

УДК 692.23:691-41:624.94

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-6-107-114

*С.Н. ОВСЯННИКОВ, В.Б. МАКСИМОВ,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ НАРУЖНЫЕ СТЕНОВЫЕ ПАНЕЛИ КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Строительство каркасно-панельных жилых и общественных зданий в России развивается достаточно динамично. В Томском государственном архитектурно-строительном университете разработана новая каркасная универсальная полносборная архитектурно-строительная система (КУПАСС), ограждающие конструкции которой в сочетании с инновационными инженерными системами позволяют обеспечить зданиям наивысший класс энергосбережения А++. Принципиальным отличием нового поколения трехслойных железобетонных панельных конструкций является снижение массы панелей, существенное увеличение толщины эффективного утеплителя, полный отказ от жестких конструктивных связей между наружными и внутренними конструктивными слоями. Данный тип навесных панелей требует устройства поэтажных горизонтальных несущих элементов, имеющих в своем составе эффективные терморазрывы. Целью работы является обоснование энергетической эффективности предложенных конструктивных решений наружных стеновых панелей в каркасно-панельных зданиях. Теплотехнические расчеты фрагментов фасада с построением 3D температурных полей, лабораторные испытания в климатических камерах и натурные теплотехнические испытания на испытательном фрагменте здания по системе КУПАСС показали, что приведенное сопротивление теплопередаче новых стеновых панелей достигает $4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, что почти вдвое превышает аналогичный показатель для применяемых в настоящее время стеновых конструкций.

Ключевые слова: каркасно-панельное здание; трехслойная стеновая панель; «жесткие» и «гибкие» связи; сопротивление теплопередаче; энергосбережение.

Для цитирования: Овсянников С.Н., Максимов В.Б. Энергоэффективные наружные стеновые панели каркасно-панельных зданий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 6. С. 107–114.

*S.N. OVSYANNIKOV, V.B. MAKSIMOV,**Tomsk State University of Architecture and Building*

ENERGY-EFFICIENT EXTERNAL WALL PANELS OF FRAME-PANEL BUILDINGS

Construction of frame-panel buildings in Russia is being developed rather rapidly. A new universal prefabricated antiseismic building system was developed at Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia, which provides buildings with the highest energy conservation of class A++. The advantages of this new universal prefabricated antiseismic building system include the weight reduction of panels, significant increase in the effective thickness of heat insulation, total rejection of rigid structural connections between outer and internal layers. This type of hinged panels requires fixing of horizontal bearing construction with effective thermobreaks. Thermal analysis of facade fragments with 3D construction of temperature fields, laboratory tests in climate chambers and full-scale thermal testing of the universal prefabricated antiseismic building system shows that their heat resistance reaches $4.0 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$, which is almost twice higher than wall systems currently used in construction.

Keywords: frame-panel building; three-layer panel; rigid and flexible connection; thermal resistance; energy saving.

For citation: Ovsyannikov S.N., Maksimov V.B. Energoeffektivnye naruzhnye stenovye paneli karkasno-panel'nykh zdaniy [Energy-efficient external wall panels of frame-panel buildings]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 6. Pp. 107–114.

В России и за рубежом активно развивается строительство каркасно-панельных полносборных зданий. Это направление особенно актуально в регионах с суровым климатом и коротким летним периодом. Разработка универсальных архитектурно-строительных систем каркасных полносборных зданий и создание соответствующей производственной базы позволяют обеспечить в регионе широкомасштабное строительство жилых и общественных зданий, зданий транспортной инфраструктуры. Каркасная конструктивная система дает возможность более экономичными средствами обеспечить сейсмостойкость здания. Однако применение полносборных архитектурно-строительных систем с комплектным набором железобетонных элементов существенно усложняет решение задачи обеспечения высокой теплозащиты вследствие большого количества стыков и необходимости усиления связей, соединяющих наружные и внутренние ветви железобетонных панелей.

