

Энергоактивный коттедж: сезонный аккумулятор тепла

Страшко В. В.

НИИ энергетики Днепропетровского национального университета,
г. Днепропетровск

Приведены характеристики энергоактивного коттеджа и показаны этапы строительства сезонного аккумулятора тепла, принципы определения его конструктивных параметров. Статья сопровождается фотографиями.

В 2007 г. в пригороде г. Днепропетровска началось строительство энергоактивного коттеджа. Конструкция коттеджа была разработана на основе системы быстровозводимых зданий фирмы «Astron» (Люксембург). Коттедж представляет собой двухэтажное сооружение с двухсветной гостиной, продольная ось которого ориентирована в направлении север-юг. Он имеет пологую двускатную разноуровневую крышу и шестиугольную в плане стеклянную беседку площадью 30 м² (рисунок 1). Кубатура коттеджа составляет 1442 м³, площадь застройки (по полу) – 284 м², отапливаемая площадь – 412 м². Расчётные теплопотери коттеджа составили 19,2 кВт и расход тепла на вентиляцию – 7,3 кВт, что составляет 46,6 Вт/м² потребления тепла по отапливаемой площади, или 13,3 Вт/м³ по кубатуре отопления. Рассчитанная максимальная холодильная мощность составляет 42,3 кВт, что в значительной степени обусловлено стеклянной крышей гостиной. Расчётные годовые теплопотери коттеджа через ограждающие конструкции составляют 47,4 Вт*ч (170,6 ГДж). Вентиляционные теплопотери – 30 мВт*ч (108 ГДж). Годовые теплотраты по ГВС для 4-х человек составляют 2,9 мВт*ч (10,5 ГДж). Суммарная расчётная годовая потребность коттеджа в тепле составляет 80,3 мВт*ч (289 ГДж).

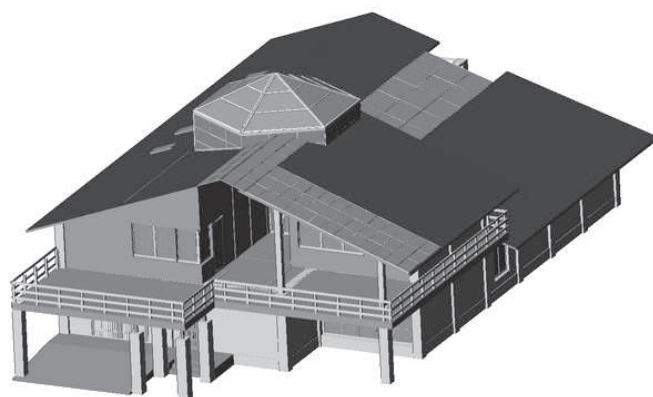


Рисунок 1. Первоначальный проект коттеджа

Первоначально предполагалось оборудовать коттедж газовым котлом и кондиционерами. Расчётное годовое потребление газа при к.п.д. газового котла 0,9 составит 8832 м^3 (без учёта газовой плиты). Годовой расход электроэнергии по кондиционированию – $16,8 \text{ мВт} \cdot \text{ч}$ (при холодильном коэффициенте 2). Однако, учитывая, что цена на газ в обозримой перспективе имеет тенденцию только к росту, а кондиционеры отдают максимальную холодильную мощность с повышенным потреблением электроэнергии (холодильный коэффициент снижается до 1,2-1,5), было принято решение о доработке проекта в части получения в конечном варианте *энергоактивного коттеджа*. Общие пространственно-планировочные решения конструкции должны были остаться неизменными.

Энергоактивный коттедж будет оборудован комплексной системой энергообеспечения (ГВС, отопление, вентиляция и кондиционирование) на основе энергоактивной крыши, теплового насоса, сезонного аккумулятора тепла, вентиляционного рекуператора тепла, и использующей возобновляемые источники энергии – солнечное излучение, тепло воздуха, в том числе выбросного, тепло грунта и грунтовых вод. Дополнительно коттедж оборудован многофункциональным камином. Данная система энергообеспечения является развитием и продолжением системы энергообеспечения реконструированного здания рядной застройки, расположенного в центре Львова [1]. Одним из основных элементов системы является фрагмент энергоактивной крыши, выполненный из гелиопрофиля ТЕПС [2, 3] фирмы ООО «Инсолар ЮСВ» (г.Днепропетровск) площадью 24 м^2 .

