

ізоліній свідчить про складний, просторовий характер розподілу приведених компонент напружено-деформованого стану. Напруження  $\sigma_s$  набуває найбільших додатних значень на протилежній боковій поверхні до поверхні прикладання навантаження і становить –  $\sigma_s = 1,2$  МПа. Цей результат дає змогу зробити висновок про зменшення впливу нецентральної сили порівнянно з центральною на інтенсивність додатного нормального напруження  $\sigma_s$ , оскільки для центрально навантаженого меніска силою в 100 Н найбільша величина напруження під точкою його прикладання становить  $\sigma_s = 6,1$  МПа [3].

Похибка збіжності чисельних результатів із граничними умовами не перевищила 4 %.

**Висновки.** Розв'язки практичних задач доводять ефективність застосування розробленої аналітично-чисельної методики до важливих практичних задач.

Розроблена методика може бути використана для розрахунку напружено-деформованого стану корпусів реакторів АЕС, доменних печей тощо.

Розроблена аналітично-чисельна методика розвинута також на задачі теплопровідності та термопружності осесиметричних сферичних тіл.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Верюжский Ю. В.** Численные методы потенциала в некоторых задачах прикладной механики / Ю. В. Верюжский. – К. : Вицашк, 1978. – 183 с.
2. **Кушнір Р. М.** Аналітично-чисельне розв'язування контактних задач термопружності для термочутливих тіл / Р. М. Кушнір, В. С. Попович, Г. Ю. Гарматій // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2001. – № 6. – С. 39 – 44.
3. **Мірошкіна І. В.** Аналітично-чисельна методика визначення напружено-деформованого стану товстих неоднорідних осесиметричних сферичних оболонок: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.17 / Мірошкіна Ірина Володимирівна. – К., 2005. – 168 с.
4. **Перельмутер А. В.** Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
5. **Чибіряков В. К.** Теорія товстих пластин та оболонок / В. К. Чибіряков, А. М. Смоляр. – Черкаси : ЧДТУ, 2002. – 160 с.
6. **Шимановский А. В.** Теория и расчет несущих элементов большепролетных пространственных конструкций / А. В. Шимановский, А. И. Оглобля. – К. : Сталь, 2002. – 369 с.

УДК 697.1

### ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ В СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ

*С. З. Полищук, д. т. н., проф., Л. А. Шамрицкая, ст.*

**Ключевые слова:** потенциал солнечной энергии, солнечные коллекторы, породный бункер, горячее водоснабжение, система отопления, моделирование

**Постановка проблемы.** Человек использует тепло солнца с незапамятных времён. Солнце – самый доступный и неисчерпаемый из всех источников энергии, которые природа дарит человеку. Возможности использования экологически чистой, повсеместно доступной возобновляемой солнечной энергии сегодня привлекают все большее внимание. Рациональным результатом такой политики является использование энергии солнца непосредственно коллекторами. Ведь использование солнечных коллекторов в существующих системах – это уже не будущее, а реальное настоящее. Учитывая, что цены на другие виды топлива и электроэнергию будут увеличиваться, установка системы солнечных коллекторов – это подлинные инвестиции в будущее.

**Анализ публикаций.** Вопросу использования различных типов коллекторов и анализу способов аккумуляции солнечной энергии посвящены работы [1 – 5]. В настоящее время солнечные коллекторы широко распространены и на территории Украины, а также имеют широкий спрос. Но всего полтора десятка лет назад украинские ученые в этой области только слышали об этой технологии. Впервые идея «тепловой трубы» была предложена Гоглером в

1942 году [4]. Но только в начале 60-х, после того как Гровер независимо от Гоглера вновь изобрел «тепловую трубу», ее замечательные свойства были по достоинству оценены, и появились серьезные исследования и разработки. Но все же оставался актуальным вопрос: возможно ли солнечные коллекторы использовать не только в странах с тропическим и субтропическим климатом, но и в более северных, да еще и попытаться использовать их круглогодично. В связи с этим в данной статье проведен анализ ранее выполненных исследований по этому вопросу. Одним из первых проектов был проект в Монмунске, графство Абердиншир, Шотландия. Объект исследования находился в заповедной территории, занятой сельскохозяйственными зданиями, которые имели интересный исторический архитектурный вид. Нужно было установить плоские солнечные коллекторы, которые должны были повторять форму крыши, а также гармонировать с крышей, соответственно, должны быть незаметными [1].

