



Семейный дом с почти нулевым энергопотреблением



Марис Циммерманис (*Māris Cimmermanis*), инженер

Фото из альбома автора

На прошлогоднем конкурсе самых энергоэффективных зданий лучшим в группе семейных домов был признан дом в Упесциемсе. Дом специально построен так, чтобы быть приемлемым как для человека так и для окружающей среды.

Сначала нам вполне хватало квартиры в хрущевке площадью 42 квадратных метра. В ожидании пополнения в семье мы приобрели квартиру в два раза больше в новом проекте, однако там тоже пришлось мириться с ограничениями на территории общего пользования. В конце концов было решено стать максимально независимыми во всех аспектах, включая энергоресурсы, хозяйственное обслуживание, шум окружающей среды и т. п.

Месторасположение и функциональность

Купив участок в Упесциемсе, что в Гаркалнском крае, мы начали планировать строительство дома. Проектирование завершилось в 2014 году, когда требования о здании с почти нулевым потреблением энергии еще не существовало, а нормативными документами устанавливался расход тепловой энергии $\leq 80 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Поэтому дом проектировался не как здание с почти нулевым электропотреблением, но исходя из тенденций нормативов Евросоюза и Латвии было понятно, что нужно строить энергоэффективный дом.

Особое внимание уделялось месторасположению дома и функциональности помещений. Было важно, чтобы и архитектор учитывал особенности окружающей среды. Архитектор Робертс Риекстиньш (*Roberts Riekstiņš*) создал эскизный проект с учетом сторон юга и севера, мест произрастания деревьев и лесонасаждений, направления лучей солнца и преобладающих ветров. Учитывались природные особенности, например, береза летом дает тень, а зимой через ветви проходит солнечная энергия.

Тщательно продуманное решение – расположить большие окна на южной стороне, где дом получает больше тепловой энергии от солнца, чем теряет через оконные конструкции, теплопроницаемость которых примерно в пять раз выше, чем у наружных стен.

Стройматериалы и инженерные системы

Следующим шагом стала разработка технического проекта с конкретными материалами, узлами и решениями для технических систем. Для строительства мы выбрали комплексную строительную систему из газобетона Vaugos. Это удобное решение, потому что элементы ограждающих конструкций – блоки, железобетонные перекрытия, панели перекрытия – делают здание однородным.

Мировой опыт доказывает, что автоклавный газобетон – это эффективный и экологически чистый материал, в состав которого входят песок, цемент, известь и гипс. Соответствующая технология обработки позволяет производить строительные материалы геометрически точной формы до $\pm 1 \text{ мм}$, энергоэффективные с коэффициентом теплопроводности U до $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, классом огнестойкости А1, сопротивлением прочности на сжатие до 7 МПа. Частный дом из автоклавного газобетона можно собрать за две-три недели.

Наружные стены зданий из газобетона представляют собой простые и эффективные однослойные конструкции; технология строительства и соединения тоже проста – используются спецификации и стандартные элементы узлов Vaugos. Строительные работы с достаточно высоким качеством может выполнить строитель средней квалификации или даже достаточно опытный заказчик.

Здания из газобетона обладают дополнительными свойствами: тепловой инерцией, хорошей тепло- и звукоизоляцией, низкой воздухопроницаемостью. Благодаря этому в помещениях создается приятный микроклимат.

Быстрая и точная сборка

Поскольку уровень грунтовых вод на конкретном участке низкий – ниже 10 м, для фундамента были выбраны керамзитобетонные блоки прочностью 5 МПа. Блоки укладываются на подошву фундамента, особое внимание уделяется последнему ряду, который точно выравнивается кладочным раствором для получения ровного основания стены. Фундамент обрабатывается гидроизоляционным материалом, утепляется и спереди устанавливается бетонный пояс из блоков шириной 90 мм, увеличивающий долговечность конструкции и опирание стеновых блоков шириной 500 мм.

Для наружных стен выбраны однослойные блоки Ваугос Ecoterm+ 500 с коэффициентом теплопроводности $U = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, включая отделку. Важно понимать: от того, насколько ровно уложен первый ряд блоков, зависит то, насколько ровными будут стены. Темп сборки блоков Ваугос довольно высок: бригада из трех рабочих может собрать в день 12–15 м³. Над окнами и дверьми монтируются сборные армированные перемычки Ваугос, самая длинная – для ворот гаража (6000 мм). Это однородные газобетонные перемычки, в которые в процессе производства закладывается несущий арматурный каркас.

