

УДК 692.231.3

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТРИШАРОВИХ НАВІСНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІНОВИХ ПАНЕЛЕЙ

СОПІЛЬНЯК А. М.<sup>1\*</sup>, асис.

<sup>1\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: artem\_sopilnyak@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

**Анотація. Постановка проблеми.** У практиці будівництва використовуються різні види тришарових огорожувальних залізобетонних стінових панелей. В якості середнього шару таких панелей застосовують теплоізоляційні матеріали (мінераловатні, полімерні, легкі бетони), що володіють високими теплофізичними властивостями. Для основних типів огорожувальних конструкцій масового застосування при будівництві будівель різного призначення були виконані розрахунки на теплопровідність за допомогою програмного комплексу «Elcut 5». **Мета.** Удосконалення конструкцій тришарових залізобетонних стінових панелей масового застосування за результатами проведення аналізу розрахунків приведенного опору теплопередачі. **Висновок.** Опір теплопередачі для панелі з гнучкими в'язями і панелі з монолітною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону в 1,35...2,1 рази вище, ніж у решти варіантів конструкцій. Мінімальному значенню опору теплопередачі для першої температурної зони задовольняють панелі з гнучкими в'язями і середнім шаром з пінополістиролу (450...500 мм), екструдованого пінополістиролу (450...500 мм), і мінераловати (500 мм). А також панелі з монолітною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону (450...500 мм). Для другої температурної зони мінімальне значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель забезпечують панелі з гнучкими в'язями і середнім шаром з пінополістиролу (400...500 мм), екструдованого пінополістиролу (400...500 мм), мінераловати (450...500 мм), і панелі з монолітною в'язю між шарами і середнім шаром з полістиролбетону (400...500 мм).

*Ключові слова:* тришарова залізобетонна стінова панель, розрахунок, опір теплопередачі, ПК «Elcut 5».

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ТРЁХСЛОЙНЫХ НАВЕСНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

СОПІЛЬНЯК А. М.<sup>1\*</sup>, асс.,

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: artem\_sopilnyak@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

**Аннотация. Постановка проблемы.** В практике строительства используются различные виды трехслойных железобетонных ограждающих стеновых панелей. В качестве среднего слоя таких панелей применяют теплоизоляционные материалы (минераловатные, полимерные, легкие бетоны), обладающие высокими теплофизическими свойствами. Для основных типов ограждающих конструкций массового применения при строительстве зданий различного назначения были выполнены расчёты на теплопроводность с помощью программного комплекса «Elcut 5». **Цель.** Усовершенствование конструкций трехслойных железобетонных стеновых панелей массового применения по результатам проведения анализа расчетов приведенного сопротивления теплопередачи. **Вывод.** Сопротивление теплопередачи для панели с гибкими связями и панелей с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона в 1,35...2,1 раза выше, чем у остальных вариантов конструкций. Минимальному значению сопротивления теплопередачи для первой температурной зоны удовлетворяют панели с гибкими связями и средним слоем из пенополистирола (450...500 мм), экструдированного пенополистирола (450...500 мм), и минераловаты (500 мм). А также панели с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона (450...500 мм). Для второй температурной зоны минимальное значение сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции жилых и общественных зданий обеспечивают панели с гибкими связями и средним слоем из пенополистирола (400...500 мм), экструдированного пенополистирола (400...500 мм), минераловаты (450...500 мм), и панели с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона (400...500 мм).

*Ключевые слова:* трехслойная железобетонная стеновая панель, расчет, сопротивление теплопередачи, ПК «Elcut 5».

# THE DESIGN OF HANGING REINFORCED CONCRETE SANDWICH WALL PANELS

SOPILNYAK A. M. <sup>1\*</sup> *ass.*

<sup>1\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: artem\_sopilnyak@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

