

УДК 678.5:699.86(571.56)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ И ОГРАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

Слободчиков Е.Г., Рожин В.Н., Местников А.Е.

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: egor-sakha@mail.ru, barcelon@mail.ru, mestnikovae@mail.ru

Настоящая статья посвящена изучению энергоэффективности малоэтажных зданий с применением новых многослойных конструкций стеновых изделий и ограждений в климатических условиях Республики Саха (Якутия). Комплексная оценка энергоэффективности опытных зданий произведена с использованием расчетно-аналитического, расчетно-экспериментального и натуральных приборных методов. Наибольшую энергоэффективность показали каркасные здания с теплоизоляционным пенобетоном в сочетании с плитами из пенополистирола в деревянном и каменном вариантах за счет монолитности стеновых ограждений. Следует отметить, что наиболее приемлемым способом индивидуального домостроения в северных условиях стало производство и применение пенобетонных блоков марки D800 с термовкладышем из пенополистирола. Установлено, что удельный расход топлива (газа) на отопление по сравнению с деревянными домами без теплоизоляции для каркасных зданий из монолитного пенобетона меньше в 1,46–1,9 раза, для дома из пенобетонных блоков марки D800 с термовкладышем из пенополистирола – в 1,8 раза.

Ключевые слова: экстремально холодный климат, индивидуальное домостроение, многослойные стены, пенобетон неавтоклавный, эффективная теплоизоляция, комплексная оценка, энергоэффективность, приведенное сопротивление теплопередаче

BORED LOW-BURIED PILES FOR FEW-STORIED CONSTRUCTIONS IN YAKUTIA

Slobodchikov E.G., Rozhin V.N., Mestnikov A.E.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education
«North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov», Yakutsk,
e-mail: egor-sakha@mail.ru, barcelon@mail.ru, mestnikovae@mail.ru

The present article is devoted to studying of energy efficiency of low buildings with application of new laminated construction of wall products and thermal envelope in climatic conditions of the Republic of Sakha (Yakutia). The complex estimate of energy efficiency of pilot buildings is made with use specified and analytical, specified and experimental and full-scale test methods. The greatest energy efficiency was shown by frame buildings with thermal insulation cellular concrete in combination with plates from expanded polystyrene in wooden and masonry options due to solidity of building envelope. It should be noted that the most acceptable way of individual housing construction in northern conditions production and use of cellular concrete blocks of the D800 brand with a thermobush from expanded polystyrene became. It is established that specific fuel consumption (gas) on heating in comparison with wooden houses without thermal insulation for frame buildings from monolithic cellular concrete is 1,46–1,9 times less, for the house from cellular concrete blocks of the D800 brand with a thermobush from expanded polystyrene – by 1,8 times.

Keywords: extremely cold climate, frame buildings, laminated construction, cellular concrete not autoclave, efficiency thermal insulation, integrated assessment, energy efficiency, given heat-transfer resistance

Термин «энергоэффективность» введен СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и уточнен в их актуализированной редакции свода правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Нормы предусматривают такие показатели энергоэффективности зданий, как приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, удельные теплозащитные характеристики и удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий общей площадью более 50 м². Таким образом, индивидуальные дома, в основном площадью 56–150 м², подпадают под требования новых норм, кроме зданий отапливаемых периодически (менее трех дней в неделю). Экономическое обоснование при принятии решения об энергосберегающем

мероприятии, в частности о повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий, в настоящее время является обязательным [1]. Однако, как известно, для зданий, построенных индивидуальными застройщиками, никто не проверяет и не требует уровень тепловой защиты.

Цель и методика исследования. Основной целью работы является проведение комплексной оценки энергоэффективности новых конструкций стеновых ограждений с применением неавтоклавного пенобетона [2] и индивидуальных жилых зданий на их основе в условиях экстремально холодного климата Республики Саха (Якутия). Оценка произведена с использованием расчетно-аналитического, расчетно-экспериментального и натуральных приборных ме-

тодов согласно СП 50.13330.2012, ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций», ГОСТ 26629-85 «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» [3].

Расчетно-аналитическая оценка энергоэффективности стеновых конструкций с использованием неавтоклавного пенобетона. Одним из основных нормируемых теплотехнических показателей ограждающей конструкции по СНиП 23-02-2003 является приведенное сопротивление теплопередаче. По новым нормам приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{np} наружных ограждающих конструкций должно составлять для характерных поселений РС(Я), ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт: в г. Якутске – 5,13, в «полное холода» – Оймяконе – 5,80, в Арктике – пос. Тикси – 5,79, «на Юге» – г. Ленске – 4,59. Однако на практике данный нормируемый показатель обеспечить достаточно сложно, в условиях экстремально холодного климата Якутии следует «утепляться», например, в 1,4–1,8 раза лучше, чем в условиях г. Москвы [4]. Теплотехнические расчеты проведены для реализованных и запатентованных конструкций стеновых ограждений. Результаты вычислительного эксперимента приведены в табл. 1.

