

УДК 692.231.2

## НАРУЖНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ СТЕНЫ С НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКой В УСЛОВИЯХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

Федюк Р.С., Тимохин А.М., Муталибов З.А.

Учебный военный центр Дальневосточного федерального университета

Приведены результаты проведенных в 2010-2014 гг. исследований наружных монолитных железобетонных стеновых конструкций с применением несъемной опалубки из пенополистирола. Выявлены границы применения данных конструкций. Проведено усовершенствование конструктивных решений.

**Ключевые слова:** стены, монолит, железобетон, энергоэффективность, пенополистирол, опалубка.

**Постановка проблемы.** Актуальность работы обусловлена необходимостью научной проработки вопроса исследований теплотехнических и эксплуатационных свойств монолитных железобетонных стен с применением несъемной опалубки из пенополистирола (ППС) с учетом условий эксплуатации, их влажностного режима в многолетнем цикле и стойкости к знакопеременным температурно-влажностным воздействиям.

Президент России В.В. Путин в 2013 г. в послании Федеральному Собранию заявил: «Сегодня жилищная политика вновь должна стать одним из решающих факторов демографического развития. Новые технологии позволяют строить быстро, качественно, относительно недорого... Подъем Сибири и Дальнего Востока – национальные приоритеты на всё столетие.».

Начиная с 90-х гг. XX века в нашей стране возводятся малоэтажные здания с использованием несъемной опалубки из вспененного пенополистирола. Несмотря на ряд преимуществ, декларируемых в рекламных буклетах, данная технология была разработана для природно-климатических условий Западной Европы. В то же время весьма разнообразные климатические условия регионов РФ, вызывают необходимость исследования применимости данных конструкций к конкретным региональным природно-климатическим условиям строительства.

В работе особое внимание уделено комплексному исследованию теплотехнических и эксплуатационных свойств данной конструктивной системы, а также совершенствованию конструктивного решения несъемной опалубки и стеновых ограждений с ее применением. Разработано конструктивное решение стен в контексте реализации «президентской» программы строительства доступного социального жилья.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Среди исследователей ППС в качестве теплоизоляционного и конструктивного материала следует отметить В.Л. Векслера [1], В.А. Воробьева [2], Р.А. Андрианова [2-3], А.Г. Зайцева [4], В.А. Павлова [5], J. Scofield (США) [6], I. Lambot, C. Davis [7], K. Daniels (все-Германия) [8], P. Colbeck (Канада) [9].

Начиная с 60-х годов XX века (Австрия) началось изготовление несъемной опалубки из пенополистирола в виде блоков, с последующим монтажом на строительной площадке и заполне-

нием товарным бетоном. Были разработаны несколько разновидностей домостроительных технологий с применением несъемной опалубки из ППС: «Renova-Termodom» (Германия), «Изодом» (Россия) и др. Условно и для краткости в дальнейшем все данные технологии будем именовать «Изодом».

Несмотря на применение данной системы в отечественном строительстве, следует отметить, что использование данной строительной конструкции в должной мере не изучено и, соответственно, не обосновано применение для различных природно-климатических условий РФ. Отсутствуют исследования теплозащитных качеств наружных стеновых железобетонных ограждений с применением опалубки из пенополистирола, исследования влажностного режима конструкций. В связи с развитием индустрии производства полимеров, недостаточно имеющихся данных по долговечности различных марок конструкционного пенополистирола. Перечисленные выше конструкции научно не обоснованы и требуют исследования и усовершенствования.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** В ходе проведенного анализа современного состояния строительства зданий с применением несъемной опалубки из ППС, выявлено, что, несмотря на многочисленные рекламные заявления, данная технология имеет ряд недостатков: недолговечность утеплителя; недостаточная устойчивость и несущая способность; необходимость защиты ППС от атмосферных воздействий (и в то же время, сложность отделки по пенополистиролу); не рекомендованный контакт ППС с помещением; сложность сварки арматуры; сложность закрепления гвоздей (шурупов) в ППС. И именно эти особенности системы ограничивают широкое применение этой системы в реальной практике России, в том числе и юга ДВ. Тем не менее ряд зданий уже построены в городах юга ДВ. Это значит, что сложилась благоприятная обстановка для научного исследования этой системы, чтобы научно обоснованно определить границы применения этой системы.