**Summary. Raising of problem.** In construction there are different kinds of three-layer reinforced concrete cladding wall panels. The middle layer of these panels is a materials of heat-insulation (mineral wool, polymer, lightweight concrete), which have high thermal properties. The calculations were performed on the thermal conductivity using the software package Elcut 5" for main types of walling mass application in the construction of buildings for various purposes. **Purpose.** Improvement of structures reinforced concrete sandwich wall panels for mass application based on the results of the calculations of reduced resistance to heat transfer. **Conclusion.** The resistance of heat transfer panels with flexible links and panels with monolithic links between the layers and the middle layer of polystyrene on 1.35...2.1 higher than other variants structures. For the first temperature zone the minimum value of the resistance of heat transfer provides for panels with flexible links and the middle layer of expanded polystyrene (450...500 mm), extruded polystyrene foam (450...500 mm), and mineral wool (500 mm). And panels with monolithic links between the layers and the middle layer of polystyrene concrete (450...500 mm). For the second temperature zone the minimum value of thermal resistance of enclosing structures of residential and public buildings provide panels with flexible links and the middle layer of polystyrene (400...500 mm), extruded polystyrene foam (400...500 mm), mineral wool (450...500 mm), and panels with monolithic links between the layers and the middle layer of polystyrene (400...500 mm).

**Keywords:** three-layer reinforced concrete beam, resistance to heat transfer, the software package "Elcut 5".

## Введение

Традиционные однослойные панели при соответствии новым требованиям увеличиваются по толщине, а соответственно и по массе, что является нерациональным.

При этом увеличение толщины и массы ограждающих конструкций требует применение кранов и других транспортных средств с повышенной грузоподъемностью в массовом сборном строительстве, а на производстве – изменение опалубочных форм, материало-, энерго- и трудозатрат, что влечет за собой увеличение стоимости единицы полезной площади здания.

Поэтому применять тяжелый бетон и керамзитобетон в соответствии с новыми нормами целесообразно только в конструктивных слоях ограждающих конструкций.

Одним из наиболее перспективных направлений обеспечения современных требований по теплозащите зданий без существенного увеличения материалоемкости, трудозатрат, а главное стоимости, является применение многослойных ограждающих железобетонных конструкций с эффективными теплоизоляционными материалами.

В практике строительства используются различные виды трехслойных железобетонных ограждающих стеновых панелей жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий. В качестве среднего слоя таких панелей применяют материалы, обладающие высокими теплофизическими

свойствами, но при этом они имеют низкие прочностные показатели.

Наружный и внутренний слой трехслойной железобетонной панели соединяются между собой с помощью связей, обеспечивающих независимую или совместную их работу. Применяются различные типы связей:

- связи сдвига (стальные стержни и железобетонные брусья);
- связи в виде стальных вертикальных ферм с треугольной решеткой;
- комбинированные (стальные подвески и распорки).

Во всех перечисленных конструкциях вертикальная нагрузка воспринимается одним внутренним (со стороны помещения) несущим слоем.

Как показывает практика решения стен с утеплителем из полимерных материалов недолговечны из-за деструкции утеплителя при эксплуатации, а это значит, что возникает необходимость неоднократного ремонта стен.

Другим недостатком трехслойных конструкций с гибкими связями является повышенная трудоемкость защиты по периметру полимерного утеплителя негорючим минераловатным с целью обеспечения пожарной безопасности, и сложность выдержки проектного качества из-за протечек бетона в местах установки связей, между плитами утеплителя, а также бортами форм.

К преимуществам трехслойных панелей с эффективным утеплителем и связями сдвига можно отнести простоту конструкции связей, которые представлены в виде стальных шпилек, защищенных от коррозии, и их установку. А недостатком является

большие теплопотери из-за большого диаметра тех же связей [2].

Трехслойные панели со связями сдвига в виде железобетонных брусьев появились сравнительно недавно. Основным преимуществом железобетонных связей является защита арматуры от коррозии. Но из-за деформаций разности температур слоев панели могут привести к взаимному смещению, а следственно и к образованию трещин.

Трехслойные панели с минераловатным утеплителем и связями в виде стальных ферм (треугольная решетка) из нержавеющей стали, которые обеспечивают передачу вертикальных усилий от наружного слоя при небольшом диаметре решетке.

Наиболее перспективной в целостности и термической однородности конструкции является трехслойные панели с монолитной связью слоев и утеплителя из низкотеплопроводных бетонов. Но опыт их применения пока еще ограничен. Такие панели были применены преимущественно в северных регионах России [3], а также имеется некоторый опыт применения в западных странах [4].

### Цель

Усовершенствование конструкций трехслойных железобетонных стеновых панелей массового применения по результатам проведения анализа расчетов приведенного сопротивления теплопередачи.

