

УДК 536.248.2:532.529.5

*А.В. Дорошенко, Маршан Ясер, В.П. Данько*

Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартьяновского ОНАПТ, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, 65082.

**МЕТАЛО-ПОЛИМЕРНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Разработан металло-полимерный тип плоского солнечного коллектора (СК) и выполнено экспериментальное исследование его характеристик на натуральных образцах СК, отличающихся числом прозрачных покрытий. Показано, что характеристики нового типа СК являются лучшими на фоне существующих мировых разработок на основе полимерных материалов, причем использование медной многоканальной структуры в качестве теплоприемника повышает надежность работы, в связи с решением проблемы неравномерности распределения теплоносителя по каналам теплоприемника.*

**Ключевые слова:** *металло-полимерный солнечный коллектор – многоканальная сотовая структура – полимерная микрокапиллярная структура*

*The metal-polymer type of flat plate solar collector is developed and the experimental study of its characteristics on the full-scale samples SC, differing in the number of transparent coatings is performed. It is shown that the performance of SC of new type are the best against the background of the existing world developments based on polymeric materials, and the use of copper multi-channel structure as the heat receiver improves the reliability of operation due to solving the problem of heating medium uneven distribution through the heat receiver channels.*

**Keywords:** *metal-polymer solar collector – a multi-channel cellular structure – plastic microcapillary films*

**I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Теоретический и экспериментальный анализ полимерного СК с теплоприемником, выполненным из многоканальной сотовой полимерной структуры был выполнен в работе [1]. Конструктивное оформление СК представлено на рисунке 1А. Коэффициент полезного действия СК можно рассчитать по формуле:

$$\eta = \tau \cdot \varepsilon_1 \cdot F' - U \cdot F' \cdot [0.5 \cdot (t_{ж1} + t_{ж2}) - t_0] / J \quad (1)$$

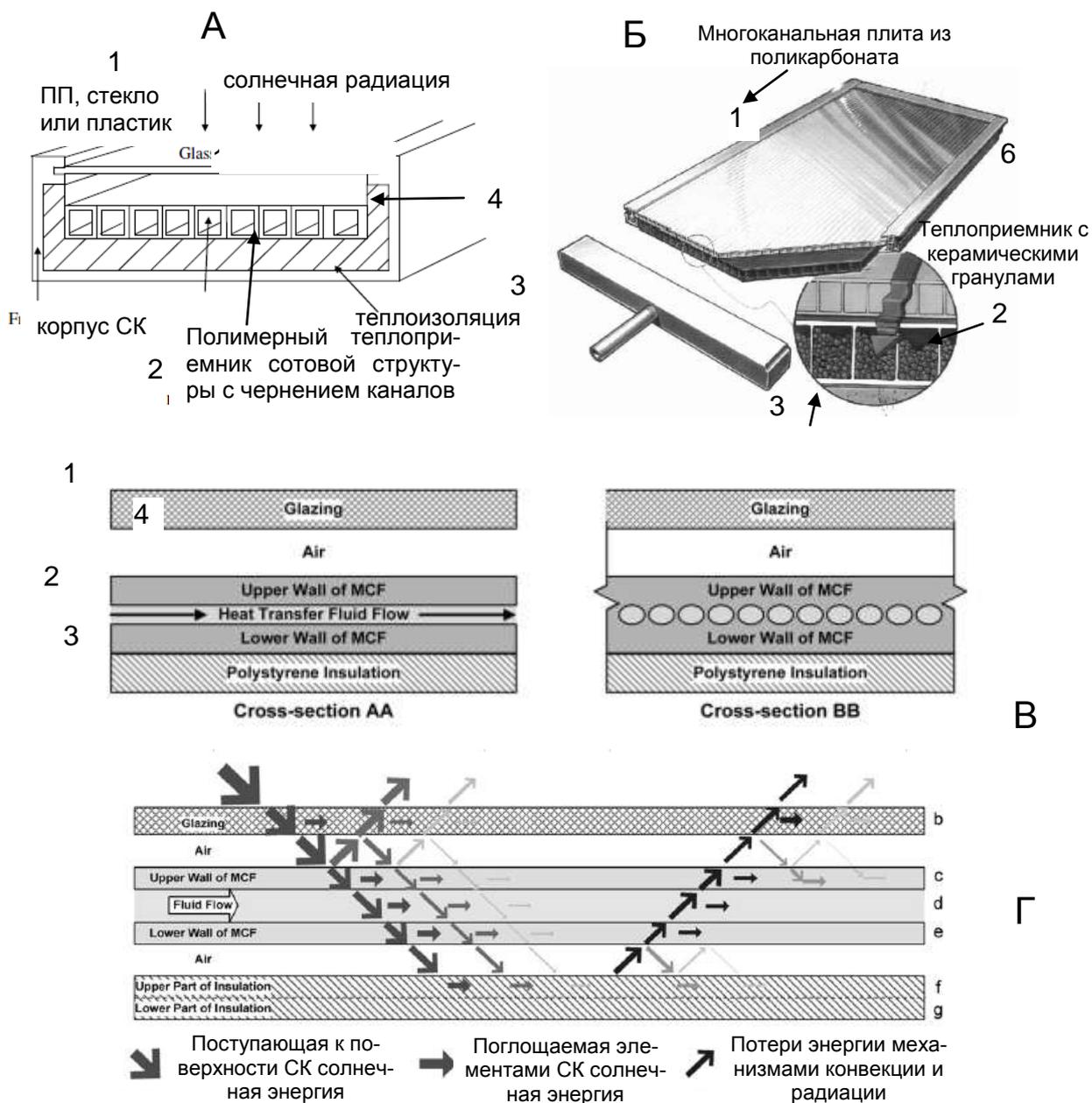
где  $t_{ж1}$  – температура жидкости на входе в СК, °С;  $t_{ж2}$  – температура жидкости на выходе из СК, °С. Если величины  $U$  и  $F' = \text{const}$ , зависимость  $\eta$  от  $[0.5 \cdot (t_{ж1} + t_{ж2}) - t_0] / J$  представляет собой прямую линию. Величина  $[0.5 \cdot (t_{ж1} + t_{ж2}) - t_0] / J$  называется приведенной температурой  $T_{пр}$ . Характеристики сравниваемых СК нами приведены в стандартном виде зависимости  $\eta_{СК}$  от приведенной температуры, где:

$$\eta_{СК} = f(T_{пр}), \quad \dot{\eta}_{СК} = Q / F_{СК}; \quad T_{пр} = [0.5(t_{f1} + t_{f2}) - t_0] / J \quad (2)$$

В работе норвежских ученых [2] исследованы солнечные системы, основанные на новом типе СК из конструкционных пластмасс (рисунок 1Б). Прозрачное покрытие СК представляет собой двойной лист из поликарбоната в единой многоканальной структуре СК. В работе [3] изучались теоретически и экспериментально характеристики полимерного коллектора (рисунок 1В), созданного

на основе полимерных микрокапиллярных структур «plastic microcapillary films» MCF. Интересна композиция СК, в которой предусмотрено два воздушных зазора, призванных подавлять конвективные и радиационные потоки теряемой основными элементами энергии: традиционный, между верхней поверхностью теплоприемника и нижней пластиной прозрачного покрытия, и дополнительный, между нижней поверхностью теплоприемника и верхней границей теплоизоляции дня СК. Вопрос о таком устройстве СК требует дополнительного изучения, поскольку уровень потерь указанными механизмами естественно снижается в направлении «дна» СК, а дополнительный воздушный зазор приведет к увеличению толщины коллектора, росту его веса (за счет увеличения размеров корпусной части) и стоимости. На рис.1Г приведена классическая схема потоков энергии (солнечной радиации) приходящей к поверхности теплоприемника СК, поглощаемой основными элементами СК (прозрачным покрытием, абсорбером, теплоизоляцией) и теряемой каждым из этих элементов и отдельными частями каждого элемента конструкции. Отмечается общая тенденция последних лет к уменьшению размеров каналов теплообменной аппаратуры, имеющая место в современных разработках.

Основные задачи нашей работы: создать металло-полимерный тип СК/М-П, на основе полимерных материалов из плит сотовой структуры, используемых в качестве прозрачной изоляции ПП; оптимизировать основные геометрические параметры полимерного СК с целью минимизации



**Рисунок 1** – Основные варианты разрабатываемых плоских солнечных коллекторов на основе полимерных материалов.

А. Схема полимерного коллектора по работе [1].

Б. Конструкция полимерного коллектора по работе норвежских ученых Nielsen J.E. и Bezzel E [2].

В. Схема полимерного коллектора на основе полимерных микрокапиллярных структур по работе [3].

Обозначения: 1 – прозрачное покрытие; 2 – теплоприемник; 3 – теплоизоляция; 4 – воздушный зазор.

