

- першочергові заходи повинні забезпечувати економію на перспективу (лічильники, регулюючі системи тощо);
- забезпечувати 100 %-ве охоплення населення, підприємств;
- економічно влаштувати всіх, хто бере участь в її реалізації.

2.12 Эффективность использования алюминиевых тепловых труб в конструкциях солнечных коллекторов

Актуальность. Сегодня энергопотребление жилых и промышленных зданий в большинстве европейских стран оценивается на уровне 35...40 % от общих энергетических затрат. Аналогичная ситуация складывается и в Восточной Европе, включая Украину и Россию. Например, в Украине суммарное потребление энергии, идущее на обеспечение зданий, составляет около 40 % от потребления всей энергии. И при этом до 75 % тепловой энергии потребляется в жилом секторе. Ситуация усугубляется еще тем, что в Восточной Европе большинство жилого сектора представлено старыми зданиями с низкой энергоэффективностью, построенными до 1980 года. В целях обеспечения повышения энергоэффективности зданий, применение новых элементов фасадов, изоляционных материалов и окон, являются широко распространенными сегодня. Пример таких комплексных решений описывают Wim Depraetere⁵³, K. Voss и E. Musall⁵⁴. Однако, результаты расчетов показывают, что во многих случаях период окупаемости может быть достаточно продолжительным.

Цель научного исследования. При проектировании новых зданий и реновации старых⁵⁵ следует оценивать все возможные возобновляемые и нетрадиционные источники тепловой и электрической энергии. И именно в этом направлении дополнительное использование солнечной энергии может быть полезным и все сторонне представлено в книге U. Eicker⁵⁶.

Основной материал. Сегодня солнечные энергетические системы как элемент строительных конструкций, включая исторические, имеют хорошие перспективы. Но разнообразные плоские тепловые солнечные коллекторы (СК), анализ которых приведен автором S.

53 Wim Depraetere. Integrated design solution for the multifunctional skin of an office building, Conference on Advanced Building Skins, Bressanone, Italy, 05-06 November 2013, p.p. 41-45.

54 K. Voss, E. Musall. Net zero energy buildings. Detail Green Book, 2012, ISBN 978-3-920034-80-5.

55 Handbook on Buildings Renovation in Central Baltic Region. Riga: Riga Technical University, 2013 – 91 p.

56 U. Eicker. Solar Technologies for Buildings. Wiley, 2003 – 341 p.

В. Riffat и др.⁵⁷, а также комбинированных солнечных коллекторов (КСК), различные их типы и сравнение приведено Xingxing Zhanga и др.⁵⁸, имеют некоторые недостатки при применении в строительных конструкциях. В первую очередь, связанную с их стандартными габаритами. Существуют различные подходы решить такие задачи различными модифицированными СК, например, для балконов и окон⁵⁹ и целых стен зданий⁶⁰. Однако, каждая такая конструкция является уникальной. Что касается КСК, сегодня практически отсутствуют такие решения. Ряд экспериментальных работ было проведено авторами Sleiman Farah, Wasim Saman, Martin Belusko⁶¹ **в направлении оптимизации рабочих характеристик КСК, при их интеграции в зданиях для австралийского климата.**

По мнению автора во многом решить существующие проблемы возможно за счет применения тепловых труб (ТТ)⁶² как элементов абсорберов солнечных энергетических систем. Применение тепловых труб в качестве абсорберов солнечных коллекторов не ново. Такой подход показан Л. Л. Васильевым⁶³ еще в конце 80-х. Но построением солнечных энергетических систем на их основе как элементов зданий является новым направлением. Например, возможность использования вакуумированных СК в качестве стационарных оконных жалюзей, рассмотрено R. Alexander⁶⁴. Система решает двойную задачу, непосредственно затенение комнаты и дополнительно генерацию тепловой энергии для ГВС. Но проблема уникальности и в этом случае остается и во многом определяет высокую стоимость системы.

57 S.B Riffat, P.S. Doherty, E.I. Abdel Aziz. Performance testing of different types of solar collectors. International Journal of Energy Research. Volume 24, Issues 13, pp 1203-1215, 25 October 2000.