Энергоактивная крыша занимает часть крыши коттеджа и состоит из 3-х отдельных фрагментов. Два фрагмента, на восточном и западном скатах, выполнены из гелиопрофиля ТЕПС площадью $35-45$ и $45-55 \text{ м}^2$ соответственно. В данных фрагментах реализованы контуры жидкостного и воздушного теплоносителей. Они также используются как источники низкопотенциального тепла для теплового насоса. Ещё один фрагмент

энергоактивной крыши площадью 70-80 м² будет расположен на восточном скате, и выполнен по технологии «солнечная крыша» [4]. Он работает по контуру воздушного теплоносителя. Среднегодовой расчётный приход солнечного излучения на фрагменты энергоактивной крыши, рассчитанный по [5], составляет 36 мВт*ч (131 ГДж), 46 мВт*ч (164 ГДж) и 73 мВт*ч (264 ГДж) соответственно. Приход солнечного излучения на все три фрагмента энергоактивной крыши составляет 155 мВт*ч (559 ГДж).

Ввиду того, что основное потребление тепла коттеджем происходит в холодный период года, в частности зимой, а выработка «солнечного» тепла энергоактивной крышей происходит в основном летом, то возникает необходимость в его сезонном аккумулировании. Для прямого использования запасённого тепла для нужд отопления и ГВС наиболее подходят резервуарные водяные сезонные тепловые аккумуляторы (САТ). Учитывая необходимую энергоёмкость такого САТ, его строительство для данного коттеджа видится проблематичным. Благодаря наличию в системе теплового насоса, некоторой альтернативой водяного САТ могла бы стать значительно меньшие по объёму системы водяного САТ с замораживанием, но они в недостаточной степени отработаны. Учитывая вышеизложенное, в качестве САТ применён грунтовый аккумулятор тепла, зонированный по плоскости и глубине. С целью снижения теплопотерь и с учётом глубины грунтовых вод (12-14 м), САТ размещён под коттеджем и теплоизолирован от его конструкций. САТ играет роль основного низкопотенциального источника тепла для теплового насоса в холодный период года, и обеспечивает повышение его термического коэффициента в 1,5-2 раза. Зарядка и разрядка САТ осуществляется с помощью системы горизонтальных и вертикальных теплообменников, выполненных из пластиковых труб, и разделённых на отдельные участки. Система горизонтальных теплообменников представляет собой пять 100-метровых петель полиэтиленовых труб Ø40x2 мм, закреплённых на арматурной пространственной решётке и замоноличенных в слое бетона толщиной 200 мм (рисунок 2).

Образованная таким образом т.н. *фундаментная плита-теплообменник (ФПТ)* состоит из двух конструктивно не связанных и теплоизолированных слоев пенопласта толщиной 100 мм фрагментов. Оба фрагмента разбиты на 5 приблизительно равных по площади участков (3 и 2). ФПТ расположена на глубине 2,4 м, по уровню опорных пят фундаментов колон, и теплоизолирована от них слоем пенопласта толщиной 50 мм. Площадь ФПТ составляет 242 м², объём – 48 м³, расчётная масса – 110 т. Расчётная энергоёмкость ФПТ – 92 МДж/°С. Система вертикальных теплообменников представляет собой 20 коаксиальных пластиковых теплообменников глубиной по 8 м, расположенных по 4-е шт. на каждом из 5-и участков ФПТ (рисунок 3).



Рисунок 2. Монтаж системи горизонтальних теплообмінників



Рисунок 3. Інсталляція вертикальних теплообмінників

С учётом глубины расположения ФПТ суммарная глубина скважин составляет 10 м. Наружный диаметр вертикальных теплообменников 50 мм, 16 шт. изготовлены из полипропилена, 4-е – из полиэтилена. Каждые из 4-х вертикальных теплообменников (на каждом из участков ФПТ) соединены последовательно и установлены в теплопункт. Обвязка располагается по поверхности ФПТ и теплоизолируется трубной теплоизоляцией. В зависимости от режима работы, система коммутации позволяет создавать несколько вариантов соединения 5-и участков горизонтального теплообменника и 5-и групп вертикальных теплообменников. Объём грунта (песчаный) под коттеджем, система вертикальных теплообменников и нижняя поверхность ФПТ образуют *нижнюю зону САТ (НЗСАТ)*.

Условно-расчётный объём НЗСАТ составляет 2180 м³, расчётная масса – 3700 т. Расчётная энергоёмкость НЗСАТ – 4740 МДж/°С. Строительный объём, заключённый между ФПТ, полом первого этажа и

железобетонными стенами котлована заполнен песчано-чернозёмной смесью, и образует *верхнюю зону САТ (ВЗСАТ)*. Процесс зарядки-разрядки ВЗСАТ осуществляется посредством ФПТ. Стены и колонны конструкции коттеджа теплоизолированы пенопластом толщиной 50 мм, пол первого этажа – минераловатными плитами под бетонную стяжку толщиной 200 мм (рисунок 4).