**Цель статьи** исследовать возможности использования солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения зданий в северных широтах.

**Основные материалы.** Предложенный участок и расположение комплекса, для которого проводились планировочные работы, представлен на рисунке 1 [2]. Комплекс состоит из 6 квартир, каждая площадью 64 м<sup>2</sup>, маленькой гостиной для посетителей, коммунальных и бытовых помещений. Дворовая часть ориентирована на юг, и хотя внутренние помещения идентичны, эти единицы ориентируются в различных направлениях, таким образом меняются их теплопотери.

Объект расположен на 57,13° с. ш., где обширный облачный покров этого шотландского участка, как ранее думали, помешает захватить полезную солнечную энергию для сохранения ее в коллекторах. Цель работы – доказать, что это представление неверно. В исследовании снабжение теплом и ГВС (горячее водоснабжение) обеспечивало каждую жилую единицу и было представлено солнечными коллекторами со вспомогательным эклектическим подогревом, работающим по необходимости. «Суперизолированные» помещения в нашем случае имели такую толщину изоляции: 300 мм – изоляция на перекрытие, 200 мм – изоляция на стены, 100 мм – изоляция пола, тройное застекление окон, кратность воздуха – 0,3, который учитывал уровень изоляции, но для жилых помещений эта кратность составила 0,84 изменения в час. Восстановление потерь тепла через вентиляцию не предпринималось, и при этом не использовался тепловой насос.

Моделирование предсказало, что при хорошем дизайне и требуемой суперизоляции, тепловые потери такого дома уменьшатся на 2/3, если бы он был построен по минимальным британским требованиям – это было бы большим достижением.

Также в проектировании было рассмотрено использование так называемого «породного бункера». Принцип таков: использовалось стальное основание, расположенное ниже уровня пола, что позволяло захватывать избыточную высокую температуру от коллектора, накапливать ее, а в случае необходимости использовать ее при недостатке тепла.

Важным критерием проекта было то, что здание и его компоненты должны быть настолько простыми, насколько возможно, и что любой солнечный коллектор может быть установлен плоско и вмонтирован в крышу. Участок в Монмунске находится в заповеднике, тем самым здание должно гармонично соответствовать архитектурному окружению, таким образом, использование панельных солнечных коллекторов обычного типа не должно препятствовать этому. Стандартный солнечный коллектор, как считали, не подходил под эти параметры. Как следствие был задуман новый тип солнечного коллектора. Прежде всего нужно было увеличить использование угла наклона солнечного излучения. Разработали такую лицевую часть солнечного коллектора, которая позволит большему количеству солнечного излучения эффективно поглощаться через покрытие под любым углом, попадать на любой соответствующий преобразователь или теплообменную среду, без высокой потери на отражение, которая обычно происходит под углом наклона. В теории это возможно достигнуть – оптически изменяя поверхность поглощения коллектора. Вследствие этого было предложено использовать оптически текстурированное покрытие уже запатентованного проекта, где коэффициент отражения покрытой поверхности намного меньше зависит от угла поворота от горизонта, нежели плоская поверхность. Такая поверхность также позволяет группам коллекторов быть в разном структурном и цветовом диапазоне. Таким образом, они могут быть сделаны в любой форме или размере, и могут облегчить такие задачи как потребность в строгой ориентации коллектора и зданий, плохой эстетики обычных групп

коллекторов и высокой стоимости модификации существующего дома. Сделанные похожими на обычное покрытие крыши, такие модули не поставили бы под угрозу традиционный стиль и форму здания. Моделирование проводилось на протяжении года по данным погодных условий Монмунска.