58 Xingxing Zhanga, Xudong Zhaoa, Stefan Smitha, Jihuan Xub, Xiaotong Yuc. Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 599– 617.

59 <http://www.robinsun.com/>

60 <http://solarthermalworld.org/content/germany-facade-hot-water>.

61 Sleiman Farah, Wasim Saman, Martin Belusko. Integrating Solar Heating and PV Cooling into the Building Envelope. Proceedings of the 4th International Conference in Sustainability in Energy and Buildings. Hakansson, A.; Höjer, M.; Howlett, R.J.; Jain, L.C. (Eds.). Series: Smart Innovation, Systems and Technologies, Berlin: Springer; Vol. 22, 2013, XXVI, p.p. 887-901.

62 D.A. Reay, P.A. Kew. Heat Pipes. Fifth edition 2006. – 374 p.

63 Васильев Л.Л., Гракович Л.П., Хрусталева Д.К. Тепловые трубы в системах с возобновляемыми источниками энергии. Наука и техника, 1988 – 160 с.

64 Rebecca Alexander. The artful solar energy: engaging with Minnesota's four seasons in an off-grid wandering restaurant, Conference on Advanced Building Skins, Bressanone, Italy, 05-06 November 2013, p.p. 41-45.

Значительно упростить конструкцию таких систем возможно использованием алюминиевых тепловых труб (АТТ). Такое направление ведется научной группой Рассасакина Б.М.⁶⁵ на протяжении последних шести лет. В этом случае АТТ могут быть использованы как элементы СК⁹⁶ и КСК⁶⁶ так и элементами зданий. В данной статье автором приводится анализ возможности применения таких конструкций в строительстве на основе полученных экспериментальных данных в Национальном техническом университете Украины «КПИ» (НТУУ «КПИ»).

Экспериментальные образцы и результаты исследований. В Национальном техническом университете Украины «Киевский политехнический институт» были разработаны и изготовлены два макета фасадных конструкций плоского теплового солнечного коллектора (рис. 2.20, а) и комбинированного солнечного коллектора (б).

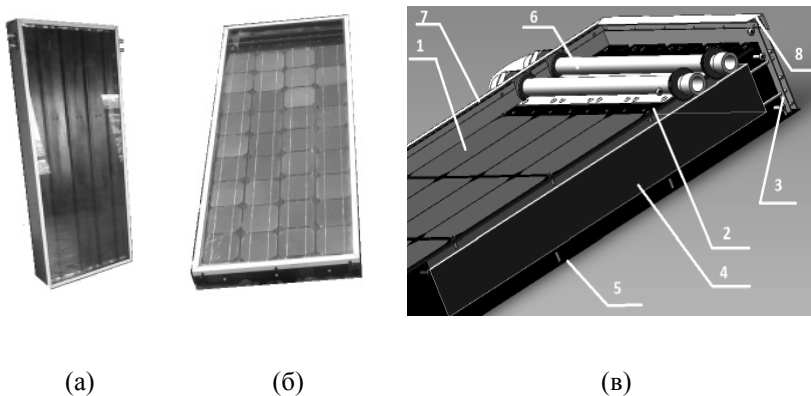


Рис. 2.20. Макеты фасадных конструкций: а – плоского теплового солнечного коллектора (СК); б – комбинированного солнечного коллектора (КСК); в – конструкция макетов; 1 – тепловые трубы с фотоэлементами для КСК и тепловые трубы без фотоэлементов для СК; 2 – зона контакта тепловых труб с жидкостным контуром солнечной системы; 3 – корпус макетов; 4 – теплоизоляция; 5 – днище; 6 – теплообменник; 7 – стекло; 8 – уголок с герметичным слоем.

⁶⁵ Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Vladilen Zaripov, Andriy Rassamakin, Olga Alforova. Aluminium Heat Pipes Applied in Solar Collectors, Solar Energy, Serial No. 94, August 2013, pp. 145-154.