потерь тепла и сокращения габаритов и веса. В качестве полимера, пригодного к использованию в конструкции металло-полимерного СК в работе был выбран поликарбонат, как и в ранее выполненном в ОГАХ исследовании [4]. Плита сотового поликарбоната представляет собой два параллельных листа с поперечными перегородками в цельной единой структуре (рисунок 2). Сотовые панели из поликарбоната отличаются высокими механическими характеристиками, такими, как твердость и стойкость к ударным воздействиям при длительном содержании на открытом воздухе. Поликарбонат устойчив ко многим химическим веществам, включая минеральные кислоты высокой концентрации, ко многим органическим кислотам, нейтральным и кислым растворам солей, многим жирам, парафинам, насыщенным алифатам и циклоалифатам, кроме метилового спирта.

#### **Решение узла «прозрачная изоляция – воздушный зазор».**

В качестве материала для анализа и выбора ПП нами были использованы результаты, полученные В. Костенюком [4]. Работа была посвящена изучению влияния типа и геометрии прозрачного покрытия ПП. Были теоретически и экспериментально рассмотрены следующие варианты СК/П с прозрачным покрытием из полимерных материалов: листовой поликарбонат ПК в одиночном покрытии с воздушным зазором между абсорбером и ПИ (варианты №№5-6); схема СК/П по формуле: «теплоизоляция-абсорбер-воздушный зазор-прозрачная изоляция»; листовой поликарбонат ПК с двойным воздушным зазором между абсорбером и ПИ1, ПИ1 и ПИ2 (варианты №№ 7-8); поликарбонатные многоканальные плиты СПК с одним воздушным зазором и различной толщиной теплоизоляции (варианты СК/П №№ 1-4). Важнейший вывод работы [4] касался шага в расположении прозрачных перегородок ПП. При малых значениях этого шага многочисленные перегородки в структуре прозрачного покрытия негативно сказываются на пропускательной способности ПП. Поэтому была принята формула:  $l_{\text{пп}} \approx 2-4 h_{\text{пп}}$ , при  $l_{\text{пп}} = 6-10$  мм.

В работе [3] изучалась возможность оптимальной организации воздушного зазора, в целях подавления естественной конвекции, с помощью специальных вставок сотовой структуры различной геометрии. Общая высота воздушного зазора в опытах была примерно постоянной, составляя  $\approx 60$  мм., при этом сама сотовая вставка из поликарбонатной многоканальной структуры, с каналами квадратной формы со стороной  $\approx 10$  мм. располагалась на некотором расстоянии от нижней поверхности прозрачного покрытия (от 3 до 6 мм.) и на некотором расстоянии от верхней поверхности абсорбера (от 3 до 12 мм). Всего было исследовано десять таких комбинаций. Общий вывод состоит в достоинствах такого оформления воздушного зазора и подавления конвективных потерь. Остается от-

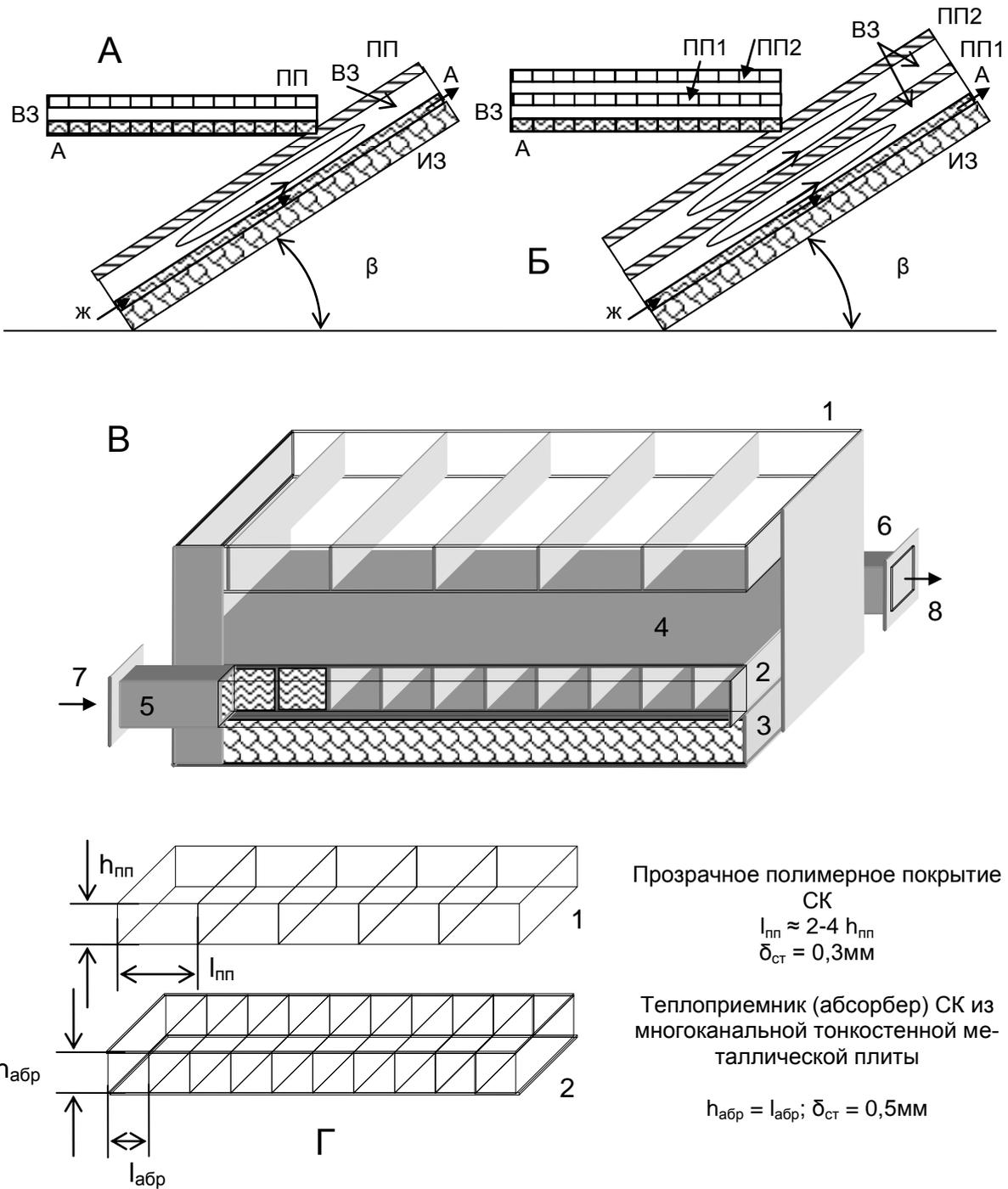
крытым вопрос о влиянии многочисленных вертикальных сотовых вставок на пропускательную способность верхней части коллектора (ПП и воздушного зазора).