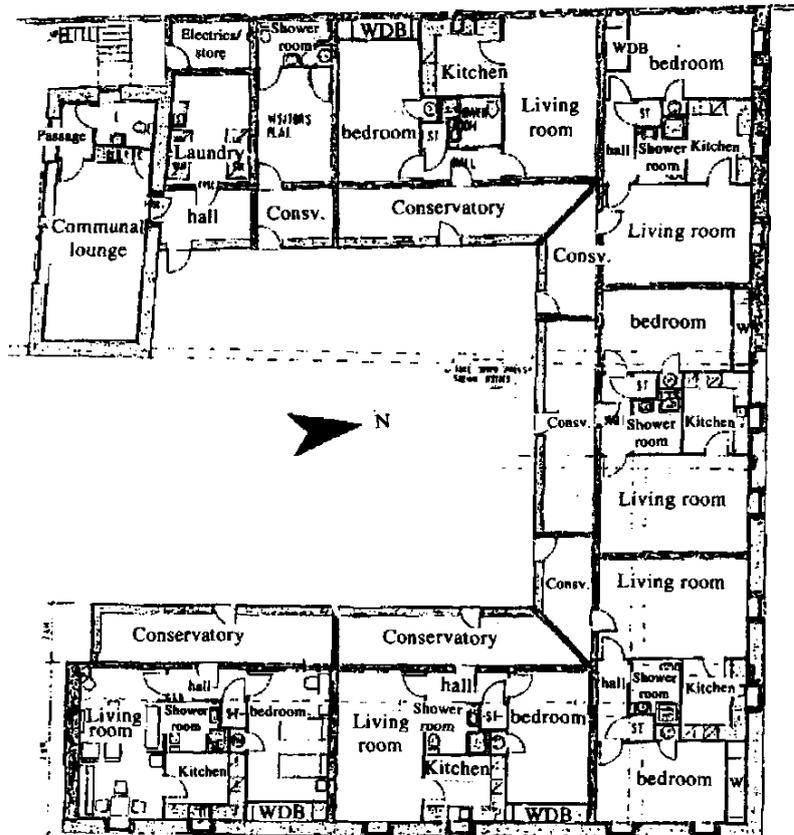


Рис. 1. Расположение комплекса под планировочные работы

Модель работает в следующем порядке. Каждый наклон крыши имеет плоские солнечные коллекторы, которые могут быть соединены или последовательно, или параллельно. Диспетчеры (контроллеры) и молниеотводы входят в любой коллектор, если его производимая температура слишком низка, чтобы внести дополнительную энергию в систему, то есть если температура оттока ниже, чем температура притока. Вентилятор повторно распространяет воздух, часть которого взята с улицы, по постоянной норме через модули коллектора и дом, к пороговым хранилищам (породный бункер). Если хранилище тепла слишком горячо, чтобы извлечь высокую температуру из потока воздуха, молниеотводы обходят этот породный бункер, и избыточное тепло выбрасывается. Если дом требует большого количества тепла, когда ни один из коллекторов не доступен (не может произвести это тепло), доступное аккумулированное тепло восстанавливается с воздушным потоком через породный бункер в дом через молниеотвод. Диспетчеры руководят операциями породного бункера. Годовыми моделированиями управляли так, чтобы определить количество вспомогательного (электрического) нагрева на конец года, требуемого для поддержки минимально указанной температуры для дома (18°C) и ГВС (50°C).

Моделирования показывают, что добавление солнечных коллекторов значительно уменьшает ежегодные отопительные нагрузки для помещений и на ГВС. Вспомогательные отопительные требования таковы:

для квартир с окнами, косвенно сориентированными на юг:

- стандартный дом, никакой солнечной поддержки – 10 961 кВтч,
- стандартный дом с солнечными коллекторами – 3 589 кВтч, соответственно сокращение на 67 %,
- стандартный дом с солнечными коллекторами является примерно тем же самым, как и суперизолированный дом без коллекторов. Таким образом:
- суперизолированный дом без коллекторов – 3 686 кВтч,

- стандартный дом с солнечными коллекторами – 3 589 кВтч.