Основные результаты вычислительного эксперимента заключаются в следующем:

- максимальная энергоэффективность, наиболее близкая к проектным (табл. 1) и нормируемым значениям сопротивления теплопередаче для г. Якутска, $R_{req} = 5,13$ Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$), достигается только в двух видах ограждающих конструкций – многослойных стенах с монолитным пенобетоном D300 (конструкции 1 и 2 из табл. 1);

- в рамках потребительского подхода нами обосновано и поддержано проектными организациями Якутии применение однослойных стен толщиной 0,6 м из пенобетонных блоков D600 для строительства общественных зданий (например, здания строительного рынка г. Якутска) и трехслойных пенобетонных блоков с термовкладышем из пенополистирола 5 в строительстве жилых и общественных зданий;

- эффективность стенового ограждения, например, для стеновой конструкции 5 повышается на 8,5% ($R_0^r = 2,95$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт) по сравнению с расчетным (2,72 ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт);

- при замене кладочного раствора на клей эффективность стенового ограждения повышается на 26,8%, поэтому рекомендуется производить кладку стеновых пенобетонных блоков на полимерцементный раствор.

Стеновые испытания стеновых конструкций из пенобетонных блоков в климатической камере. Цель испытания заключается в определении сопротивления теплопередаче фрагмента стены из исследуемых трехслойных пенобетонных блоков с термовкладышем из пенополистирола. Испытание проводилось в экспериментальной климатической камере ЭКК-15 Испытательной лаборатории «Якутск-Эксперт» СВФУ в соответствии с методикой, приведенной в ГОСТ 26254-84. Размер кладки в проеме камеры составил 1500×1200 мм. Кладку блоков производили на основе полимерцементного клея толщиной вертикальных и горизонтальных швов не более 2–4 мм. Подготовленный фрагмент кладки для исключения погрешности измерений неучтенных тепловых потерь изолировали по периметру кусочками пенополистирола и монтажной пеной. На «теплой» стороне фрагмента стены были прикреплены аттестованные тепломеры – измерители тепловых потоков, с обеих сторон для измерения температур на поверхности закреплены термодатчики. Измерения температур и тепловых потоков производили в характерных зонах, представляющих расчетные участки.

На основании тепловизионных съемок поверхности фрагмента стены были выделены 3 характерные зоны:

1. Зона 1 – в середине блока (зона максимального термического сопротивления).
2. Зона 2 – стык в зоне пересечения горизонтального и вертикального швов (зона минимального термического сопротивления).
3. Зона 3 – горизонтальный стык двух блоков (зона пониженного термического сопротивления).

За период испытаний средние температуры теплового и холодного отсеков климатической камеры составили $t_b = 21,3^\circ C$ и $t_n = -38,9^\circ C$. Экспериментальные значения температур и плотностей тепловых потоков в характерных участках фрагмента кладки стены из трехслойных пенобетонных блоков «Композит» в климатической камере «ЭКК-15» по ГОСТ 26254 и вычисленные значения термического сопротивления участков и приведенного сопротивления теплопередаче стены приведены в табл. 2.

Установлено, что значение $R_0^{np} = 4,53$ ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт, полученное экспериментально-расчетным способом, не согласуется с теоретическим значением приведенного сопротивления теплопередаче стены из трехслойных пенобетонных блоков на клею – 3,74 ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт, что подтверждает высокую эффективность фрагмента стены из испытуемых стеновых блоков в теплотехническом отношении. Следует отметить, что результаты теоретических и экспериментально-рас-

четных методов являются приближенными параметрами, поэтому они применяются для обоснования выбранных конструкций ограждений из различных материалов в совокупности с действующими нормативами.

Тепловизионное обследование наружных стеновых ограждений опытных зданий согласно ГОСТ 26629-85 проводилось с целью выявления дефектных участков ограждающих конструкций и сверхнормативных тепловых потерь, инфильтрации холодного воздуха.

Тепловизионному обследованию была подвергнута вся площадь наружной и внутренней поверхности ограждающих конструкций опытных зданий с соответствующей записью термографических файлов. В начале обследования проводится обзорная съемка наружных стен с целью выявления характерных участков для детальной съемки. На рисунке приведены обзорные термограммы опытных зданий.

Обзорные термограммы показывают высокую эффективность (низкие теплопотери) обследованных стеновых конструкций. Однако выявлена повышенная температура

стены мансардного помещения (рисунок, б) и в области откоса входной двери (рисунок, в). Температура откосов окон всех зданий не превышает нормативного значения.