Рисунок 4. Засыпка верхней зоны сезонного аккумулятора тепла

Расчётный объём ВЗСАТ составляет 484 м³, расчётная масса – 840 т. Расчётная энергоёмкость ВЗСАТ составляет 920 МДж/°С. Теплоаккумулирующий объём ВЗСАТ разделён, в соответствии с ФПТ, на два фрагмента. Фрагменты теплоизолированы друг от друга пенопластовой стенкой толщиной 100 мм. На уровне ВЗСАТ оборудовано помещение нижнего этажа тепlopункта. В нём располагается наполовину замоноличенная в грунт ёмкость промежуточного водяного аккумулятора объёмом 7 м³ и пассивным усилением стратификации воды (рисунок 5).



Рисунок 5. Промежуточный тепловой аккумулятор

Суммарные характеристики САТ следующие: условно-расчётный объём – 2712 м³, расчётная масса – 4650 т, расчётная энергоёмкость – 5752 МДж/°С. Концептуальный подход, определяющий структуру и параметры САТ, заключается в температурном зонировании его отдельных объёмов в зависимости от режима работы системы энергообеспечения. Приведём основные положения данного подхода:

1. Фрагмент ФПТ (и соответствующий фрагмент ВЗСАТ), включающий в себя 3 участка плоского теплообменника, имеет бóльший температурный уровень. Система зарядки-разрядки предусматривает поддержание максимальной температуры в срединном по площади участке. При совместной работе с тепловым насосом обеспечивается работа последнего с максимальным термическим коэффициентом. Зарядка фрагмента осуществляется «солнечным теплом», утилизированном энергоактивной крышей.
2. Фрагмент ФПТ (и соответствующий фрагмент ВЗСАТ), включающий в себя 2 участка плоского теплообменника, и система вертикального теплообменника имеет меньший температурный уровень. При совместной работе с тепловым насосом в режиме кондиционирования обеспечивается работа последнего с максимальным значением холодильного коэффициента. В этом случае тепло теплового насоса сбрасывается при наиболее низкой температуре.
3. Система вертикального теплообменника используется для предподогрева приточного воздуха системы вентиляции в холодное время года, и предохлаждения - в тёплый период года.

Вышеприведенные положения являются основными, но реальная работа системы будет проходить в соответствии с алгоритмами, обеспечивающими максимальную экономическую и энергетическую эффективность эксплуатации коттеджа. С фотографиями строительства САТ можно ознакомиться на сайте <http://foto.online.ua/solar-at>.

В качестве основного энергетического агрегата комплексной системы энергообеспечения предполагается использование теплового насоса ТН30-2-1 «жидкость-жидкость», с приводом электрической мощностью 10 кВт. В режиме (W5/W55) он генерирует тепловую мощность 27 кВт, т.е. обеспечивает термический коэффициент 2,7. Как один из возможных, рассматривается использование двух тепловых насосов половинной электрической мощности. Теплопроизводительность теплового насоса, как и холодопроизводительность, напрямую зависит от разности температур низко- и высокопотенциальных уровней (источников) тепла. Чем эта разность меньше, тем больше значение термического, как и холодильного, коэффициентов. Расчёт значений термического коэффициента проводился в соответствии с [6]. Расчётная температура низкопотенциального источника тепла принималась равной 20°C. В соответствии с вышеизложенным, были приняты следующие конструктивно-эксплуатационные решения:

1. Применяется низкотемпературная (+35°C) комбинированная система отопления – центральный фанкойл (отопление, кондиционирование) в составе приточно-вытяжной системы вентиляции, вынесенные фанкойлы в отдельных помещениях, напольное водяное отопление в отдельных помещениях.
2. В составе приточно-вытяжной системы вентиляции используется воздушный рекуператор тепла (коэффициент рекуперации 0,8).
3. Приточный воздух в систему вентиляции поступает по цилиндрическому воздухопроводу длиной 50м, проложенному на глубине 1,5-2,0 м вне конструкции коттеджа. Данная система позволяет осуществлять предварительный подогрев приточного воздуха в холодный период года, и его охлаждение – в тёплый период.
4. Для уменьшения подсоса наружного воздуха в помещения коттеджа при зажжённом камине, воздух в зону его горения подаётся извне по подземному воздухопроводу.