**Цель статьи.** Цель – определение границ и конструктивных особенностей применения наружных железобетонных стеновых ограждений с несъемной опалубкой из пенополистирола в климатических условиях юга Дальнего Востока (в дальнейшем – ДВ).

Результаты определения коэффициентов теплопроводности пенопластов

№ п/п	Марка пенополистирола	Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии $\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> °С	Приращение коэффициента теплопроводности (на 1% увеличения влажности по массе), $\Delta\lambda$ , Вт/м <sup>2</sup> °С
1	ППС (ООО «Новый Изодом»)	25,2	0,027	0,0015
2	ППС (ООО «Изодом»)	27,5	0,029	0,0016
3	ППС (ООО «СтройПрофиГрупп»)	26,3	0,030	0,0015
4	ППС (Торговый дом «Евростройкомплект»)	35,5	0,032	0,0016
5	ЭППС (Производственно-строительная компания «Неомир»)	40,3	0,034	0,0015

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ опыта применения монолитных стеновых ограждений с применением несъемной опалубки.

2. Экспериментально исследовать теплозащитные свойства фрагментов монолитных ограждений «Изодом» в климатической камере.

3. В натуральных условиях исследовать температурно-влажностный режим жилых зданий, построенных по технологии «Изодом». Провести тепловизионные обследования стеновых ограждений зданий.

4. Экспериментально исследовать влажностные свойства различных видов пенополистирола (сорбция, паропроницаемость, водопоглощение).

5. Экспериментально исследовать в годовом цикле кинетику влажностного режима монолитных стен в процессе возведения, а также в различные периоды от начала эксплуатации зданий в условиях юга Дальнего Востока до установления равновесной влажности.

6. Экспериментально исследовать стойкость фрагментов монолитных ограждений «Изодом» с отделкой из штукатурки к циклическим знакопеременным температурно-влажностным воздействиям и применить термографический метод к исследованию скорости деструкционных процессов.

7. Разработать усовершенствованное конструктивное решение опалубки с применением ППС и на базе нее конструкции стенового ограждения.

8. Определить границы применения конструкций в условиях юга ДВ.

**Изложение основного материала.** В ходе исследования были определены особенности климата юга ДВ, влияющие на стеновые ограждения: большое количество солнечной радиации, поступающей в зимний период за счет малой облачности; неблагоприятное сочетание низких температур с сильными ветрами зимой; неблагоприятное сочетание осадков с ветром летом («косые дожди»).

Исходя из этого определяется акцент экспериментальных исследований теплозащитных качеств наружных стеновых железобетонных ограждений с применением опалубки из пенополистирола во взаимодействии с комплексом климатических воздействий.

Результаты определения коэффициентов теплопроводности различных видов ППС, применяемых для несъемной опалубки, приведены в табл. 1.

В качестве гипотезы исследования было принято применение экструзионного пенополистирола (ЭППС) для стеновой опалубки (до настоящего времени не применялся).

Увлажнение на 1% повышает коэффициент теплопроводности на 4%. При увлажнении до 4% коэффициент теплопроводности пенополистирола резко возрастает, а затем изменяется незначительно (рис. 1).

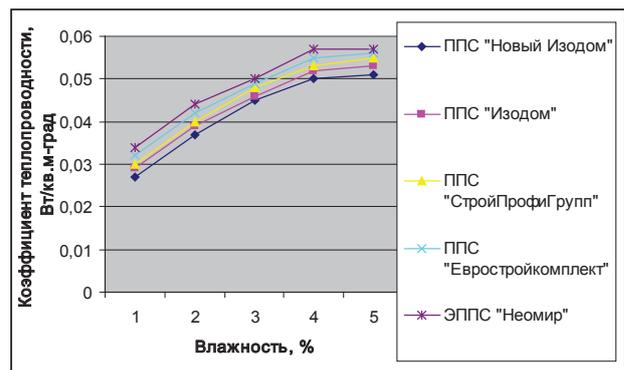


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности пенополистирола от влажности

Для решения задач исследований, помимо лабораторных испытаний, были проведены испытания образцов в климатической камере. Испытывались две стеновые конструкции: из блоков МСО-27 (наружный слой ППС-75мм, внутренний слой ППС-50 мм, железобетон-145 мм) и из фундаментных блоков (наружный слой ЭППС-50 мм, внутренний слой ЭППС-50 мм, железобетон -180 мм).

