

УДК 699

**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**THE ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF EXTERNAL WALLS  
FOR INCREASE THE HEAT-SHIELDING  
OF CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION  
OF INFRASTRUCTURE OF MANUFACTURING ENTERPRISES**

*Е.А. КОРОЛЬ*  
*E.A. KOROL*

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)  
(National Research Moscow State University of Civil Engineering)  
E-mail: professorkorol@mail.ru

*В статье рассмотрены основные преимущества и недостатки различных конструктивно-технологических решений наружных стен заводского изготовления с высокими теплозащитными характеристиками, используемые в практике современного строительства и реконструкции зданий. Обобщение и анализ этих конструктивно-технологических решений позволяет определить рациональные области их применения.*

*In the article the main advantages and disadvantages of various design and technological solutions of external factory-made walls with high thermal protection characteristics used in the practice of modern construction and reconstruction of buildings are considered. The generalization and analysis of these constructive technological solutions makes it possible to determine rational areas for their application.*

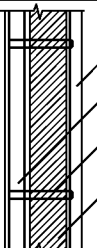
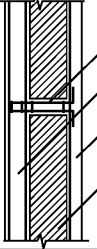
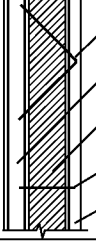
**Ключевые слова:** наружные стены, теплозащита зданий, ограждающие конструкции, сопротивление теплопередаче, производственные здания.

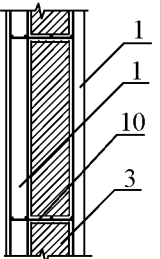
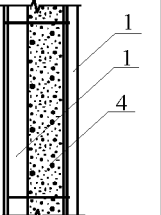
**Keywords:** external walls, thermal protection of buildings, enclosing structures, resistance to heat transfer, production buildings.

В отечественной практике строительства и реконструкции промышленных зон для повышения теплозащитных характеристик зданий и сооружений широко используются многослойные железобетонные ограждающие конструкции промышленного изготовления. К ним относятся различные виды трехслойных стеновых панелей, разработанных для промышленных и общественных зданий, с наружными слоями из легкого или тяжелого бетона и утеплителем из минераловатных, стекловолоконистых, полимерных и т. п. материалов, а также легкие бетоны низкой средней плотности и теплопроводности. Наружные и

внутренние слои таких панелей соединяются между собой с помощью связей, обеспечивающих независимую или совместную их работу. Применяются различные типы связей: связи сдвига в виде стальных стержней и железобетонных брусьев; комбинированные, предусматривающие подвеску наружного ограждающего слоя к внутреннему несущему и установку распорок; связи и в виде стальных вертикальных ферм с треугольной решеткой, пояса которых располагаются в наружных слоях, адгезия слоев. Обобщение основных конструктивных решений наружных трехслойных стеновых панелей представлено в табл. 1.

Таблица 1

| Эскиз связей  | Характеристика связей слоев  | Вид утеплителя и расчетные коэффициенты теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С) | Толщина панели, мм | Приведенное сопротивление теплопередаче, $R_0$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт с наружными слоями из тяжелого (легкого) бетона в условиях эксплуатации |             |
|---|------------------------------|--|--------------------|--|-------------|
|   |                              |  |                    | А  | Б           |
|  | гибкие стальные              | полистирольный пенопласт:<br>$\lambda_A=0,04$ ;<br>$\lambda_B=0,05$            | 300                | 2,7  | 2,3         |
|   |                              |  | 350                | 3,6  | 3,0         |
|   |                              | минераловатные прошивные маты:<br>$\lambda_A=0,05$ ;<br>$\lambda_B=0,06$       | 400                | 4,4  | 3,7         |
|   |                              |  | 450                | 5,3  | 4,4         |
|  | железобетонные брусья        | полистирольный пенопласт:<br>$\lambda_A=0,05$ ;<br>$\lambda_B=0,05$            | 300                | 2,3  | 1,9         |
|   |                              |  | 350                | 3,1  | 2,5         |
|   |                              | минераловатные прошивные маты:<br>$\lambda_A=0,05$ ;<br>$\lambda_B=0,06$       | 400                | 3,8  | 3,1         |
|   |                              |  | 300                | 1,6  | 1,4         |
|  | стальные подвески и распорки | полистирольный пенопласт:<br>$\lambda_A=0,04$ ;<br>$\lambda_B=0,05$            | 300                | 1,47 (1,73)  | 1,37 (1,64) |
|   |                              |  | 350                | 2,17 (2,46)  | 2,01 (2,30) |
|   |                              |  | 400                | 2,83 (3,14)  | 2,64 (2,97) |
|   |                              |  | 450                | 3,49 (3,86)  | 3,08 (3,44) |
|   |                              | плиты минераловатные жесткие:<br>$\lambda_A=0,05$ ;<br>$\lambda_B=0,06$        | 300                | 1,02 (1,18)  | -           |
|   |                              |  | 350                | 1,45 (1,78)  | -           |
| 400   | 1,90 (2,19)                  | -  |                    |  |             |
| 450   | 2,24 (2,58)                  | -  |                    |  |             |