⁶⁶ Boris Rassamakin, Sergii Khairnasov, Michael Dusheiko, Olga Alforova. Design of Photovoltaic-Thermal Module Based on Heat Pipes. 28-th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, 30 september – 04 october 2013.

Разработанные конструкции макетов с габаритами 1340x500 мм каждый включают в себя тепловые трубы (1) из алюминиевого профиля, на поверхности которых в конструкции КСК размещаются дополнительно 36 поликристаллических фотоэлементов с габаритами 125x125 мм и с КПД 15 %. В плоском тепловом СК поверхность ТТ была покрыта черным анодом с коэффициентом поглощения 0,94 и степенью черноты 0,91. Анодирование широко распространено в строительстве для защиты сплавов алюминия от коррозии. Черный анод не является селективным покрытием, но такое чернение повышает эффективность покрытия в сравнении с обычной черной краской. Конструкция построена так, что каждая ТТ представляет собой отдельный модуль, что дает возможность в будущем монтировать солнечную систему из различного числа отдельных модулей. Абсорбированное тепло передается от ТТ в жидкостный контур солнечной системы за счет теплообменника (6) в зоне контакта (3). При этом, конструкция КСК позволяет дополнительно охлаждать фотоэлементы и повышать их эффективность. Макеты имеют дополнительные конструкционные элементы такие как: корпус (3) из алюминиевого профиля; теплоизоляцию (4) – минеральную вату ISOVER с толщиной 50 мм; днище (5) – оцинкованный лист толщиной 0,5 мм; стекло (7) с низким содержанием железа, коэффициентом пропускания 0,91 и толщиной 4 мм; герметизирующий уголок (8) из алюминиевого профиля.

Исследования макетов проходили на стенде в НТУУ «КПИ», описанном в работе⁶⁷. Анализируя результаты, можно выделить, что эффективность СК и КСК зависят в основном от параметра X , который определяется как отношение разницы температур между теплопоглощающей поверхностью и окружающей среды к падающему солнечному тепловому потоку (рис. 2.21).

Плоский тепловой СК имеет эффективность выше, чем эффективность плоских солнечных коллекторов без селективного покрытия. Сравнение работы КСК с СК показывает, что эффективность КСК ниже на 15 % ... 16 %. Это, прежде всего зависит от того, что часть энергии преобразуется в электрическую энергию за счет фотоэлектрических элементов. Кроме того, существуют потери в слое фотоэлементов и клеевой композиции. Это также уменьшает эффективность КСК. Таким образом, рисунок 2.21 и

67 Sergii Khairnasov, Vladilen Zaripov, Boris Rassamakin, Dmytro Kozak. The Study of Heat-Engineerining Characteristics of a Solar Heat Collector Based on Aluminium Heat Pipes, Applied Solar Energy, 2013, Vol. 49, No.4, pp. 225 -231.

расчетные результаты, полученные в работе Хаймазова⁶⁸ демонстрируют, что при использовании КСК мы имеем преимущество в увеличении полученной энергии только за счет охлаждения фотоэлектрических преобразователей и экономии поверхности, занятой коллекторами.