Были получены температурные поля при шести перепадах температур (табл. 2).

Таблиця 2

Температурные поля фрагмента стеновой конструкции № 1

Номер опыта	$t_{в}$ , °С	$t_{н}$ , °С	$\Delta t$ , °С	$q^{\circ}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$R_{0}^{\circ}$ , м <sup>2</sup> °С/Вт
1	19,3	0,9	18,4	4,2	4,381
2	18,2	-5,6	23,8	5,4	4,407
3	16,5	-8,3	24,8	5,7	4,351
4	13,2	-18,9	32,1	7,3	4,397
5	17,0	-29,3	46,3	10,6	4,368
6	18,1	-28,9	47,0	10,7	4,393

Аналогичным образом были получены температурные поля фрагмента стеновой конструкции № 2. Из таблицы следует, что сопротивление теплопередаче по глади колеблется в незначительном диапазоне. Это подтверждает достоинство наружного расположения теплоизоляции.

Установлено, что в климатических условиях Владивостока и Уссурийска и использование конструкционного пенополистирола в качестве опалубки (и соответственно теплоизоляционных слоев), позволяет обеспечить нормативную теплозащиту за счет утепления ж/б слоя с двух сторон слоями пенополистирола – 7 см (внешний слой) и 5 см (внутренний слой).

Далее проведены экспериментальные исследования влажностного режима конструкций. Были определены: сорбционная влажность при различных температурах, паропроницаемость и водопоглощение утеплителя.

Результаты исследования сорбционной влажности при температуре среды  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  представлены в табл. 3.

Также было проведено исследование зависимости сорбционной влажности от температуры. Сорбционная влажность строительного пенополистирола была определена эксикаторным методом при температурах  $-20, -10,4, +1,2, +20, +35^\circ\text{C}$ . Паровоздушные среды с различными заданными значениями относительной влажности воздуха создавались в эксикаторах при помощи водных растворов серной кислоты различной концентрации, наливаемых в эксикаторы. При определении сорбционной влажности при температурах  $-20, -10,4, +1,2^\circ\text{C}$  эксикаторы с растворами кислоты и образцами материалов были помещены в холодильные камеры, при определении этой характеристики при температуре  $+20^\circ\text{C}$  – в термостатированную комнату, при температуре  $+35^\circ\text{C}$  – в термостатированный шкаф.

Таблица 3  
Экспериментальные значения сорбционной влажности образцов ППС

Пенополистирол «Новый изодом»							
φ, %	40	50	60	70	80	90	97
w, %	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,7
Пенополистирол «СтройПрофи Групп»							
φ, %	40	50	60	70	80	90	97
w, %	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5
Экструзионный пенополистирол ООО «Неомир»							
φ, %	40	50	60	70	80	90	97
w, %	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,7	2,0

Из зависимостей равновесной сорбционной влажности строительного пенополистирола, представленных на рис. 4 следует, что равновесная сорбционная влажность увеличивается с уменьшением температуры.

Исследование паропроницаемости образцов пенополистирола четырех плотностей проводилось по методике ГОСТ 25898. Полученные результаты (табл. 4) свидетельствуют, что в целом по своей паропроницаемости конструкционный ППС плотностью 25-40 кг/м<sup>3</sup> аналогичен ряду

других строительных пенопластов и вполне удовлетворяет требованиям для эксплуатации в качестве наружного в климатических условиях ЮДВ.