|   |                    |  |     |             |            |
|---|--------------------|--|-----|-------------|------------|
|  | армированные ребра | полистирольный пенопласт:<br>$\lambda_A=0,04$ ;<br>$\lambda_B=0,05$  | 300 | 2,0 (2,5)   | 1,6 (2,1)  |
|   |                    |  | 350 | 2,6 (3,2)   | 2,1 (2,7)  |
|   |                    |  | 400 | 3,2 (4,0)   | 2,6 (3,3)  |
|   |                    |  | 450 | 3,8 (4,7)   | 3,1 (3,9)  |
|   |                    | минераловатные прошивные маты:<br>$\lambda_A=0,05$ ;<br>$\lambda_B=0,06$   | 300 | 1,3         | 1,2        |
|   |                    |  | 350 | 1,7         | 1,5        |
|   |                    |  | 400 | 2,1         | 1,9        |
|   |                    |  | 450 | 2,5         | 2,3        |
|  | сцепление слоев    | Низкотеплопроводный полистиролбетон на различных вяжущих:<br>$\lambda_A=0,098$ (0,078);<br>$\lambda_B=0,111$ (0,082) | 300 | 2,03 (2,50) | 1,84 (2,3) |
|   |                    |  | 350 | 2,54 (3,15) | 2,25 (2,9) |
|   |                    |  | 400 | 3,05 (3,79) | 2,7 (3,56) |
|   |                    |  | 450 | 3,56 (4,40) | 3,15 (4,1) |
|   |                    |  |     |             |            |

Примечание. 1 – наружный несущий слой; 2 – наружный ограждающий слой; 3 – эффективный утеплитель; 4 – легкий бетон низкой средней плотности; 5 – стальные связи-шпильки; 6 – связи в виде железобетонных брусьев; 7 – связи-подвески; 8 – связи-распорки; 9 – связи в виде стальных ферм; 10 – железобетонные ребра.

Трехслойные панели с эффективным утеплителем и связями сдвига в виде стальных стержней разработаны и применяются для навесных и самонесущих стен горизонтальной разрезки производственных и общественных зданий. В наружных слоях их используют преимущественно тяжелый бетон. В этих панелях все вертикальные нагрузки воспринимаются внутренним несущим слоем, а наружный ограждающий соединяется с внутренним с помощью гибких связей в виде стальных шпилек, защищенных от коррозии.

К преимуществам таких панелей можно отнести простоту конструкции связей и их установки. В процессе изготовления панелей после бетонирования внутреннего несущего слоя толщиной 10 см и раскладки утеплителя связи забиваются в свежееуложенный бетон. Верхняя изогнутая часть шпильки-связи анкеруется в наружном ограждающем слое толщиной 5 см. Проведенные исследования подтвердили надежность такого соединения слоев между собой.