Если мы добавляем солнечные коллекторы к суперизолированному дому, вспомогательные отопительные нагрузки уменьшаются приблизительно на 86 %. Таким образом:

- суперизолированный дом без коллекторов – 3 686 кВтч,

- стандартный дом с коллекторами – 519 кВтч.

Для дома с окнами прямо сориентированными на юг, результаты еще лучше:

- стандартный дом без коллекторов – 1 961 кВтч,

- стандартный дом с коллекторами – 1 949 кВтч, соответственно сокращение на 82 %,

- суперизолированный дом без коллекторов – 3 686 кВтч,

- стандартный дом с солнечным коллекторами – 71 кВтч, дальнейшее сокращение 98 %.

Как результат были сделаны выводы:

- породный бункер предоставляет незначительное экономическое преимущество.

- солнечные коллекторы, покрывающее только 50 % области крыши, достигают более высоких результатов, работая почти так же, как и целые крышные коллекторы. Результаты моделирования показывают, что мы должны склоняться к более простому проекту дома для рентабельности,

- работа системы существенно не зависела от массового расхода циркулирующего воздуха,

- работа такой системы может ежедневно обеспечить 100 л на ГВС температурой 50°C.

Таким образом, был сделан вывод, что при любых гибридных системах солнечной энергии жилой дом будет всегда обеспечен отоплением и ГВС, даже в условиях Абердиншира.

Сравнивая погодные условия Шотландии и Украины, мы видим, что:

- Шотландия обладает холодными погодными условиями, при этом климат тут достаточно мягкий. В январе температура в среднем +3°C, а в северных горах случаются снегопады. В июле температура около +15°C. В западной части региона количество осадков за год может достигать 3 810 мм, а в восточной части примерно 640 миллиметров.

- В Украине все немного иначе: средние температуры января колеблются от – 8°C на северо-востоке до +4 – 8°C на юге Крыма, июля – соответственно от +18 °C до +24°C. Осадков на северо-западе выпадает до 600 – 700 мм. в год на юго-востоке – до 300 мм. в Крымских горах – 1 000 – 1 200 мм. в Карпатах – до 1 600 мм. в основном – в осенне-зимний период.

На квадратный метр поверхности земли в Днепропетровском регионе приходится до 5 кВт солнечной энергии в летнее время и порядка 1,7 кВт в зимнее. Площадь одной панели солнечного коллектора составляет порядка 2 м<sup>2</sup>. Таким образом, получаем, что даже в зимний период одна панель солнечного коллектора при его КПД порядка 92 – 95 % даст около 3 кВт тепловой энергии. Система с двумя солнечными коллекторами вполне обеспечит горячей водой семью из 3 – 4 человек. Такая система обеспечит покрытие примерно 60 % годовой необходимости в энергии на горячее водоснабжение. В период с апреля по октябрь обеспечивается 100 % экономия энергоресурса (газ или электричество). Для обеспечения надежности работы такие системы снабжаются системами резервного подогрева воды от газа или электричества.

В результате обработки статистических метеорологических данных по поступлению солнечной радиации определены энергетические показатели поступления солнечной энергии и распределение энергетического потенциала солнечного излучения для каждой из областей Украины. Среднегодовое количество суммарной солнечной радиации, которая поступает на 1 м<sup>2</sup> поверхности, на территории Украины находится в пределах: от 1 070 кВт год/м<sup>2</sup> в северной ее части до 1 400 кВт год/м<sup>2</sup> и выше в АР Крым.