### Изложение материала

Для основных типов ограждающих конструкций массового применения при строительстве зданий различного назначения были выполнены расчёты на теплопроводность с помощью программного комплекса «Elcut 5». Результаты расчётов приведенного сопротивления теплопередачи для некоторых конструкций трехслойных стеновых панелей массового применения приведены в таблице 1.

При определении приведенного сопротивления теплопередачи материал внешних слоев для всех вариантов конструкций был принят - тяжелый бетон с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=1,92 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и  $\lambda=2,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , соответственно для условий эксплуатации А и Б. Внутренний слой толщиной 7 см, а наружный 5 см. В качестве среднего слоя, энергоэффективного утеплителя, рассматривалось несколько видов материалов. Для трехслойных конструкций со связями из железобетонных брусьев (по аналогии к серии 1.090.1-1/88 [5]) и гибких стальных стержней (по аналогии к серии 1.132.1-14 [6]) сравнивались пенополистирол с коэффициентами теплопроводности  $\lambda=0,043 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и  $\lambda=0,053 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  (соответственно для условий эксплуатации А и Б), экструдированный пенополистирол с коэффициентами теплопроводности  $\lambda=0,038 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и

$\lambda=0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , минераловата с коэффициентами теплопроводности  $\lambda=0,064 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и  $\lambda=0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Для конструкции с монолитной связью между слоями (по аналогии к серии 1.090.1-1/88) рассматривались пенополистиролбетон с  $\lambda=0,10 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и  $\lambda=0,11 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и керамзитобетон с  $\lambda=0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и  $\lambda=0,23 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  (соответственно для условий эксплуатации А и Б). Толщина трехслойной железобетонной ограждающей панели с энергоэффективным утеплителем принималась от 300 мм до 500 мм с шагом 50 мм. Плотности используемых материалов среднего слоя утеплителя приведены в таблице 1.

На рисунках 1-3 приведены схемы распределения температурных полей полученная в программном комплексе «Elcut 5» для трехслойной конструкции со связями в виде ж/б брусьев (рис. 1.), с гибкими связями (рис. 2.) и монолитной связью между слоями (рис. 3) при разнице температур на внутренней и внешней граням в один градус.

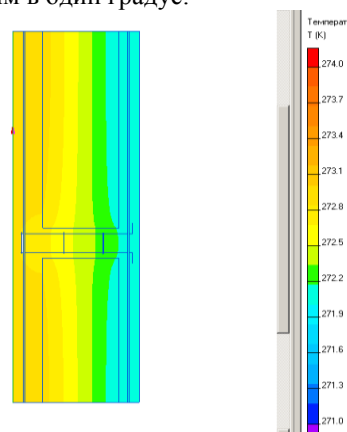


Рис. 1. Схема распределения температурных полей полученная в программном комплексе «Elcut 5» для трехслойной конструкции со связями в виде ж/б брусьев при разнице температур на внутренней и внешней граням в один градус

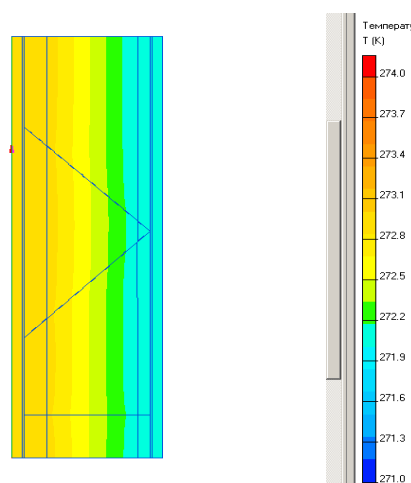
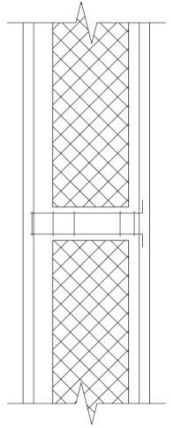
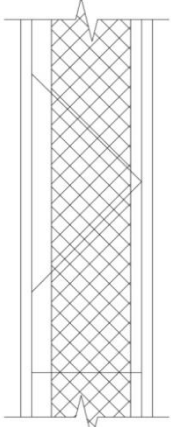
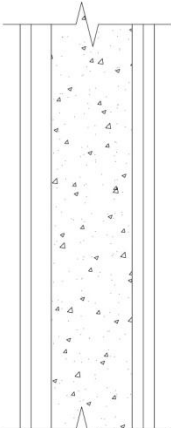