Недостатком принятой конструкции являются большие потери тепла, которые происходят через стальные связи. Расчеты показали, что для трехслойных панелей размером 1,2×6 м с утеплителем из пенополистирола ( $\lambda_B=0,05$  Вт/(м·°C)) при двухрядном размещении шпилек по высоте из арматуры периодического профиля диаметром 10 мм с шагом по длине 0,8 м коэффи-

циент термической однородности составляет 0,6. Кроме того, при толщине утеплителя 15 см прогиб наружного ограждающего слоя от собственного веса относительно несущего внутреннего не превышает 1,5 мм. Поэтому при меньшей толщине утеплителя повышение термической однородности панелей возможно за счет уменьшения диаметра связей-шпилек до 8...6 мм.

Увеличение толщины утеплителя приводит к увеличению диаметра связей или их количества и соответственно росту теплопотерь. Поэтому рациональные области применения рассмотренных конструкций будут ограничены преимущественно зданиями производственного назначения с сухим и нормальным режимами. Для стен общественных зданий, в том числе офисного назначения, рассмотренные конструкции со стальными связями не рациональны из-за увеличения их толщины и, как следствие, диаметра или количества связей.

Трехслойные панели с эффективным утеплителем и связями в виде железобетонных брусьев имеют преимущества, обусловленные тем, что железобетонные связи защищены от коррозии, что позволяет использовать для них обычную арматуру.

Экспериментально-теоретические исследования этих конструкций выявили, что при действии нагрузки от веса наружного ограждающего слоя на связи при испыта-

ниях фрагментов панелей трещины в железобетонных связях не образуются. Однако деформации, вызываемые различной температурой наружного ограждающего и внутреннего несущего слоев и приводящие к их взаимному смещению, могут быть существенно больше, чем деформации от нагрузки, что является причиной не только образования трещин в связях, но и значительного их раскрытия. Поскольку разница температуры слоев зависит от времени года, трещины будут сквозными. С появлением трещин возможно нарушение анкеровки арматуры связей из-за недостаточной ее заделки в тонком наружном ограждающем слое. Это обуславливает необходимость усиления армирования наружного ограждающего слоя в местах связей. При значительном раскрытии трещин в условиях повышенной влажности в период эксплуатации панелей возможна коррозия арматуры связей и разрушение бетона, и, в конечном счете, панелей в целом.

Трехслойные панели с эффективным утеплителем и стальными комбинированными связями нашли широкое применение в крупнопанельном домостроении.

В таких панелях передачу усилий от наружного ограждающего слоя на внутренний несущий обеспечивают металлические связи, а конструкция связей и их расположение не создают препятствий для свободных температурных деформаций наружного ограждающего слоя. Связи выполняются в виде подвесок и распорок. Подвески предназначены для передачи вертикальной нагрузки от наружного ограждающего слоя на внутренний несущий без участия других связей. Для этого они имеют растянутый и сжатый подкосы. Распорки предназначены для передачи горизонтальных нагрузок от ветра и других воздействий от наружного ограждающего слоя на внутренний несущий. Связи рекомендуется выполнять из коррозионно-стойких сортов стали или применять антикоррозионные покрытия.

В разработанных технических решениях толщина утеплителя принята от 70 до 280 мм. Наружные бетонные слои – 70...80 мм, внутренние – от 100 до 150 мм. Для

наружного и внутреннего слоев может использоваться тяжелый бетон класса В20 средней плотностью  $\rho=2400 \text{ кг/м}^3$  и керамзитобетон класса В12,5 и  $\rho=1600 \text{ кг/м}^3$ .

Принятая толщина бетонных слоев удовлетворяет требованиям огнестойкости и надежной защиты арматуры от коррозии. Однако для обеспечения эксплуатационной надежности по периметру наружных панелей укладывается несгораемый утеплитель, что значительно увеличивает трудоемкость их изготовления.