Потенциал солнечной энергии в Украине достаточно высок для широкого внедрения как теплоэнергетического, так и фотоэнергетического оборудования практически во всех областях. Срок эффективной эксплуатации гелиоэнергетического оборудования в южных областях Украины – 7 месяцев (с апреля по октябрь), в северных – 5 месяцев (с мая по сентябрь). Фотоэнергетическое оборудование может достаточно эффективно эксплуатироваться на протяжении всего года. В климатически-метеорологических условиях Украины для солнечного теплоснабжения эффективно применение плоских солнечных коллекторов, которые используют как прямую, так и рассеянную солнечную радиацию. Концентрирующие солнечные коллекторы могут быть достаточно эффективными только в южных регионах Украины.

Коллекторы поглощающие солнечное излучение для подогрева воды, необходимо устанавливать под определённым углом (измерение в градусах), который равен географической

широте региона. Так же можно комплектовать нагреватели в группы и устанавливать на открытых для Солнца пространствах, недалеко от строений, в которых будет потребляться тёплая вода из водонагревателя. В периоды наиболее активного солнечного воздействия можно сократить доступ тепла, используя для отражения специальные защитные экраны, но этот способ дорогостоящий. Когда вода не используется, она может нагреться до 100°C, использование оцинкованного и пластикового трубопровода при этом не рационально. Поэтому применяют более простой метод для производства солнечных водонагревателей, использующий трубы из меди и нержавеющей стали. При монтаже необходимо учитывать климат района, так как в некоторых, облучение земной поверхности солнечной радиацией доходит до 4,99 кВт\*ч / м<sup>2</sup> / день. К таким районам относятся Крым и юг Украины. Поэтому при установке первого контура солнечного водонагревателя его следует теплоизолировать чтобы предотвратить теплопотери, и при дальнейшем использовании не получить ожоги, а также соблюсти нормы пожаробезопасности в соответствии с нормами, установленными для конкретных температурных режимов.

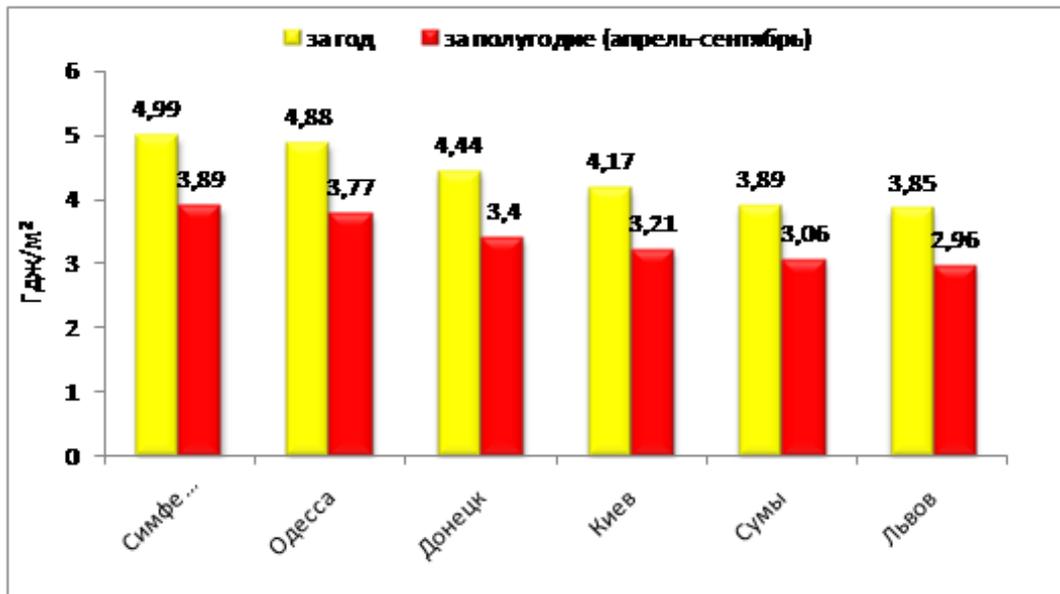


Рис. 2. Интенсивность солнечного излучения в некоторых городах Украины

Графически интенсивность солнечного излучения по Украине приведена на рисунках 2, 3.