Рис. 2. Схема распределения температурных полей полученная в программном комплексе «Elcut 5» для трехслойной конструкции с гибкими связями при разнице температур на внутренней и внешней граням в один градус

Таблица 1

## Сравнение приведенного сопротивления теплопередачи трехслойных стеновых панелей массового применения/

## Comparison of thermal resistance of three-layer wall panels for mass application

№ п.п.	Эскиз участка панели	Вид связей между слоями	Материал среднего слоя утеплителя	Приведенное сопротивление теплопередачи при толщине панели, мм				
				300	350	400	450	500
1		Железобетонные брусья	Пенополистирол $\rho=25\text{кг/м}^3$	1,278 (1,185)	1,501 (1,392)	1,725 (1,598)	1,950 (1,806)	2,172 (2,012)
			Пенополистирол экструдир. $\rho=25\text{кг/м}^3$	1,310 (1,257)	1,537 (1,474)	1,765 (1,691)	1,995 (1,909)	2,221 (2,125)
			Минера-ловата $\rho=100\text{кг/м}^3$	1,162 (1,105)	1,369 (1,299)	1,575 (1,494)	1,783 (1,689)	1,988 (1,883)
2		Гибкие стальные стержни	Пенополистирол $\rho=25\text{кг/м}^3$	2,123 (1,993)	2,577 (2,351)	3,031 (2,767)	3,496 (3,192)	3,969 (3,624)
			Пенополистирол экструдир. $\rho=25\text{кг/м}^3$	2,230 (2,180)	2,706 (2,646)	3,181 (3,113)	3,669 (3,591)	4,165 (4,078)
			Минера-ловата $\rho=100\text{кг/м}^3$	1,774 (1,692)	2,156 (2,058)	2,538 (2,422)	2,927 (2,794)	3,321 (3,170)
3		Монолитная связь	Полистиролбетон $\rho=300\text{кг/м}^3$	2,020 (1,854)	2,520 (2,308)	3,020 (2,763)	3,520 (3,217)	4,020 (3,671)
			Керамзитобетон $\rho=500\text{кг/м}^3$	1,279 (1,000)	1,573 (1,217)	1,867 (1,435)	2,162 (1,652)	2,456 (1,869)

**Примечание:** без скобок указано значение приведенного сопротивления теплопередачи конструкции для условий эксплуатации А, а в скобках - для Б.

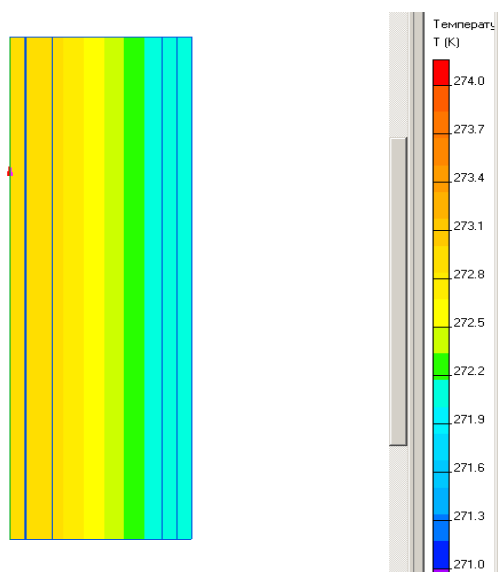


Рис. 3. Схема распределения температурных полей полученная в программном комплексе «Eicut 5» для трехслойной конструкции с монолитной связью между слоями при разнице температур на внутренней и внешней границе в один градус

Полученные данные таблицы 1 в графическом виде представлены на рисунках 4-5.

Проанализировав полученные результаты расчётов (таблицы 1) приведенного сопротивления теплопередачи трехслойных стеновых панелей массового применения и их графическое представление (рис. 4-5) можно сделать некоторые выводы. Значения приведенного сопротивления теплопередачи значительно выше, в 1,35...2,1 раза для панели с гибкими связями и панели с монолитной связью между слоями и материалом утеплителя из полистиролбетона, чем у остальных вариантов конструкций. Минимально допустимое значение сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции жилых и общественных зданий для второй температурной зоны (Закарпатская, Запорожская, Николаевская, Одесская и Херсонская

области и АР Крым), согласно ДБН В.2.6-31:2006 [1], составляет  $2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Этому значению удовлетворяют панели с гибкими связями и средним слоем из пенополистирола при толщине панели 400...500 мм для условий эксплуатации А, и 450...500 мм - для Б. Также эти нормы обеспечивает та же панель со средним слоем из экструдированного пенополистирола при толщине панели 400...500 мм для условий эксплуатации А и Б, и с утеплителем из минераловаты при толщине панели 450...500 мм для условий эксплуатации А, и 500 мм - для Б.