Трехслойные панели с минераловатным утеплителем и связями в виде стальных ферм с параллельными поясами и треугольной решеткой из нержавеющей стали разработаны фирмой Партек (Финляндия). Фермы устанавливаются на всю высоту панели в местах стыков утеплителя, а пояса ферм располагаются в бетоне наружных слоев панели. Такая конструкция обеспечивает надежную анкеровку связей-подвесок и передачу вертикальной нагрузки и других воздействий от наружного ограждающего слоя при минимальной его толщине и небольшом диаметре элементов решетки. При принятой конструкции связей наружные слои панели в вертикальном направлении работают совместно, поэтому деформации от нагрузки, ползучести бетона и температуры влияют друг на друга, что необходимо учитывать при проектировании.

Трехслойные панели с вкладышами из эффективного утеплителя и ребрами из легкого бетона основным недостатком имеют низкую эффективность использования утеплителя. Проведенные расчеты показали, что при использовании в наружных слоях и ребрах керамзитобетона средней плотности  $900 \text{ кг/м}^3$  на шлакопортландцементе ( $\lambda_{\text{Б}}=0,32 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ) и вкладышей из утеплителя ( $\lambda_{\text{Б}}=0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ), коэффициент теплотехнической однородности панелей с проемами при толщине ребер 5 см составляет 0,5, без проемов – 0,59. Для обычно используемого керамзитобетона  $1100 \text{ кг/м}^3$  коэффициент теплотехнической однородности снизится соответственно до 0,39 и 0,48. Такие панели сложны и трудоемки в изготовлении, что связано с расклад-

кой и фиксированием в проектное положение утеплителя и бетонированием тонких армированных ребер.

Опыт эксплуатации показывает, что в наружном ограждающем слое панелей между ребрами возможно образование сквозных трещин, вызванных усадкой и высушиванием бетона и температурными деформациями. Через трещины возможно увлажнение утеплителя и бетона, что ухудшает их эксплуатационные качества и снижает долговечность стеновых панелей.

Достоинствами панелей с вкладышами из эффективного утеплителя и ребрами из легкого бетона являются работа полным сечением, надежная защита утеплителя от возгорания, отсутствие гибких металлических связей. Однако по термической однородности трехслойные панели с вкладышами утеплителя и ребрами из легкого бетона неконкурентоспособны.

Трехслойные панели с монолитной связью слоев и утеплителем из низкотеплопроводных бетонов в настоящее время являются экспериментальными в гражданском и промышленном строительстве.

Имеется опыт проектирования трехслойных стеновых панелей горизонтальной разрезки длиной 6 и 12 м для строительства и реконструкции отапливаемых производственных зданий. В наружных слоях таких панелей был использован керамзитобетон классов В15...В22,5 плотностью 1600...1800 кг/м<sup>3</sup> или тяжелый и мелкозернистый бетон классов В22,5...В30, а для среднего теплоизоляционного – крупнопористый керамзитобетон или шлакопемзобетон классов В2,5...В3,5 плотностью 700...1200 кг/м<sup>3</sup>, а также керамзитопено-, керамзитоперлит-, перлит-, аглопорито- и шунгизито- и полистиролбетона. Толщина панелей определялась теплотехническим расчетом и для большинства производственных и общественных зданий составляла 200...400 мм, наружные слои 30...50 мм, в которых размещалась рабочая арматура – обычная или предварительно напряженная.

По технологии изготовления трехслойные панели из легкого бетона с монолитной связью слоев аналогичны однослойным.

Используемые в качестве утеплителя легкие бетоны низкой средней плотности негоряемы или трудногоряемы, а их эксплуатационные свойства не ухудшаются во времени. Отсутствие дополнительных дискретных связей исключает образование теплопроводных включений, подобных другим видам трехслойных конструкций. Существенным преимуществом их по сравнению с трехслойными с гибкими связями является снижение расхода рабочей арматуры за счет передачи нагрузки не только на внутренний несущий слой, а на сечение в целом.

## ВЫВОДЫ

1. Практика показала, что конструктивные решения наружных стен с утеплителями из полимерных материалов недолговечны из-за деструкции утеплителя при эксплуатации, что обуславливает за время эксплуатации зданий неоднократно осуществлять ремонт стен.