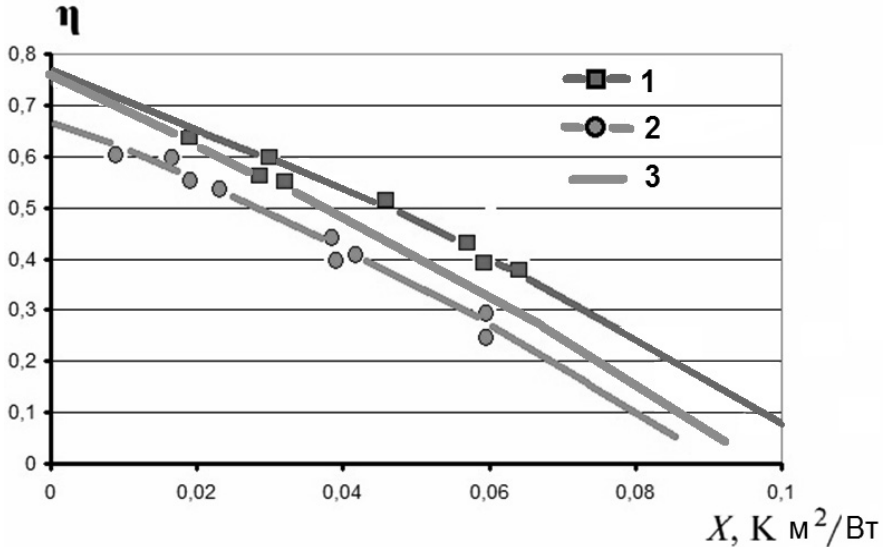


Рис. 2.21. Сравнение тепловой эффективности: 1- макет КСК; 2 – макет СК; 3 – расчет эффективности плоского теплового солнечного коллектора без селективного покрытия по формуле, приведенной в источнике⁶⁹.

Значение выработанной электрической мощности КСК от температуры ФЭП в стационарном режиме приведено на рисунке 2.22 (а). Пример экспериментальной зависимости электрической мощности КСК от температуры ФЭП в динамическом режиме зафиксированной в течении дня приведено на рисунке 2.22 (б).

⁶⁸ Khairnasov, S. Analyzing the Efficiency of Photovoltaic-Thermal Solar Collector Based on Heat Pipes, Applied Solar Energy, 2014, Vol. 50, No.1, pp. 10 - 15.

⁶⁹ Пуховий І.І. Експериментальні дослідження парогенеруючого плоского сонячного колектору з подвійним та потрійним вітражем // Відновлювальна енергетика. – 2005. – №2. – С. 16 - 20.

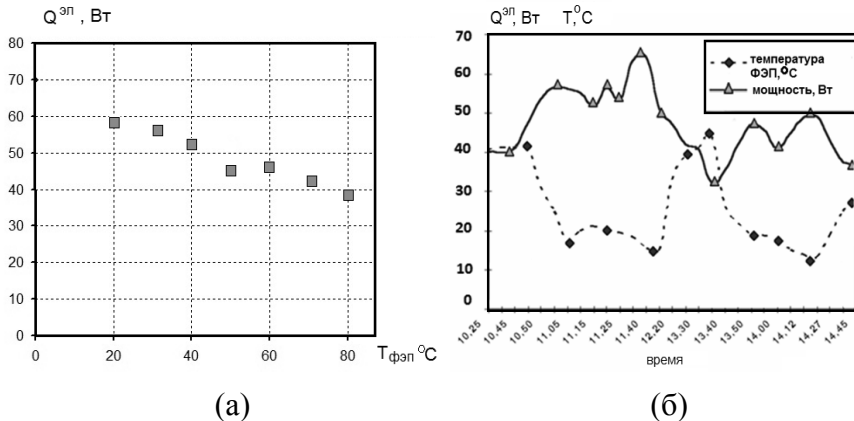


Рис. 2.22. Зависимость электрической мощности КСК от температуры ФЭП: а – в стационарном режиме при плотности солнечного излучения $E_{irr} = 800 \text{ Вт/м}^2$; б – в динамическом режиме, зафиксированная в течении дня.

Экспериментальные исследования показали, что КСК позволяет повысить эффективность получения электрической энергии до 28 % за счет охлаждения ФЭП, при это максимальная электрическая мощность КСК составляла 150 Вт/м^2 . Кроме электроэнергии, одновременно, можно получить до 450 Вт тепла с 1 м^2 теплопоглощающей поверхности (для подогрева воды). Полученные результаты показали низкое значение гидравлического сопротивления представленных конструкций. Так, при стандартных расходах теплоносителя в контуре $2,2 \text{ л/мин}$ гидравлическое сопротивление в 2 - 2,4 раза меньше чем гидравлическое сопротивление обычных конструкций плоских тепловых солнечных коллекторов и составляет $200 \dots 240 \text{ Па}$.

Анализ результатов и обсуждение. Проведем анализ результатов, сделав акцент на эксплуатацию плоского теплового солнечного коллектора (СК) и комбинированного солнечного коллектора (КСК) на основе алюминиевых тепловых труб как составных частей фасадов зданий.

