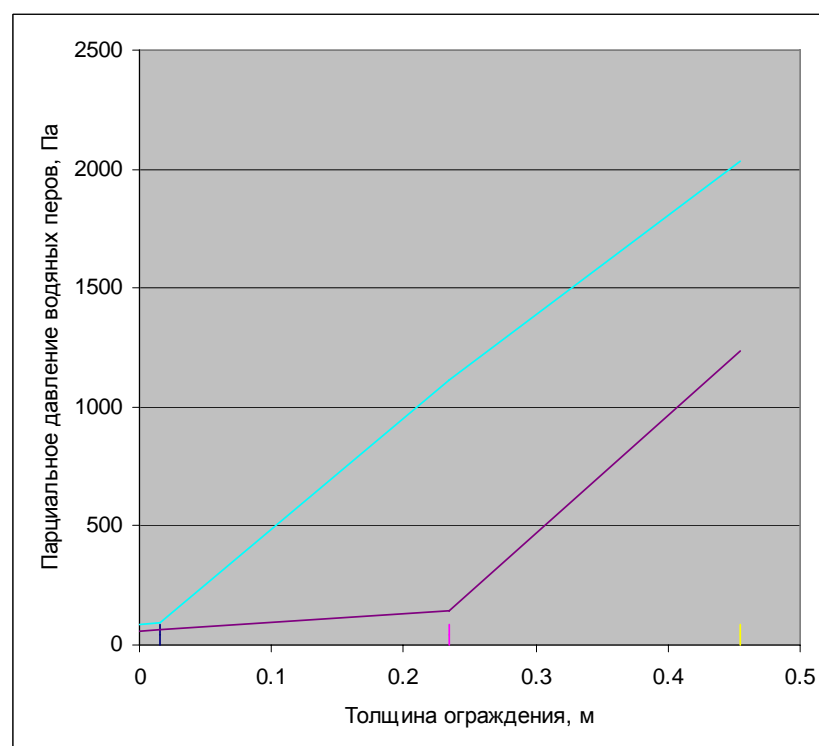


Рис. 8. График температурно-влажностного режима многпустотной сталебетонной плиты и утеплителя SUPERROCK толщиной 0,22 м.

Выводы:

Проведен расчет тепло-влажностного режима ограждающих конструкций, предложенных в каталоге «ROCKWOOL»:

1. Расчет плиты покрытия показал, что при температуре наружного воздуха $t_n = -22^\circ\text{C}$ и относительной влажности 90 %; температуре внутреннего воздуха $t_b = +18^\circ\text{C}$ и относительной влажности 70 % температуры по толщине плиты распределены равномерно, область отрицательных температур расположена в слое утеплителя и занимает примерно две трети его толщины при этом в плите покрытия отсутствует точка росы.

2. Расчет наружной ограждающей конструкции, состоящей из полнотелого кирпича с облицовкой металлическим профилированным листом показал, что при температуре наружного воздуха $t_n = -22^\circ\text{C}$, относительной влажности 90 % и температуре внутреннего воздуха $t_b = +18^\circ\text{C}$, относительной влажности 70 % в зоне отрицательных температур находится 0,07 м, при этом зона конденсации в рассмотренной конструкции отсутствует.

3. Тепловлажностный расчет чердачной плиты перекрытия толщиной $\delta = 0,47$ м. и термическим сопротивлением $R = 6,6$ ($\text{m}^2 \text{K}$)/Вт состоящей из многопустотной плиты и утеплителя SUPERROCK (температура над плитой $t_{\text{чep}} = 5^\circ\text{C}$; температура внутреннего воздуха $t_b = +18^\circ\text{C}$, относительная влажность 70 %) показал, что при положительных температурах наружного воздуха зона конденсации не наблюдается.

4. Анализ распределения температур в многопустотной сталебетонной плите при температуре наружного воздуха $t_n = -22^\circ\text{C}$ (расчётная отопительная температура для северо-востока Украины), температуре внутреннего воздуха $t_b = +18^\circ\text{C}$ и относительной влажности 70% показал, что утеплитель находится в зоне действия отрицательных температур, при этом зона конденсации в предложенной конструкции отсутствует.

5. Проведенный анализ свидетельствует, что сталебетонные ограждающие конструкции, используемые в комплексе с теплоизоляционными материалами «ROCKWOOL» позволяют создавать ограждающие конструкции, сочетающие в себе функции несущей и теплоизолирующей конструкции и обладающие высокими эксплуатационными характеристиками в широком диапазоне изменения тепловлажностных параметров.

Литература

1. Патент 2140500 Российская федерация. Е 04 В 5/40. Сталебетонное перекрытие. / Чихладзе Э.Д., Колчунов В.И., Статинова Е.В. – № 07109091; заявл.28.05.97; опубл. 27.10 1999 Бюл.№ 30.

2. АС СССР №1647101, Е 04 В 5/40. Перекрытие. / Чихладзе Э.Д. и др. – № 445739/33; заявл. 08.07.88; опубл. 07.05.1991. Бюл. № 17.
3. Стороженко Л.І., Сталезалізобетонні часторебристі покриття: Монографія. – Полтава: «АСМІ», 2008. – 164с.
4. Каталог технических решений ограждающих конструкций с утеплением из минераловатных плит «ROCKWOOL». - 2001. – 59с.
5. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
6. Гапонова Л.В. Компьютерные исследования теплофизических свойств сталебетонных плит. // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ» (за напрямом «Інженерна механіка»). Вип.25, частина I. – Луцьк: ЛНТУ- С.83-88.
7. Гапонова Л.В. Исследование температурно-влажностных характеристик сталебетонных ограждающих конструкций промышленных холодильников // ЗНП «Науковий вісник будівництва». - Харків: ХДТУБА, 2010. - С. 217-222.

Анотація

Розрахунок на можливу конденсацію водяної пари сучасних огорожуючих конструкцій. Проведений аналіз огорожувальних конструкцій з різними схемами для вибору варіанту з максимальними теплозахисними властивостями.

Annotation

Calculation on possible devaporation aguatic modern barriering construction. Analysis of filler structures with different design las been conducted to choose the one with the maximum heat-proofing properties.