Панели с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона удовлетворяют минимальным требованиям по сопротивлению теплопередачи при толщине панели 400...500 мм для условий эксплуатации А, и 450...500 мм - для Б.

Для первой же температурной зоны минимально допустимое значение сопротивления теплопередачи (для остальных областей Украины) составляет  $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . И этому нормативу удовлетворяют панели с гибкими связями и средним слоем из пенополистирола при толщине панели 450...500 мм для условий эксплуатации А, и 500 мм - для Б. Та же панель со средним слоем из экструдированного пенополистирола обеспечивает это значение при толщине панели 450...500 мм для условий эксплуатации А и Б, и с утеплителем из минераловаты при толщине панели 500 мм для условий эксплуатации А, а для условий эксплуатации Б не обеспечивает. Панели с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона удовлетворяют минимальному нормативу для первой температурной зоны при толщине панели 450...500 мм для условий эксплуатации А, и 500 мм - для Б. Остальные варианты конструкций не обеспечивают минимальных норм ДБН В.2.6-31:2006 [1] по сопротивлению теплопередачи ограждающей конструкции.

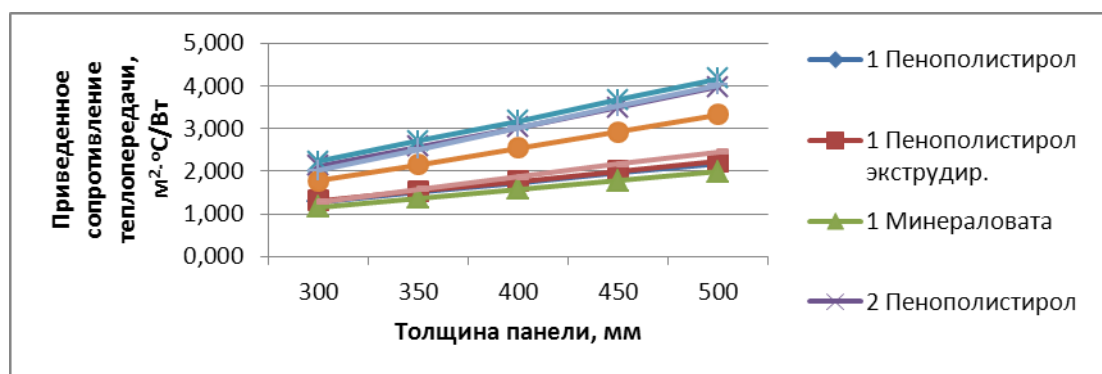


Рис. 4. Приведенное сопротивление теплопередачи трехслойных стеновых панелей в условиях эксплуатации А при различных материалах среднего слоя утеплителя и толщины панели (цифра перед материалом утеплителя указывает на номер по порядку эскиза панели)

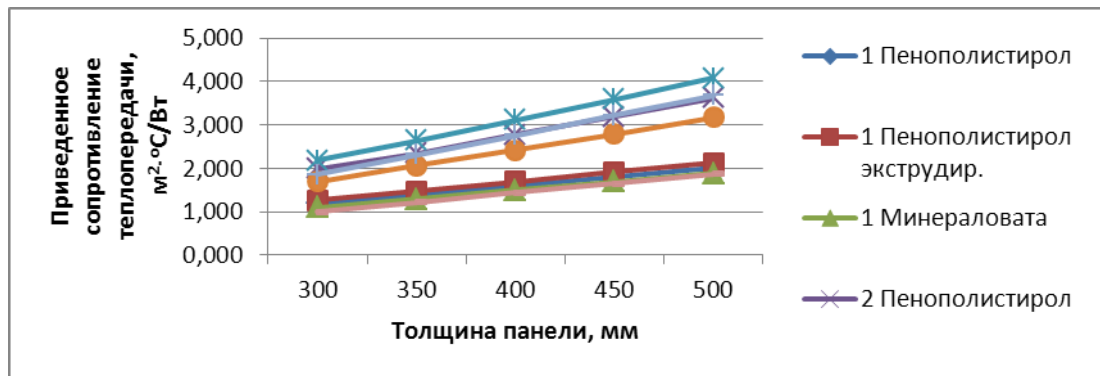


Рис. 5. Приведенное сопротивление теплопередачи трехслойных стеновых панелей в условиях эксплуатации Б при различных материалах среднего слоя утеплителя и толщины панели (цифра перед материалом утеплителя указывает на номер по порядку эскиза панели)