Детальная термограмма – термограмма поверхности фрагмента ограждающей конструкции, получаемая для оценки показателей качества его теплоизоляции, позволяет получать наглядную картину, наиболее ярко и полно отражающую состояние отдельных элементов ограждающих конструкций (рисунок, г, д, е). Например, в конструкции стены (рисунок, а) наблюдается участок неполного заполнения пенобетоном (на уровне высоты 3-й стойки слева, 2 желтых пятна). В конструкции стены (рисунок, б) видны толстые слои кладочного раствора. На стене (рисунок, в) обнаружено светлое пятно, показывающее наличие сквозной щели в ней. Таким образом, метод тепловизионного контроля не только позволяет определять дефектные участки теплоизоляции и энергоэффективность ограждающих конструкций, но и подобрать технологические приемы устройства и способы устранения дефектов теплоизоляции при последующем ремонте и новом строительстве.

Таблица 1

Расчетное приведенное сопротивление теплопередаче стеновых ограждений

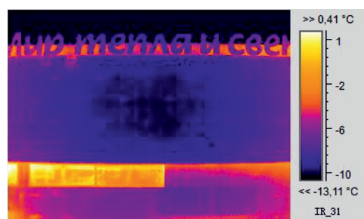
№ п/п	Конструкция стеновых ограждений	Расчетное приведенное сопротивление, Вт/(м ² ·°C)	
		в условиях эксплуатации А по СП 23-102-2004	в реальных условиях эксплуатации
1	Многослойная стена с теплоизоляционным пенобетоном D300 деревянно-каркасного здания толщиной 270 мм (патент РФ № 119769)	3,26	4,08
2	Многослойная стена с теплоизоляционным пенобетоном D300 монолитно-каркасного здания толщиной 470 мм (патент РФ № 2361985)	4,01	4,45
3	Кладка стен толщиной 0,6 м из пенобетонных блоков D600 размерами 400×400×200 мм (патент РФ № 2160726)	2,33	2,845/3,254**
4	Кладка стен толщиной 0,4 м из пенобетонных блоков D800 размерами 400×400×600 мм с сердечником из пенополистирола размерами 100×100×600 мм (патент РФ № 84035)	2,532*	–
5	Кладка стен толщиной 0,4 м из трехслойных пенобетонных блоков D800 с термовкладышем из пенополистирола размерами слоев 125×150×125 мм (патент РФ № 108774)	2,72	2,95/3,74**

Примечание. * – расчет произведен с применением программы Shaddan [5], ** – перед чертой – кладка на цементно-песчаный раствор, за чертой – кладка на клей.

Таблица 2

Измеренные и расчетные параметры испытуемого фрагмента стены в климатической камере ЭКК-15 по ГОСТ 26254

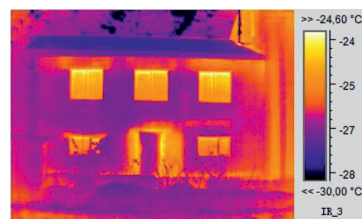
Зона замера	$F_p, \text{ м}^2$	$\tau_b, \text{ }^\circ\text{C}$	$\tau_n, \text{ }^\circ\text{C}$	$q_{\text{ф}}, \text{ Вт/м}^2$	R_{oi} (м ² ×°C)/Вт	$R_{\text{усл}}$ (м ² ×°C)/Вт	$R_0^{\text{нп}}$ (м ² ×°C)/Вт
1	0,08	20,0	– 36,3	12,59	4,47	4,63	4,53
2	0,0008	18,7	– 34,2	23,62	2,24	2,4	
3	0,0016	19,0	– 34,5	20,27	2,64	2,8	



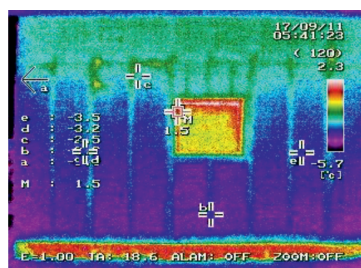
а) кладка стен из пеноблоков D300



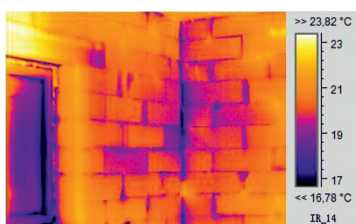
б) Здание из 3-слойных пеноблоков



в) монолитно-каркасное здание



г) обследование качества укладки пенобетона D300



Обследование качества кладки стеновых пеноблоков:
д – вид изнутри, е – наружная часть стены



Обзорная и детальная термограммы опытных зданий

Оценка энергоэффективности индивидуальных зданий по расходу топлива. При проведении оценки энергоэффективности малоэтажного индивидуального жилья рассмотрены следующие жилые дома:

- 1) в с. Аппаны Намского района РС (Я), выполненное по технологии из табл. 1, п. 1;
- 2) в г. Якутске РС (Я), выполненное по технологии из табл. 1, п. 2;
- 3) в г. Якутске РС (Я), выполненное по технологии из табл. 1, п. 5.