#### **Решение узла теплоприемника (абсорбера).**

Важнейшей характеристикой плоского СК является равномерность распределения теплоносителя по каналам теплоприемника. Неравномерность распределения, как следствие непосредственной близости расположения гидравлических коллекторов (подводящего и отводящего теплоносителя к «трубному регистру» СК) к каналам теплоприемника, оказывается весьма существенной, что имеет следствием и значительную температурную неравномерность. Это может привести к формированию кризисных ситуаций с теплоносителем, например к формированию паровых пробок в каналах с минимальным (резко сниженным) расходом теплоносителя. Это явление значительно усиливается при переходе к сплошной многоканальной структуре каналов в многоканальной плите теплоприемника и становится особенно опасным при использовании, в качестве материала для формирования теплоприемника, полимеров, что ставит под сомнение возможность их использования. Этот важнейший вопрос требует специального изучения. Нами, в связи с изложенным, для создания теплоприемника, была использована многоканальная тонкостенная плита из алюминия с размерами каналов, указанными на рисунке 2.

## **II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛО-ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ СК/М-П**

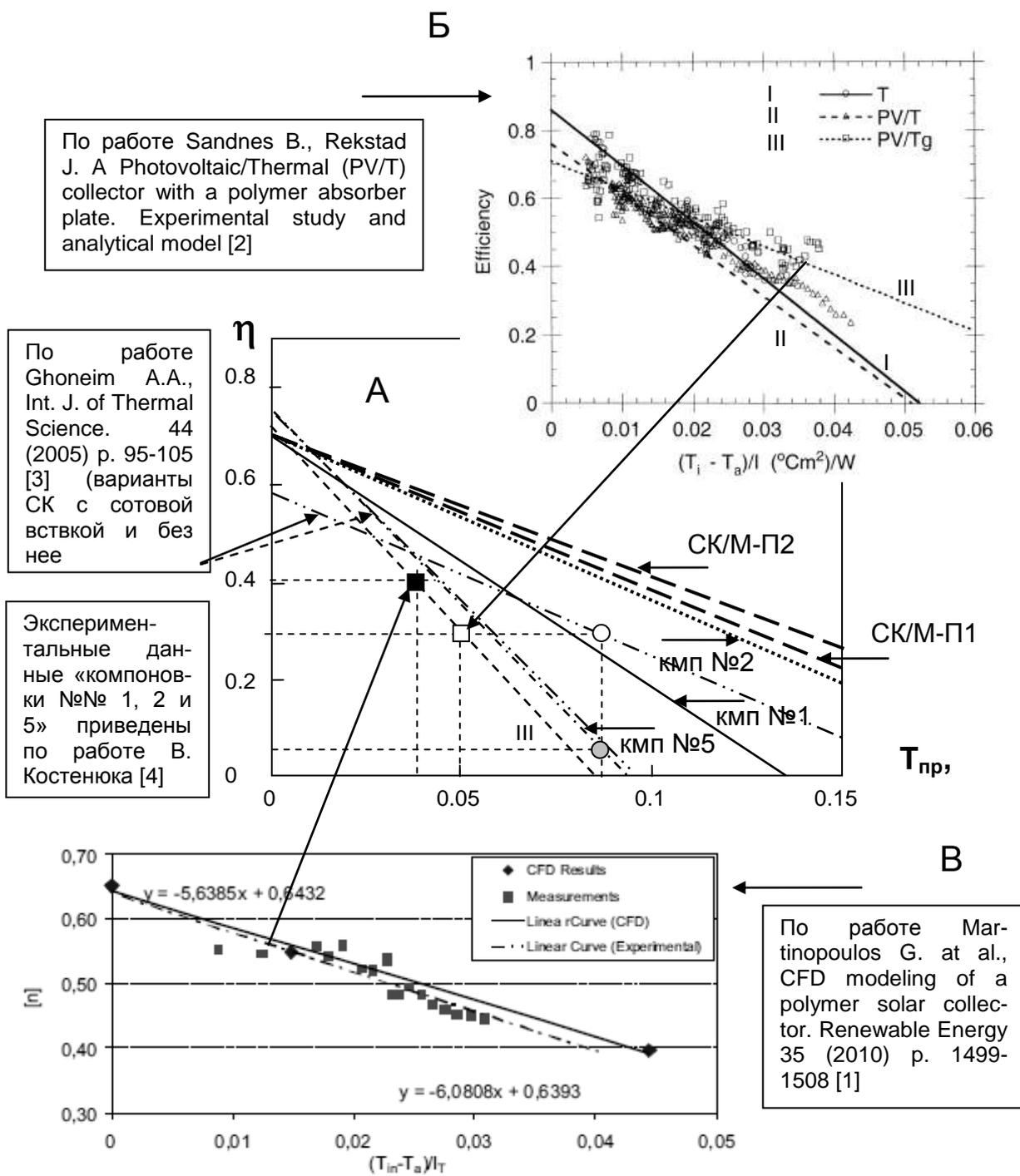
Принцип конструктивного оформления металло-полимерных СК/М-П и соответствующие геометрические характеристики его основных элементов приведены на рисунке 2. Были разработаны два варианта СК/М-П, с одиночным и двойным прозрачным покрытием, соответственно. Размеры многоканальных плит ПП и высота воздушных зазоров были идентичны и приняты нами по результатам исследования [4]. Экспериментальный стенд был оснащен