В настоящее время ряд существующих в России домостроительных компаний применяют наружные трехслойные панели с внутренним и наружным конструктивными слоями из конструкционного керамзитобетона плотностью 1600...1800 кг/м³, с внутренним слоем из эффективного утеплителя. Практика показала, что наилучшим материалом внутреннего слоя является пенополистирол плотностью 25...40 кг/м³. Этот материал имеет низкое влагопоглощение и десятилетиями сохраняет свои теплотехнические свойства. Однако отмечается ряд недостатков: пенополистирол требует конструктивной защиты, в том числе и от огня; наружная и внутренняя ветви панелей в соответствии с действующими нормами должны иметь толщину не менее 80...120 мм; эти ветви должны быть конструктивно связаны, обеспечивая возможность распалубки, перевозки и монтажа панелей без разрушения целостности панели. Поэтому до настоящего времени применяют панели с жесткими ребрами между наружными и внутренними ветвями, в них размещается арматура, соединяющая каркасы внутренней и наружной ветвей. Эти ребра обрамляют контур панели, оконных и дверных проемов, размещаются с определенным шагом внутри панели, между ребрами закладывается утеплитель. Панели с жесткими ребрами конструктивно и технологически отработаны заводами крупнопанельного домостроения, однако их эксплуатация в климате с низкими расчетными температурами показала, что, несмотря на высокое расчетное локальное сопротивление теплопередаче «по глади» панели между ребрами, локальное сопротивление теплопередаче по ребру определяется только теплотехническими свойствами применяемого керамзитобетона. В связи с этим расчетные температурные поля по внутренней поверхности панели показывают температуры существенно ниже точки росы, что на практике приводит к промерзанию панелей, образованию на их поверхности конденсата, плесени, разрушению отделочных слоев. В на-

ибольшей степени эта проблема проявляется на верхних этажах зданий с нарушенной естественной вентиляцией, в застойных зонах помещений. Приведенное сопротивление теплопередаче панелей с жесткими ребрами даже при толщине эффективного утеплителя до 200 мм невозможно увеличить более чем до $2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, что не отвечает нормативным требованиям по теплозащите.

В последние 2 десятилетия предпринимались попытки отказаться от жестких ребер путем использования жестких железобетонных шпонок, представляющих собой соединительный элемент между наружной и внутренней ветвями панели с петлей из арматурной стали, обетонированной для предотвращения ее коррозии. Данное решение на протяжении многих лет использовалось Томской домостроительной компанией, однако, как показала практика, жесткие шпонки приводят к температурным деформациям в наружной ветви и образованию в них многочисленных трещин [1, 2]. Традиционная технология изготовления панелей с оставлением жестких ребер по контуру панелей и контуру проемов не позволяет обеспечить высокую теплозащиту, несмотря на большую толщину утеплителя в панели.

Появление на строительном рынке композитных материалов для изготовления связей между панелями позволяет отказаться от жестких ребер и шпонок, соединяющих конструктивные ветви наружных панелей, причем конструктивный расчет и схема расстановки гибких связей подвесок, распорок, подкосов известны [3]. Основные требования к трехслойным стеновым панелям с эффективным утеплителем установлены ГОСТ 31310–2005 «Панели стеновые трехслойные с эффективным утеплителем». Основной проблемой проектирования наружных панелей с гибкими связями оставалась проблема их высокой массы и низкой теплозащиты.

Свод правил СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы» (п. 4.3.10) требует при проектировании наружных трехслойных панелей с гибкими неметаллическими связями обеспечить требуемую огнестойкость стеновой панели и надежную связь между панелями при пожаре. ГОСТ 31310–2005 устанавливает минимальные толщины бетонных слоев внутреннего слоя для несущих стен 120 мм, поэтажно несущих панелей с толщиной внутреннего и наружного слоев – по 80 мм из легкого бетона.

Вместе с тем известен зарубежный опыт изготовления трехслойных наружных панелей с конструктивными слоями из текстильного бетона толщиной до 40 мм, что позволяет существенно увеличить толщину эффективного утеплителя с сохранением высоты опалубки при изготовлении панелей. В настоящее время известны также конструкции опорных элементов-терморазрывов для узлов сопряжения наружных стен с монолитными перекрытиями балконными плитами с использованием теплоизоляционного несущего элемента Shoenck Isokorb [4]. Однако терморазрывы Shoenck Isokorb не предназначены для крупнопанельного и каркасно-панельного домостроения.