Чтобы сделать оценку экономического эффекта, необходимо использовать средние значения удельной экономии для территории Украины, соотносённые на площадь поглощающей плоскости солнечного коллектора (1 м<sup>2</sup>).



Рис. 3. Интенсивность солнечного излучения по территории Украины

Светло-серым цветом на диаграмме (рис. 4) показана удельная экономия условного энергоносителя, а темно-серым – удельная экономия электроэнергии при использовании солнечных водонагревателей вместо электротеночных. Показатели верны для СВН (солнечный водонагреватель), по направлению на юг и под наклоном  $30^\circ$  к горизонту плоскости солнечного коллектора [5].

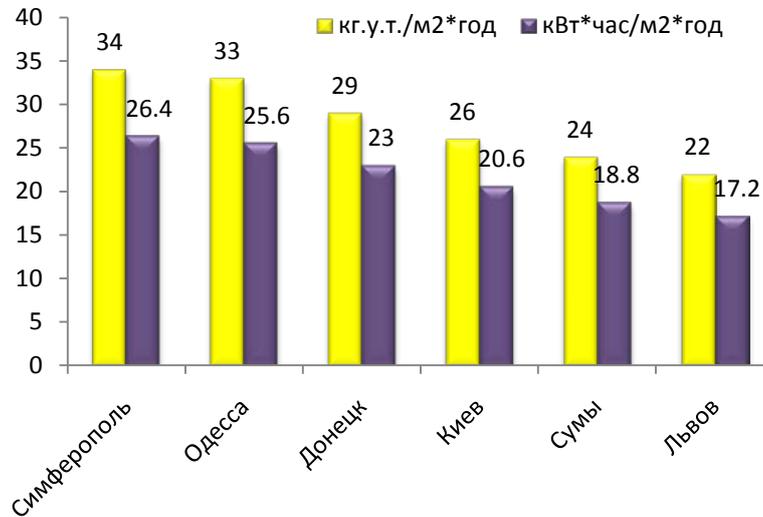


Рис. 4. Удельная экономия энергоносителя и электроэнергии

Таким образом, использование солнечных коллекторов является актуальным аспектом при решении вопросов энергосбережения зданий в северных широтах.

Анализ использования солнечных коллекторов без вспомогательного оборудования в Украине и в северных странах показывает, что это очень хороший способ нагрева воды на ГВС, но пока что недостаточный для полного отопления дома в зимний период [4]. Поэтому, устанавливая такие системы, заказчики должны сообщать проектировщику, для каких целей им эти системы нужны, а проектировщик, в свою очередь, будет принимать соответствующие меры, проводя определенные исследования в этой области или ссылаясь на подобные проекты.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Имбаби М. С., Муссет А.** Гибридный проект солнечного отопления и вентиляции в Монмунске // Построение и окружающая среда. – 1995. – Вып. 30. – С. 91 – 98.
2. **Имбаби М. С., Гордон Р.** Турбулентная модель потока воздуха в помещении гибридной солнечной системы отопления и вентиляции, в европейской конференции о сохранении энергии и внутреннего климата помещений // Строительство и окружающая среда – 1994. – Вып. 24. – С. 131 – 135.
3. **Сабади П. Р.** Солнечный дом / Пер. с англ. Н. Б. Гладковой. – М. : Стройиздат, 1981.– 113 с.
4. **Дан П. Д., Рей Д. А.** Тепловые трубы: Пер. с англ. – М. : Энергия, 1979. – 272 с.
5. **Лабейш В. Г.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – СПб. : СТЗУ, 2003. – 179 с.

УДК 624.21

#### ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАТНИХ ФУНКЦІЙ ЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ АНЛІЗУ ЇХ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

*В. П. Редченко, к. т. н.*

**Ключові слова:** динамічні випробування, вільні коливання, передатна функція

**Вступ.** Металеві конструкції, які застосовуються в переважній більшості промислових, громадських та транспортних споруд, у звичайних варіантах їх конструктивного виконання та