Также при оценке для сравнения рассмотрены дома из деревянного бруса толщиной 180 мм с утеплением из минераловатных плит марки П-100, толщиной 150 мм и без теплоизоляционного материала. Расчет расхода природного газа на отопление в жилых зданиях произведен на основании платежей за пользование природным газом и данным газовых счетчиков на узле ввода. Анализ данных полученных за 2013–2016 гг. показал, что средний расход газа в сутки в домах находится в пределах: из теплоизоляционного пенобетона D300 деревянно-каркасного здания 17,44–26,3 м³, из теплоизоляционного пенобетона D300 монолитно-каркасного здания 42,4–48,7 м³, из кладки пенобетонных блоков D800 с термовкладышем из пенополистирола 30,4–33,5 м³, из деревянного бруса с утеплением из минераловатных плит 16,63–25,09 м³, из деревянного бруса 37,79–42,06 м³. При этом площади рассмотренных зданий варьируются от 96 м² до 250 м².

Удельный расход газа на отопление 1 м³ жилого дома из деревянного бруса за рассматриваемый период (ноябрь – январь) составил 10,58 м³. В деревянном доме с теплоизоляцией расход газа снизился на 33,1% и составил 7,95 м³. Для каркасных домов с использованием пенобетона марок D300 эти показатели варьируются в параметрах 5,43–7,24 м³. Установлено, что расход газа на отопление по сравнению с деревянными домами без теплоизоляции меньше: для каркасных зданий из монолитного пенобетона в 1,46–1,9 раза, для дома из пенобетонных блоков марки D800 с термовкладышем соответственно 1,8 раза.

Наибольшее потребление газа наблюдается в январе месяце, что обусловлено понижением наружной температуры воздуха и высокой инфильтрацией наружного воздуха.

Заключение

Проведена комплексная оценка эффективности производства и применения неавтоклавного пенобетона из местного сырья в малоэтажном строительстве для условий экстремально холодного климата на примере строительства и эксплуатации экспериментальных объектов:

– деревянно-каркасные индивидуальные дома с заполнением стен из теплоизоляционного пенобетона D300 в сельских поселениях Аппаны и Окоемовка (общая площадь – 100–150 м², стоимость 1 м² – 25–30 тыс. руб. (в ценах 2012 г.), уровень

энергетической эффективности здания не превышает $30,0 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\times^\circ\text{C}\times\text{сут})$ согласно СП 50.13330.2012);

– двухэтажное монолитно-каркасное здание с заполнением стен из теплоизоляционного пенобетона D300 в г. Якутске (фактическое приведенное сопротивление теплопередаче стен составило $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$);

– двухэтажное здание из стеновых пеноблоков «Композит» в г. Якутске (общая площадь – 200 м^2 , стоимость 1 м^2 – 45 тыс. руб. (в ценах 2014 г.), уровень энергетической эффективности здания не превышает $30,0 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\times^\circ\text{C}\times\text{сут})$ согласно СП 50.13330.2012);

– трехэтажное монолитно-каркасное здание строительного рынка г. Якутска с заполнением стен толщиной в 0,6 м из пенобетонных блоков D600 (фактическое приведенное сопротивление теплопередаче стен составило $3,30 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$);

– установлено, что удельный расход топлива (газа) на отопление каркасных зданий из монолитного пенобетона по сравнению с деревянными домами без теплоизоляции меньше в 1,46–1,9 раза, для дома из пенобе-

тонных блоков марки D800 с термовкладышем из пенополистирола – в 1,8 раза;

– обосновано, что наиболее приемлемым способом индивидуального домостроения в северных условиях является производство и применение пенобетонных блоков марки D800 с термовкладышем из пенополистирола.

Список литературы

1. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. – 2010. – № 3. – С. 8–16.
2. Местников А.Е. Технология возведения энергоэффективных стеновых конструкций жилых зданий на Севере / А.Е. Местников, А.Д. Егорова, Т.А. Корнилов, А.Г. Кардашевский // Строительные материалы. – 2009. – № 4. – С. 118–120.
3. Алоян Р.М. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения / Р.М. Алоян, С.В. Федосов, Т.А. Опарина; ФГБОУ ВО «Ивановский гос. политехн. ун-т». – Иваново: ПрессСто, 2016. – 240 с.
4. Корнилов Т.А., Кычкин И.Р. Разработка наружных ограждающих конструкций с применением автоклавного пенобетона для каркасно-монолитных зданий г. Якутска // Строительные материалы. – 2016. – № 6. – С. 15–20.
5. Данилов Н.Д., Семенов О.С., Винокуров С.П. О методике определения теплозащитных показателей наружных стен зданий // Жилищное строительство. – 2001. – № 8. – С. 18–20.