При разработке КУПАСС было принято решение запроектировать и применить конструкции нового поколения, основанные на принципах максимального уменьшения толщины конструктивных ветвей и полного отказа от жестких связей по контуру панели и проемов. Для максимально возможного по действующим российским нормам уменьшения толщины конструктивных

слоев принято решение наружные панели КУПАСС сделать навесными с поэтажным опиранием на специальные конструктивные элементы – терморазрывы. Это позволяет уменьшить толщину конструктивных слоев из керамзитобетона до 80 мм и увеличить толщину пенополистирола до 240...290 мм при высоте стандартной опалубки 400 или 450 мм.

Конструктивные слои между собой закрепляются стеклопластиковыми гибкими связями, подвесками, распорками и подкосами, количество и схема расстановки которых принята по расчету [5, 6]. По контуру проемов в противопожарных целях установлены минераловатные вкладыши глубиной 150 мм, что позволяет отказаться от бетонных ребер и существенно улучшить теплотехнические показатели панелей. Производство таких панелей возможно в имеющихся формах завода крупнопанельного домостроения и требует только дополнительного поста с заготовками минераловатных вкладышей из полужестких минераловатных плит. Трехслойные стеновые панели опираются на консольные вылеты балконов, плит перекрытий или термовставки элементов каркаса, имеющие перфорацию, заполненную минераловатным утеплителем. Варианты конструктивного исполнения опорных элементов – терморазрывов – представлены на рис. 1. На рис. 2 показано опирание наружной панели на плиту перекрытия, продолжением которой является балконная плита.

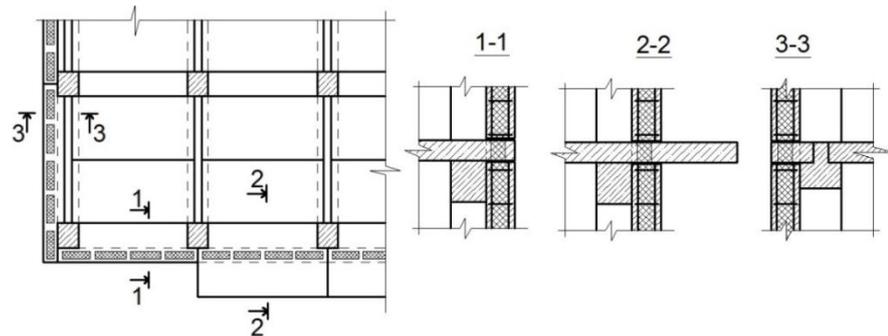


Рис. 1. Фрагмент плана типового этажа здания. Характерные сечения



Рис. 2. Наружная стеновая панель опирается на балконную плиту, которая является продолжением плиты перекрытия

На рис. 2 можно видеть, что торцы панелей могут не иметь минераловатных вкладышей, поскольку стыки панелей являются закрытыми. Данное конструктивное решение позволило существенно упростить технологию изготовления панелей и повысить приведенное сопротивление теплопередаче наружных панелей. На рис. 3 представлены фотографии устройства проемов панелей с минераловатными вкладышами.



Рис. 3. Устройство проемов панелей с минераловатными вкладышами:
 а – общий вид слоев трехслойной наружной стеновой панели; б – толщина внутреннего слоя равна 80 мм

Соединение верхних и нижних многослойных стеновых панелей через термовставки при возведении минимизирует «мостики холода». Помимо этого, в предложенной конструкции внутренний и наружный слои панелей опираются только на термовставку и одновременно являются несущими (навесными), что позволяет выполнить их из легкого бетона. В результате снижается собственная масса многослойных панелей, уменьшаются усилия в гибких связях, которые работают в данном случае преимущественно на монтажные и ветровые нагрузки.

Теплотехнические расчеты были выполнены по программе Tempreg 3D, позволяющей строить 3-мерные температурные поля и вычислять приведенное сопротивление теплопередаче для крупных трехмерных фрагментов наружных ограждающих конструкций совместно со стыками и примыкающими конструктивными элементами. Было выполнено трехмерное моделирование конструкций панелей вместе с узлами их опирания на термовставку. Результаты расчета приведены на рис. 4.