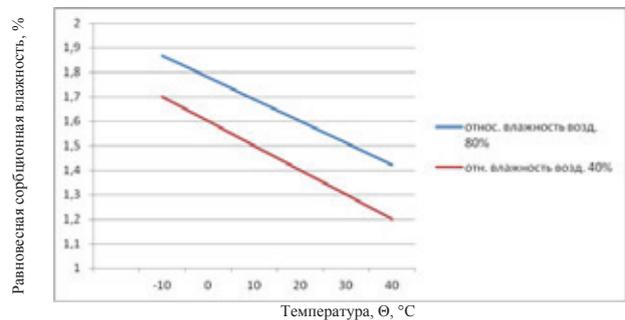


Рис. 4. Зависимость равновесной сорбционной влажности от температуры для ЭППС

Таблица 4  
Средние значения коэффициентов паропроницаемости образцов ППС

Наименование материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Значение коэффициента паропроницаемости, мг/(м ч Па)
Пенополистирол ООО «Изодем»	27,5	0,05
Пенополистирол ООО «Новый Изодем»	25,4	0,06
Пенополистирол ООО «СтройПрофи Групп»	26,3	0,05
ЭППС ООО «Неомир»	40,3	0,02

Для более точного определения теплотехнических параметров теплоизоляционных слоев стен «Изодем» были проведены экспериментальные определения водопоглощения по ГОСТ 12730 и ГОСТ 17177. При этом, образцы пенополистирола были вырезаны из наружного слоя стены «Изодем».

Кинетика водопоглощения пенополистирола за 28 суток представленная на рис. 5, показывает, что водопоглощение пенополистирола в большой степени зависит от продолжительности увлажнения.

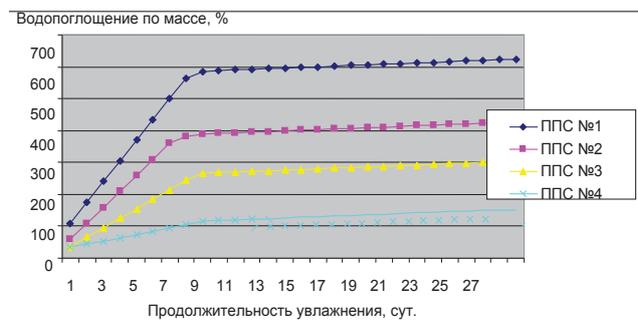


Рис. 5. Зависимость водопоглощения от продолжительности увлажнения пенополистирола: 1- «Новый изодом», 2 – «Изодем», 3 – «СтройПрофи Групп», 4 – «Неомир»

Результаты проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований были использованы при совершенствовании монолитных стен с применением несъемной опалубки из ППС.

В ходе устранения данных недостатков была разработана следующая конструкция (рис. 6).

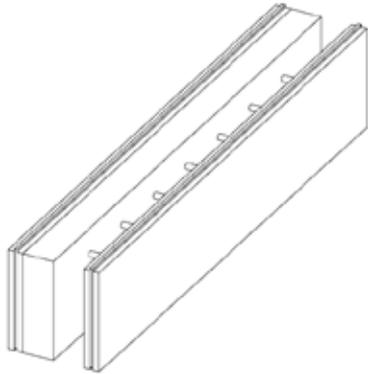


Рис. 6. Разработанный блок несъемной опалубки

Внутренний слой пенополистирола заменен на фибролитовую плиту (толщина 25 мм, плотность 350 кг/м<sup>3</sup>). Этой заменой решается сразу несколько задач: устраняем контакт ППС с помещением, соответственно решается и проблема внутренних отделочных и крепежных работ.

Цементный фибролит благодаря малому объему весу обладает высокими теплозащитными свойствами

Учитывая, что теплоизоляционные свойства фибролита все же ниже, чем у пенополистирола, наружный слой ППС увеличиваем до 120 мм.

Наружный слой пенополистирола закрываем железобетонным слоем толщиной 50 мм (на основе судостроительного бетона). Судостроительный бетон относится к высокопрочным бетонам, применяя такой бетон с усиленным армированием можно достигать высокой несущей способности в тонкостенных конструкциях. Следует отметить, что в России судостроительный бетон для защиты наружного слоя пенополистирола ранее не применялся. Имеется лишь опыт украинских строителей, применяющих модифицированный судостроительный песчаный бетон для панелей «Сога».