После укладки завершающего ряда блоков на первом этаже на герметизирующую ленту из каменную ваты устанавливаются армированные панели перекрытия Ваугос. Их заказывают у производителя по стандартным размерам с шагом 200 мм. Монтаж армированных панелей перекрытия был выполнен быстро и качественно: меньше чем за один день была покрыта вся площадь первого этажа – 200 м². Панели соединены монолитным поясом по периметру. Аналогично строится второй этаж.

В конструкции крыши использованы панели перекрытия Ваугос $h = 250 \text{ мм}$, утепленные слоем каменной ваты толщиной 200 мм, $U = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. На панели установлена деревянная конструкция кровли.

Важность величины паропроницаемости

Очень важно уделить особое внимание паропроницаемости материалов для отделки стен, так как от этого зависит долговечность фасада. Показатель паропроницаемости должен быть максимально приближен к параметрам стеновых блоков, для газобетона Ваугос коэффициент паропроницаемости $\mu = 4\text{--}6$. Для внутренних стен рекомендуется использовать цементно-известковую или гипсовую штукатурку, для наружных стен – силиконовую штукатурку с соответствующей паропроницаемостью.

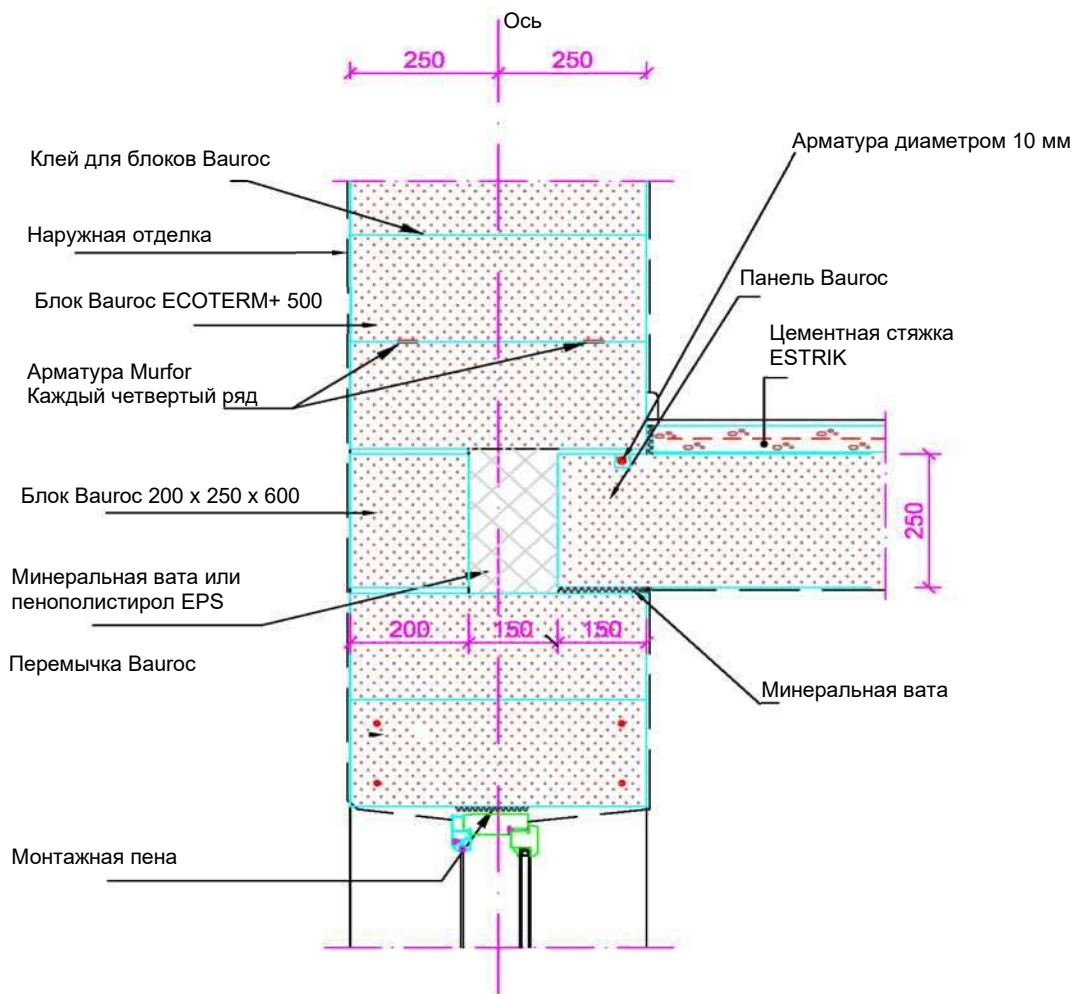
Баланс стоимости

Источниками теплопотерь в частном доме (40–50 %) являются ограждающие конструкции: цоколь, полы, наружные стены, кровельные покрытия, тепловые мосты, окна, двери и гаражные ворота. Остальные 50–60 % теплопотерь зависят от ориентации здания относительно сторон горизонта, воздухопроницаемости, тепловой инерции наружных стен и системы отопления, коэффициента эффективности вентиляции и освещения. Баланс расходов на обеспечение теплопроницаемости ограждающих конструкций и эффективности инженерного оборудования должен быть экономически обоснован. Нет смысла максимально уменьшать значение коэффициента теплопроводности (U), например, до $0,10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, дополнительно укладывая слишком толстый слой теплоизоляции на все ограждающие конструкции, и выбирать менее мощные или менее эффективные системы отопления и вентиляции.

В строительной физике зависимость между тепловыми потерями здания и теплопроводностью ограждающих конструкций не является линейной. Если коэффициент теплопроводности наружных стен меньше $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, нет экономически целесообразного эффекта от утепления наружных стен.

Коэффициент теплопроводности ограждающих конструкций $U, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$:

- полы и стены, контактирующие с грунтом, – 0,16;
- наружные стены – 0,15;
- крыши и перекрытия, контактирующие с наружным воздухом, – 0,14;
- входные двери и ворота – 1,2 и 1,4;
- окна и террасные двери – 0,75.



Узел соединения панелей перекрытия и наружных стен.

Экологически чистое отопление

С самого начала мы сосредоточились на выборе экологически чистой системы отопления. Важно, чтобы система работала с использованием возобновляемых источников энергии, потому что только так можно достичь почти нулевого энергопотребления здания. В будущем на крыше планируется разместить солнечные батареи для выработки электроэнергии.

Это позволит домохозяйству вырабатывать электричество для полного покрытия собственных нужд, а благодаря нескольким дополнительным панелям можно будет заряжать электромобиль.

Для отопления и нагрева воды был выбран геотермальный тепловой насос F1255 шведского производителя NIBE, прошедший испытания в северном климате. У него высокий коэффициент полезного действия КПД: COP 3,18–5,06. В расчете принято среднее значение COP – 4,12.

Порой мы забываем об одной из самых важных для человека вещей – воздухообмене в помещениях. Согласно санитарным нормам, воздухообмен в помещениях должен происходить трижды в час, поэтому важно выбрать эффективную систему рекуперации воздуха, которая обеспечит контролируемую подачу в помещения свежего теплого воздуха.



Монтаж армированных перемычек.

Дом в Упесциемсе оборудован системой рекуперации воздуха SystemAir, которая в особенно холодную или жаркую погоду обеспечивает подачу свежего воздуха путем пассивного нагрева или охлаждения и использования постоянной температуры грунта около 5 °С через подземный канал длиной 30 м.

Энергосертификат здания

В расчетах сертифицированного энергоаудитора Сандриса Лиепиньша (*Sandris Liepiņš*) используется методика, указанная в правилах Кабинета министров МК № 348, используя программу ISO13790 *monthly demand*.

Согласно МК № 383, строение классифицируется как здание с почти нулевым потреблением энергии, если оно соответствует определенным требованиям. Показатель энергоэффективности отопления должен соответствовать классу А, не должен превышать 40 кВт·ч/м² в год, при этом обеспечивая соответствие микроклимата в помещениях требованиям нормативных актов в сфере строительства, гигиены и охраны труда. Суммарный расход первичной энергии на отопление и горячее водоснабжение, механическую вентиляцию, охлаждение, освещение не должен превышать 95 кВт·ч/м² в год.