Другим вариантом опирания наружных панелей является опирание на выступающий к наружной поверхности фрагмент плиты перекрытия с перфорацией, заполненной эффективным утеплителем. В данном случае существенный эффект в распределении температурных полей создает связевой ригель, который сглаживает

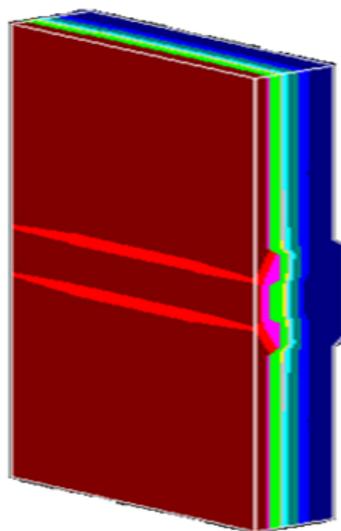


Рис. 4. Распределение температурных полей в узле сопряжения наружных панелей и опорной термовставки

температурное поле в месте сопряжения панелей. Расчеты, выполненные в Научно-исследовательском институте строительной физики (НИИСФ) в программно-вычислительном комплексе NASTRAN, позволили оценить влияние «мостиков холода» в узле сопряжения наружной стены с междуэтажным перекрытием и термовставкой и ригелем (рис. 5).

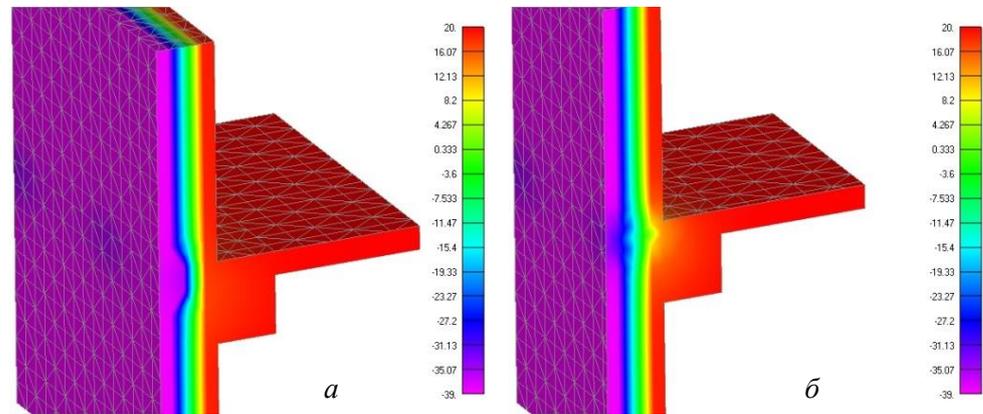


Рис. 5. Распределение температур в толще конструкции в сечении: *а* – по центру перфорационного отверстия, заполненного теплоизоляционным материалом, в узле сопряжения стеновой трехслойной панели с термовставкой междуэтажного перекрытия; *б* – по центру теплопроводного включения в узле сопряжения стеновой трехслойной панели с термовставкой междуэтажного перекрытия

Как видно из рис. 5, на стыках и по внутренней поверхности панелей температуры близки к температуре внутреннего воздуха, что исключает образование конденсата. При толщине трехслойной стены 400 мм и толщине утеплителя 240 мм данная конструкция обеспечивает расчетное значение сопротивления теплопередаче в глухой части стены $R = 4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ с учетом оконных откосов $R = 3,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Приведенное сопротивление теплопередаче по фасаду в целом составило $3,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Применение наружных стеновых панелей с увеличенной толщиной утеплителя и без конструктивных «мостиков холода» позволило обеспечить наивысший класс энергосбережения здания по системе КУПАСС – А++ по СП 50.13330 [8].

Теоретические исследования описанных наружных ограждающих конструкций показали их высокую теплотехническую эффективность. Работа трехслойных панелей как навесных позволила уменьшить толщины наружного и внутреннего слоев, выполненных из керамзитобетона, увеличить толщину эффективного утеплителя, а также уменьшить количество гибких связей и использовать более легкие композитные материалы. Опирающие стеновые панели на термовставку с эффективным утеплителем минимизирует количество «мостиков холода», а выполненные методом конечных элементов расчеты в разных программно-вычислительных комплексах показали, что оставшиеся «мостики холода» не оказывают влияния на распределение температур в толще конструкции. В результате приведенное сопротивление наружных