Полученные экспериментальные результаты по тепловой эффективности показывают, что наиболее оптимальный режим эксплуатации таких систем достижим при значениях $X < 0,04$. В этом случае СК будет иметь эффективность более 0.55, а КСК более

0.45 (рис. 2.22). Такие значения X достижимы при двух условиях: при малой разницы температур между теплопоглощающей поверхностью и окружающей среды, т.е. фактически при низких температурах теплоносителя в контуре солнечной системы и соответственно воды в системе ГВС или отопления (примерно 30...35 °С и ниже) или при высоких значениях плотности солнечного теплового потока (примерно 600...650 Вт/м² и выше). Также для КСК возможно получение большей эффективности фотоэлектрических преобразователей при низких температурах (рис. 2.22, а). Расчеты, приведенные в работе Хаймазова⁷⁰ также показали, что наиболее эффективное использование КСК достигается при температуре теплопоглощающей поверхности до 50... 60 °С.

В этом аспекте, основной рекомендацией может быть использование таких солнечных систем – на основе СК и КСК – для предварительного подогрева воды в системах ГВС, в некоторых случаях в системах отопления, а также для частичного получения электроэнергии при использовании КСК. Следует заметить, что не всегда является перспективным использование таких СК и КСК для систем отопления. Так последние требуют постоянного поддержания температуры теплоносителя в контуре 45 °С и выше, в отличие от систем ГВС, когда подогрев воды практически начинается с уровня температуры ее забора. Например, для Киев зимой температура воды, поступающая в здания, ниже 10 °С. Кроме того, когда речь идет о больших системах с поверхностью 10 м² и выше то в некоторых случаях необходимо предусматривать дополнительный источник для подогрева. Например, в южных регионах и в летний период для предотвращения перегрева воды в ГВС, возможно использовать известные схем предварительного или полного подогрева воды в бассейнах. В этом случае, вода в бассейне обычно поддерживается до температуры 24...25 °С, в лечебных целях до 38 °С, при этом температура теплопоглощающей поверхности для СК и температура фотоэлектрических преобразователей для КСК не будет превышать 58 °С. В случае КСК дополнительно возможно получение электроэнергии для обеспечения работы насосных систем, систем вентиляции либо автоматики зданий.

Учитывая то, что в Европейских странах все больше систем подогрева воды для системы ГВС и отопления в зданиях создаются на основе тепловых насосов, для более северных регионов

⁷⁰ Khairnasov, S. Analyzing the Efficiency of Photovoltaic-Thermal Solar Collector Based on Heat Pipes, Applied Solar Energy, 2014, Vol. 50, No.1, pp. 10 - 15.

перспективным является использование таких СК и КСК в паре с ними⁷¹. Так для повышения коэффициента трансформации теплоты COP теплового насоса возможно дополнительный подогрев теплоносителя в контуре теплового насоса за счет солнечной энергии (рис. 2.23)⁷². В этом случае обеспечивается эффективная работа солнечной системы за счет низкой температуры земляного контура теплового насоса (менее 20 °С) и соответственно низкой температуры теплопоглощающей поверхности. А также в случае КСК дополнительно осуществляется эффективное охлаждение фотоэлектрических преобразователей⁷³.

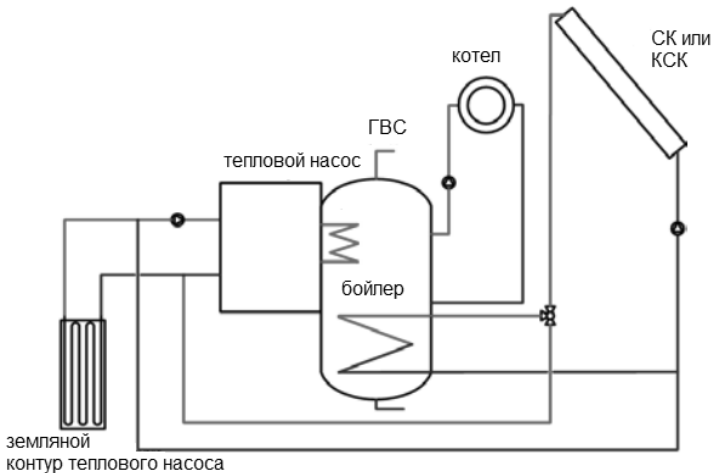


Рис. 2.23. Пример схемы комбинированной системы фасадной солнечной системы здания на основе СК или КСК с тепловым насосом.