Согласно энергетическому сертификату, годовой расход тепловой энергии, необходимый для отопления, составляет 47,16 кВт·ч/м² и соответствует показателям класса В, а общая оценка потребления первичной энергии

Оценка энергопотребления:

- на отопление – 47,16 кВт·ч/м² в год;
- на подогрев горячей воды – 16,66 кВт·ч/м² в год;
- для механической вентиляции – 2,83 кВт·ч/м² в год;
- на освещение – 6,85 кВт·ч/м² в год;
- дополнительно – 3,77 кВт·ч/м² в год;
- общее потребление: 77,27 кВт·ч/м² в год;
- оценка потребления первичной энергии: 91,51 кВт·ч/м² в год.

91,51 кВт·ч/м² в год соответствует параметрам почти нулевого потреблению энергии, или классу А. Для того чтобы расход тепловой энергии на отопление соответствовал требованиям класса А, что составляет 40 кВт·ч/м² в год, можно уменьшить площадь окон на 10–15 %. Однако для нас как жильцов дома такой вариант неприемлем, к тому же у здания и без того высокие показатели энергоэффективности.

Достоверность метода расчета

Согласно требованиям Европейского союза, метод расчета или компьютерная программа должны пройти валидацию.



Монтаж панелей перекрытия.

Согласно правилам МК № 348, метод расчета достоверен, если разница меньше 10 % и не больше $10 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год.

В течение трех лет – с 2018 по 2020 год – для дома в Упесциемсе фиксировалось количество электроэнергии на отопление и горячее водоснабжение, а также общее количество электроэнергии.

Среднее значение расхода электроэнергии на отопление и горячее водоснабжение составило $15,62 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Суммарное значение тепловой энергии, требуемое в энергетическом сертификате на отопление и горячую воду, составляет $63,82 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год.

Значение коэффициента перехода от электроэнергии в тепловую энергию зависит от КПД системы отопления, а именно о COP теплового насоса F1255 производства NIBE. Заявленное производителем значение COP составляет 3,18–5,06. При среднем значении COP, равном 4,12, тепловой насос производил тепловую энергию в объеме $15,62 \times 4,12 = 64,35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Указанная в энергетическом сертификате расчетная величина тепловой энергии отличается от фактического значения на 0,82 %, или $0,53 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год, и соответствует установленному в правилах МК № 348.

Впечатляюще низкие расходы

Эксплуатационные расходы дома площадью 278 м^2 на отопление и горячее водоснабжение в течение трех лет составляли в среднем 51,26 евро в месяц, или всего 0,18 евро за 1 м^2 в месяц. Среднегодовые расходы – $2,21 \text{ евро}/\text{м}^2$.

Столь низкое потребление электроэнергии достигнуто не только за счет правильного выбора ограждающих конструкций и инженерных систем. Благодаря тепловой инерции газобетона температура в доме даже в жаркие летние дни (без охлаждения) держится в пределах $+22\dots+23 \text{ }^\circ\text{C}$.

Энергоэффективное здание должно иметь как можно более низкую воздухопроницаемость. Измеренная воздухопроницаемость дома в Упесциемсе при перепаде давления 50 Па фиксированная $q_{50} = 0,452 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$. Значение, указанное в строительных нормах, в три раза выше: $q_{50} \leq 1,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$. Рекомендуемое значение для т.н. пассивных домов $q_{50} \leq 0,6 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$.

Для сравнения в квартире с отапливаемой площадью $71,5 \text{ м}^2$ в многоквартирном доме, построенном в 2007 году, с наружными стенами из керамических блоков толщиной 440 мм и дополнительной изоляцией 50 мм расходы на отопление и горячее водоснабжение составляют в среднем $8,93 \text{ евро}/\text{м}^2$ в год. Это в четыре раза больше показателей дома в Упесциемсе. Таким образом, самостоятельно производить тепло в частном доме выгоднее, чем покупать его у поставщика тепловой энергии по сети централизованного теплоснабжения.