стен с учетом всех теплопроводных включений составило $3,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и обеспечило наивысший класс энергосбережения здания по системе КУПАСС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Родевич В.В., Матвеев А.В., Овчинников А.А.* Опыт экспериментальных исследований энергоэффективных трехслойных стеновых панелей с композитными гибкими связями слоев // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 7–10.
2. *Матвеев А.В., Овчинников А.А.* Разработка энергоэффективных крупнопанельных ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 19–23.
3. *Ярмаковский В.Н., Шапиро Г.И., Рогинский С.Л.* Энергоэффективные ограждающие конструкции зданий с гибкими композитными связями // Энергосбережение. 2002. № 2. С. 32–34.
4. *Умнякова Н.П., Егорова Т.С., Андрейцева К.С., Смирнов В.А., Лобанов В.А.* Новое конструктивное решение сопряжения наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 28–31.
5. *Овсянников С.Н., Максимов В.Б.* Конструктивное решение энерго-ресурсосберегающих наружных трехслойных панелей // Инвестирование и недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики: материалы Пятой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2015. С. 335–339.
6. *Овсянников С.Н., Самохвалов А.С., Максимов В.Б.* Энергосберегающая фасадная система для каркасно-панельного здания системы КУПАСС // Бюллетень строительной техники (БСТ). 2016. №6 (982). С. 48–49.
7. *Пат. № 029292.* Энергосберегающая наружная ограждающая стеновая конструкция каркасно-панельного здания / С.Н. Овсянников, В.Б. Максимов. 30.03.2018 г.

REFERENCES

1. *Rodevich V.V., Matveev A.V., Ovchinnikov A.A.* Opyt ehksperimental'nyh issledovaniy ehnergoehffektivnyh trekhslajnyh stenovyh panelej s kompozitnymi gibkimi svyazyami sloev [Experimental studies of energy-efficient three-layer wall panels with composite flexible bonding layers]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 6. Pp. 7–10. (rus)
2. *Matveev A.V., Ovchinnikov A.A.* Razrabotka ehnergoehffektivnyh krupnpanel'nyh ograzhdayushchih konstrukcij [Development of energy-efficient large-panel enclosing structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 10. Pp. 19–23. (rus)
3. *Yarmakovskij V.N., Shapiro G.I., Roginskij S.L., et al.* Energoehffektivnye ograzhdayushchie konstrukcii zdaniy s gibkimi kompozitnymi svyazyami [Energy efficient enclosing structures of buildings with flexible composite connections]. *Energoberezhenie*. 2002. No. 2. Pp. 32–34. (rus)
4. *Umnyakova N.P., Egorova T.S., Andrejceva K.S., Smirnov V.A., Lobanov V.A.* Novoe konstruktivnoe reshenie sopryazheniya naruzhnyh sten s monolitnymi mezhduehtazhnymi perekrytiyami i balkonnymi plitami [New constructive solution for interfacing external walls with monolithic interfloor ceilings and balcony slabs]. *Stroitel'nye materialy*. 2013. No. 6. Pp. 28–31. (rus)
5. *Ovsyannikov S.N., Maksimov V.B.* Konstruktivnoe reshenie ehnergo-resursosberegayushchih naruzhnyh trekhslajnyh panelej [Constructive solution of energy-saving outdoor three-layer panels]. *Investirovanie i nedvizhimost' kak material'nyj bazis modernizacii i innovacionnogo razvitiya ehkonomiki. Materialy pyatoy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (Proc. 5th Int. Sci. Conf. 'Investments, Construction, Real Estate as a Material Basis for Economy Modernization and Innovation')*. Tomsk: TSUAB, 2015. Pp. 335–339. (rus)
6. *Ovsyannikov S.N., Samohvalov A.S., Maksimov V.B.* Energoberegayushchaya fasadnaya sistema dlya karkasno-panel'nogo zdaniya sistemy KUPASS [Energy-saving facade system for universal prefabricated antiseismic building system]. *Byulleten' stroitel'noj tekhniki*. 2016. No. 6 (982) Pp. 48–49. (rus)

7. *Ovsyannikov S.N., Maksimov V.B.* Energoberegayushchaya naruzhnaya ograzhdayushchaya stenovaya konstrukciya karkasno-panel'nogo zdaniya [Energy-saving external enclosing wall system for frame-panel building]. Patent Russ. Fed. N 029292. 2018. (rus)

Сведения об авторах

Овсянников Сергей Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Ovssn@tsuab.ru

Максимов Валерий Борисович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, Maximov.Valeriy@gmail.com

Authors Details

Sergei N. Ovsyannikov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Ovssn@tsuab.ru

Valerii B. Maksimov, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Maximov.Valeriy@gmail.com