Оценка эксплуатационных параметров энергоактивного коттеджа

Эксплуатационные затраты коттеджа при стандартной системе энергообеспечения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Эксплуатационные затраты

Цена газа для населения, \$/тыс.м ³	50	75	100	125	150	200
Затраты на отопление, вентиляцию и ГВС, грн*	2230	3345	4460	5575	6691	8921
Затраты на кондиционирование, грн**	4101	4101	4101	4101	4101	4101
Суммарные эксплуатацион- ные затраты, грн	6331	7446	8561	9676	10791	13021

* - при курсе 5,05 грн/\$,

** - здесь и далее при стоимости электроэнергии 0,2436 грн/кВт*ч.

Эксплуатационные затраты энергоактивного коттеджа:

- годовые теплотраты на ГВС (ориентировочно,
без учёта 4-х месяцев тёплого периода) 1,9 мВт*ч (6,9 ГДж);
- вентиляционные теплотери с учётом
рекуперации..... 6,0 мВт*ч (21,6 ГДж);
- годовые затраты на кондиционирование с учётом рекуперации
и холодильном коэффициенте 3..... 2,2 мВт*ч.

Годовое потребление электроэнергии тепловым
насосом для нужд отопления, вентиляции и
кондиционирования 9,3 мВт*ч.

Стоимость электроэнергии, потреблённой тепловым
насосом в течении года 2274 грн.

Стоимость электроэнергии с учётом
«ночного тарифа» (0,4) 910 грн.

Снижение эксплуатационных затрат энергоактивного коттеджа при-
ведено в таблице 2.

Таблица 2. Динамика снижения эксплуатационных затрат

Цена газа для населения, \$/тыс.м ³	50	75	100	125	150	200
Снижение затрат на эксплуатацию энергоактивно- го коттеджа, разы	2,78	3,27	3,76	4,26	4,75	5,73
Снижение затрат с учётом «ночного тарифа», разы	6,96	8,19	9,41	10,64	11,86	14,32

Изложенные в данной статье материалы указывают на целесообразность внедрения в условиях Украины технологий энергоактивного здания.

Основанные на использовании комплексных систем энергообеспечения на основе энергоактивных ограждающих конструкций (крыши, фасады), теплового насоса, сезонного аккумулятора тепла, вентиляционного рекуператора тепла, и использующих возобновляемые источники энергии – солнечное излучение, тепло воздуха, в том числе выбросного, тепло грунта и грунтовых вод, они позволят решать следующие вопросы:

1. Уменьшение потребления природного газа для нужд отопления и ГВС в структуре затрат ЖКХ. И как следствие этого, уменьшение зависимости от импортного газа с учётом роста на него мировых цен.
2. Увеличение доли электроэнергии в структуре затрат на отопление и ГВС, в том числе и с использованием «ночного тарифа».
3. Уменьшение, в разы, затрат конечного потребителя на ГВС, теплоснабжение, вентиляцию и кондиционирование.
4. Возможность реинвестирования части экономии эксплуатационных затрат зданий и сооружений различного назначения для финансирования программ по энергосбережению и развитию технологий возобновляемых источников энергии.

В заключение следует отметить, что эффективное внедрение энергоактивных зданий предопределяет повышение общей культуры энергопотребления, норм теплоизоляции и внедрение элементов системы «умный дом» в системы энергообеспечения объектов.

Перечень ссылок

1. **Ванькович Р., Денис О., Савук Р.** Комфорт від сонця – реальність у Львові// Економія. Екологія. Комфорт: Матеріали міжнар. наук.-прак. сем. (м. Львів, 22-23 лютого 2006 р.). – Львів, 2006. – С.7-8.
2. **Патент на винахід України, № 65474** від 15.09.2006, кл.МКІ F24J2/04, F2-4J2/24, F24J2/34 Сонячний колектор /Страшко В.В., Подлепич В.Ю., Безнощенко Д.В./
3. **Патент на изобретение России, № 2258874** от 20.08.2005, кл.МКИ F24J2/04, F24J2/24, F24J2/34 Солнечный коллектор /Страшко В.В., Подлепич В.Ю., Безнощенко Д.В.
4. **Заявка на винахід України, № а200612779** від 04.12.2006, кл.МКІ⁷ F24J 2/24 Сонячний дах /Страшко В.В.
5. **«ЭАОК – ГВС».** Программа расчёта теплопроизводительности энергоактивной ограждающей конструкции по нагреву воды для нужд горячего водоснабжения и использующей энергию солнечного излучения /© Страшко В.В. 2006-2008.

- 6. Розробка принципів побудови та схемних рішень теплоелектростанцій з комбінуванням відновлювальних джерел енергії:** Звіт про НДР (заключний), д/б №6-054-03// Дніпропетр. націон. ун-т; керівник В.О.Габринець, №0103U000571. – Дніпропетровськ, 2005. – 134 с.

Получено 25.03.08