Также существует возможность использования рассматриваемых СК и КСК при совместной их работе с

71 Frank, E., Haller, M.Y., Herkel, S. & Ruschenburg, J., 2010, "Systematic classification of combined solar thermal and heat pump systems". Eurosun Conference, Graz, Austria.

72 Jörn Ruschenburg, Sebastian Herkel. A technical report «A Review of Market-Available Solar Thermal Heat Pump Systems». Fraunhofer ISE, 2013, p. 16.

73 Betram, E., Glembin, J., Rockendorf, G., 2012, "Unglazed PVT collectors as additional heat source in heat pump systems with borehole heat exchanger", SHC Conference, San Francisco, CA.

солнечными системами охлаждения. Однако, учитывая то, что современные холодильные сорбционные машины требуют подогрев теплоносителя до температуры 90°C и выше, наиболее перспективным, по мнению автора, является использование таких солнечных систем в цикле Майсоценко (М-цикле)⁷⁴. Функционирования солнечных систем охлаждения, основанных М-цикле, требует подогрева теплоносителя (воды) до температур $30\ldots 60^{\circ}\text{C}$ в зависимости от условий окружающей среды и конструкции системы. Что вполне реально получить за счет солнечной энергии. Кроме того, например, для кондиционера «Coolerado Cooler R600»¹⁰⁵, работающего на М-цикле и обеспечивающего охлаждение помещений с площадью до 225 м^2 , можно использовать КСК до 6 м^2 для обеспечения работы его вентиляторов с мощностью 200 Вт. Перспективной конструкцией может служить специальная панель для утепления зданий, но с дополнительным использованием солнечной энергии для систем ГВС и отопления (рис. 2.24).

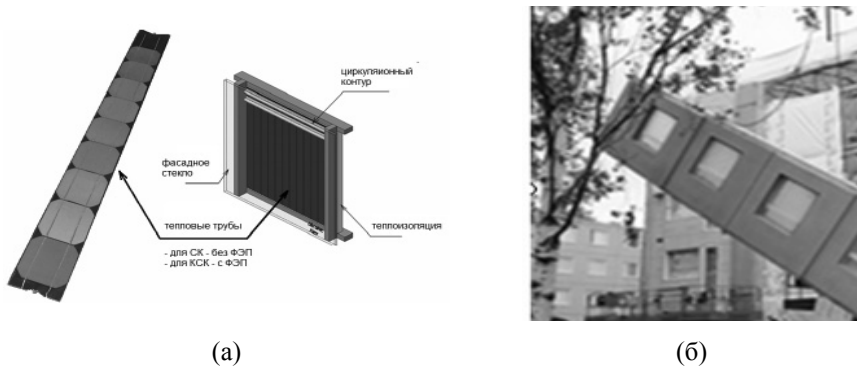


Рис. 2.24. Возможное применение панелей для утепления фасадов зданий на основе СК и КСК с алюминиевыми тепловыми трубами: а – схема, б – пример обычного модульного утепления⁷⁵.

Такая панель может включать алюминиевые тепловые трубы с фотоэлектрическими преобразователями либо без них, а в качестве наружной облицовки использовать фасадное стекло. Панели могут набираться модулями в целые конструкции.

⁷⁴ Dave Bisbee. Technology Evolution Report “The Coolerado”. CEM, USA, 2010, p. 22.

⁷⁵ Handbook on Buildings Renovation in Central Baltic Region. Riga: Riga Technical University, 2013 – 91 p.