### Выводы

Сопротивление теплопередачи для панели с гибкими связями и панелей с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона в 1,35...2,1 раза выше, чем у остальных вариантов конструкций.

Минимальному значению сопротивления теплопередачи для первой температурной зоны удовлетворяют панели с гибкими связями и средним слоем из пенополистирола (450...500 мм), экструдированного пенополистирола (450...500 мм), и минераловаты (500 мм). А также панели с

монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона (450...500 мм).

Для второй температурной зоны минимальное значение сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции жилых и общественных зданий обеспечивают панели с гибкими связями и средним слоем из пенополистирола (400...500 мм), экструдированного пенополистирола (400...500 мм), минераловаты (450...500 мм), и панели с монолитной связью между слоями и средним слоем из полистиролбетона (400...500 мм).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ/

1. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. ДБН В.2.6-31:2006. Зі зміною №1 від 1 липня 2013 Київ. Мінбуд України. 2006.
2. Король Е.А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета: Монография. /М.: издательство АВС,2001.-256 с.
3. Стронгин Н.С., Баулин Д.К. Легкобетонные конструкции крупнопанельных, жилых домов. - М.: Стройиздат, 1984.-184 с.
4. Dal D. Durisol. Lightweight Precast Concrete // Paper trade. – 1950. - Vol. 130. - № 23.
5. Серия 1.090.1-1/88 Выпуск 2-4. Панели наружных стен трехслойные на жестких связях. ЦИТП. Госстрой СССР. 1989.
6. Серия 1.132.1-14 Панели наружных стен железобетонные трехслойные толщиной 300 мм с утеплителем из полистирольного пенопласта и гибкими связями однорядной разрезки для крупнопанельных жилых зданий с шагом поперечных стен 3,0-3,6 м и высотой этажа 2,8 м. ЦНИИЭП. Госстрой СССР. 1986.

### REFERENCES

1. DBN V. 2.6-31:2006. *Konstruktivni budinkiv i sporud* [Construction of buildings and structures]. Thermal insulation of buildings. The Ministry Of Construction Of Ukraine. 2006.
2. Korol E.A. *Trehslaynyie ograzhdayushchie zhelezobetonnyie konstruktivni iz legkih betonov i osobennosti ih rascheta* [Three-layer protecting concrete structures from lightweight concrete and features of their calculation]. Monograph /Moscow: publishing house AVC, 2001.-256 p.
3. Strongin N.S., Baulin D.K. *Legkobetonnyie konstruktivni krupnopanelynyih, zhilyih domov* [Light concrete structures of large-panel houses]. - Moscow: Stroyizdat, 1984.-184 p.
4. Dal D. Durisol. Lightweight Precast Concrete // Paper trade. – 1950. - Vol. 130. - № 23.
5. Series 1.090.1-1/88 Release 2-4. *Paneli naruzhnyih sten trehslaynyie na zhestkih svyazyah* [Panel three-layer external walls on rigid links]. Gosstroy of the USSR. 1989.
6. Series 1.132.1-14 *Paneli naruzhnyih sten zhelezobetonnyie trehslaynyie tolschinoy 300 mm s uteplitelem iz polistirolnogo penoplasta i gibkimi svyazyami odnoryadnoy razrezki dlya krupnopanelynyih zhilyih zdaniy s shagom poperechnyih sten 3,0-3,6 m i vyisotoy etazha 2,8 m* [Panels of external walls reinforced concrete three-layer thickness of 300 mm with thermal insulation made of polystyrene foam and flexible links single row of cutting for large-panel residential buildings with a pitch of transverse walls of 3.0-3.6 m and a storey height of 2.8 m]. Gosstroy of the USSR. 1986.

Стаття надійшла в редколегію 08.09.2016