2. Для зданий офисного назначения применяются трехслойные панели из легкого бетона с вкладышами утеплителя. В их наружных слоях предпочтительно использование бетонов на пористых заполнителях, что положительно влияет на повышение сопротивления теплопередаче при имеющей место высокой термической неоднородности этих конструкций.

3. Общая тенденция повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций при строительстве и реконструкции зданий различного назначения нашла отражение в исследованиях эффективных бетонов для теплоизоляционного слоя. Это новое поколение бетонов пониженной средней плотности и прочности способно обеспечивать связь наружных слоев из конструкционных бетонов без дополнительных элементов, являющихся в большинстве случаев теплопроводными включениями и снижающих эффективность использования утеплителей из материалов, имеющих различную природу с конструкционными слоями из бетонов. Дальнейшее их совершенствование позволит таким конструкциям занять конкурен-

тоспособное место среди используемых традиционных конструкций индустриальных наружных стен.

4. При выборе бетона для теплоизоляционного слоя трехслойных конструкций важное значение имеет местная сырьевая база для производства заполнителей. Поэтому применение утеплителей из низко-теплопроводных бетонов целесообразно осуществлять по региональному признаку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М., Король Е.А., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности (основы теории, методы расчета и технологическое проектирование). – М., 2008.

2. Ибрагимов А.М., Федосов С.В., Гнедина Л.Ю. Проблемы трехслойных ограждающих конструкций // Жилищное строительство. – 2012, №7. С.9...12.

3. Король Е.А. Анализ состояния и тенденций градостроительной деятельности в реализации проектов реконструкции и реновации промышленных зон Москвы // Недвижимость: экономика, управление. – 2014, №1-2. С.48...51.

4. Король Е.А., Харькин Ю.А. Технологическая и организационная эффективность возведения многослойных наружных стен в монолитном строительстве // Строительство и реконструкция. – 2013, №6, С.3...8.

5. Kharkin Y., Korol E., Davidyuk A. Technology for erecting sandwich external walls with heat insulation layer made of low conductivity concrete // Procedia engineering. – V. 117, 2015. P. 172...178.

6. Умнякова Н.П., Андрейцева К.С., Смирнов В.А. Теплообмен на поверхности выступающих элементов наружных ограждений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 4 (364). С.157...160.

7. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Развитие методов нормирования теплозащиты энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2014, № 7. С.19...23.

#### REFERENCES

1. Bazhenov Ju.M., Korol' E.A., Erofeev V.T., Mitina E.A. Ograzhdajushhie konstrukcii s ispol'zovaniem betonov nizkoj teploprovodnosti (osnovy teorii, metody rascheta i tehnologicheskoe proektirovanie). – M., 2008.

2. Ibragimov A.M., Fedosov S.V., Gnedina L.Ju. Problemy trehslojnyh ograzhdajushhih konstrukcij // hilishhnoe stroitel'stvo. – 2012, №7. S.9...12.

3. Korol' E.A. Analiz sostojanija i tendencij gradostroitel'noj dejatel'nosti v realizacii proektov rekonstrukcii i renovacii promyshlennyh zon Moskvy // Nedvizhimost': jekonomika, upravlenie. – 2014, №1-2. S.48...51.

4. Korol' E.A., Har'kin Ju.A. Tehnologicheskaja i organizacionnaja jeffektivnost' vozvedenija mnogoslajnyh naruzhnyh sten v monolitnom stroitel'stve // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2013, №6, S.3...8.

5. Kharkin Y., Korol E., Davidyuk A. Technology for erecting sandwich external walls with heat insulation layer made of low conductivity concrete // Procedia engineering. – V. 117, 2015. P. 172...178.

6. Umnjakova N.P., Andrejceva K.S., Smirnov V.A. Teploobmen na poverhnosti vystupajushhih jelementov naruzhnyh ograzhdenij // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 4 (364). S.157...160.

7. Umnjakova N.P., Butovskij I.N., Chebotarev A.G. Razvitie metodov normirovanija teplozashhity jenergojeffektivnyh zdaniy // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2014, № 7. S.19...23.

Рекомендована кафедрой жилищно-коммунального хозяйства. Поступила 03.04.17.