При этом изоляция СК или КСК используется непосредственно как дополнительная теплоизоляция фасада здания. В Украине и России старые, не обновленные здания являются низкоэффективными и имеют значительные тепловые потери. Такие здания потребляют в 4 раза больше энергии, чем новые. Что требует применять меры по их реновации, обеспечивая повышение их энергоэффективности. Однако результаты расчетов показывают, что во многих случаях период окупаемости обычного утепления здания достаточно продолжительный. В случае использования утепления в комбинации с плоским тепловым СК расчет показывает, что срок окупаемости становится меньше на 2...3 года для Киевского региона.

Следует также отметить, что корпуса для алюминиевых тепловых труб изготавливаются методом экструзии, что позволяет получать различные необходимые конструкционные формы (рис. 2.25). По данной технологии изготавливаются сегодня алюминиевые строительные профили. Таким образом, можно проектировать различные строительные профили (несущие, декоративные, крепежные и др.) со встроенными тепловыми трубами.

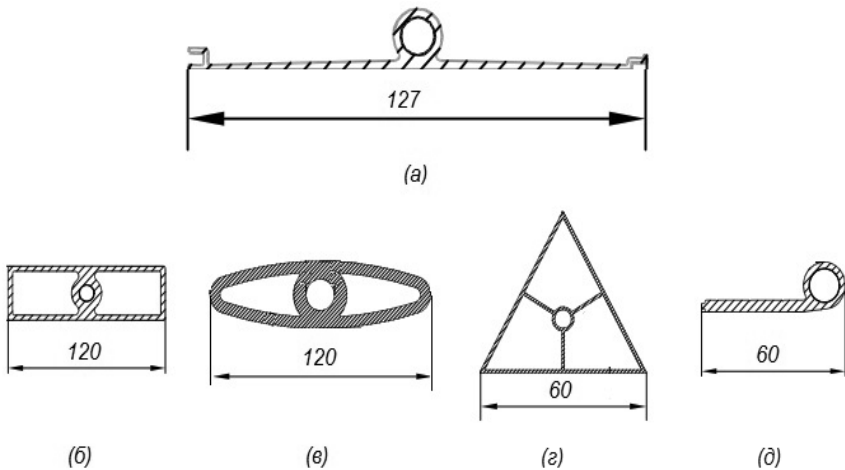


Рис. 2.25. Примеры возможных профилей алюминиевых тепловых труб для фасадных СК и КСК: а – используемый профиль в макетах СК и КСК; б, в, г – несущие фасадные профили; д – профиль для жалюзей на основе тепловых труб.

Выводы. Предложен новый подход к реализации фасадных плоских тепловых солнечных коллекторов (СК) и комбинированных солнечных коллекторов (КСК) на основе алюминиевых тепловых труб. В этом случае алюминиевые тепловые трубы выполняют комплексную роль – одновременно являются элементом фасада здания, абсорбирующей поверхностью, сверхтеплопроводным устройством и в случае комбинированного солнечного коллектора – системой охлаждения фотоэлементов.

Возможность использования такого подхода подтверждена экспериментальными данными на двух макетах: СК и КСК. При этом эффективность СК составляет 0.4 – 0.65 при параметре $X = 0.02 - 0.06$ и не уступает эффективности обычных СК без селективного покрытия. Эффективность КСК составляет 0.35 – 0.6 при $X = 0.02 - 0.06$. Кроме того, КСК позволяет дополнительно получать электроэнергию до 150 Вт/м² при максимальной тепловой мощности 450 Вт/м².

Существует перспектива использования таких конструкций коллекторов при утеплении старых зданий. Так, например, за счет дополнительного получения тепловой энергии для ГВС, срок окупаемости утепления с теплоизоляцией, включающей СК на 2 - 2,5 года меньше чем срок окупаемости утепления по обычной технологии для киевского региона.

Такие солнечные системы могут использоваться как источник предварительного подогрева воды и генерации электроэнергии на протяжении всего года для климатических зон Украины, средней и южной полосы России. Перспективным является использование их в паре с тепловыми насосами в северной и средней полосе России и Украине, повышая эффективность последних. При применение с солнечными системами охлаждения в южных регионах Украины и России, они могут выполнять роль предварительного подогрева теплоносителя в испарительном цикле и генерации электричества для их нужд.