Данный железобетонный слой решает сразу несколько задач: повышается устойчивость конструкции: не только за счет этого несущего слоя, но и за счет разнесения двух железобетонных слоев на расстояние ширины утеплителя; судо-

строительный бетон герметично защищает ППС от воздействия атмосферных осадков, солнечных лучей; обеспечивается жесткость пенополистирольной опалубки при заливке бетонной смеси (нижние ряды уже не «плывут»); значительно упрощается отделка наружной стороны стены. Наружный железобетонный слой и внутренний фибролитовый слой соединены стальной арматурой, что упрощает процесс устройства арматурного каркаса стеновых конструкций. Заделка арматуры во внутренний фибролитовый слой осуществлена за счет металлической сетки (ячейки 20 x 20 мм), арматура приваривается к узлам сетки. Заделка арматуры в наружный слой из судостроительного бетона осуществлена за счет закладных деталей.

В качестве утеплителя применен ЭППС, что позволяет значительно повысить долговечность конструкции (согласно полученным результатам).

#### Выводы.

1. ГОСТ 15588-86, ГОСТ Р 53785-2010 и ГОСТ Р 53786-2010 предписывают использовать вспененный пенополистирол исключительно «в качестве среднего слоя строительной ограждающей конструкции». В диссертации доказана возможность применения конструкционного пенополистирола в наружных слоях стен малоэтажных зданий при условии требуемой влагонепроницаемости.

2. Установлено, что в климатических условиях прибрежной и континентальной части юга Дальнего Востока использование пенополистирола в качестве опалубки (и, соответственно, теплоизоляционных слоев), позволяет обеспечить нормативную теплозащиту за счет утепления железобетонного слоя с двух сторон слоями пенополистирола – 7,0 см (внешний слой) и 5,0 см (внутренний слой). Данную конструкцию можно заменить на однослойное размещение пенополистирола толщиной 12 см.

3. Экспериментальные исследования теплофизических свойств пенополистирола (плотностью 25-40 кг/м<sup>3</sup>) позволяют признать наилучшим вариантом экструзионный пенополистирол плотностью 40 кг/м<sup>3</sup> для применения в качестве несъемной опалубки.

4. Разработана опалубка для стен с применением ЭППС. На данную опалубку подана заявка на оформление патента на изобретение. Несмотря на относительно высокую стоимость, несъемная опалубка из ЭППС обеспечивает больший срок эксплуатации, чем выпускающаяся в настоящее время опалубка.

#### Список литературы:

1. Векслер В.Л. Производство полистирольного пенопласта ПС-Б и его применение в крупнопанельном строительстве. М.: Стройиздат, 1963. 37 с.
2. Воробьев В.А., Андрианов Р.А. Полимерные теплоизоляционные материалы. М.: Стройиздат, 1972. 162 с.
3. Андрианов Р. А. Новые марки пенополистирола. Промышленность строительных материалов Москвы. Выпуск № 11, —М., «Главмоспромстройматериалы», 1962
4. Зайцев А.Г. Эксплуатационная долговечность полимерных строительных материалов в сборном домостроении. М.: Стройиздат, 1972. 84 с.
5. Павлов В.А. Пенополистирол. М., Химия, 1973. 240 с.
6. Scofield J. 1st Year Energy Analysis for Oberlin College, s Adam Joseph Lewis Center. NESEA Building Conference, 2001.

7. Lambot I., Davis C. Commerzbank Frankfurt. Prototype for an Ecological High-Rise. Birkhauser, 1997.
8. Daniels K. The Technology of Ecological Building. Birkhauser, 1997.
9. Colbeck P. Building retrofit saves 51% of district heating consumption. CADDET, 1999.

**Fedyuk R.S., Timokhin A.M., Mutalibov Z.A.**

Military training center of the Far Eastern Federal University

## **EXTERIOR CONCRETE WALL PERMANENT FORMWORK IN THE SOUTH OF RUSSIAN FAR EAST**

### **Summary**

The results carried out in the 2010-2014 research outer monolithic concrete wall structures using permanent formwork of polystyrene foam. Identified limits of application data structures. Held improvement constructive solutions.

**Key words:** wall, stone, concrete, energy efficiency, expanded polystyrene formwork.