приборами для фиксации уровня солнечной активности, ветронагрузки, температуры и относительной влажности наружного воздуха и комплектом термопар, обеспечивающим замеры температур в баке-теплоаккумуляторе, а также на входе и выходе из СК. Полученные результаты приведены на рисунке 3. Они даны в виде зависимости эффективности процесса трансформации солнечной энергии в тепловую энергию жидкого теплоносителя от приведенной температуры. В качестве фона для сравнения были использованы результаты исследований В. Косиенюка [4] и работ последних лет, посвященных изучению возможностей использования полимеров в конструкции СК.



**Рисунок 2** – Разработанный тип плоского жидкостного метало-полимерного солнечного коллектора СК/М-П из многоканальных плит.

А, Б, В – схемные решения и компоновка СК с одиночным и двойным прозрачным покрытием, соответственно; Г – основные элементы солнечного коллектора СК/М-П.

Обозначения: 1 – прозрачное покрытие; 2 – элементы (секции) теплоприемника (абсорбера); 3 – теплоизоляция; 4 – воздушный зазор между теплоприемником (абсорбером) и прозрачным покрытием; 5, 6 – гидравлический коллектор; 7, 8 – жидкий теплоноситель



**Рисунок 3** – Сравнительная эффективность полимерных солнечных коллекторов (по работам В. Костенюка [4], Sandnes B., Rekstad J. [2], Martinopoulos G. et al. [1] и Ghoneim A.A. [3])

Экспериментальные данные по металло-полимерным модификациям СК/М-П приведены по данным автора

Это данные по работе Martinopoulos G. at al., [1] и данные по работе Sandnes B., Rekstad J. A [2]. Были дополнительно использованы результаты работы Ghoneim A.A. [3].

#### IV. ВЫВОДЫ

1. В целом, имеющиеся немногочисленные к настоящему времени экспериментальные данные по эффективности плоских СК с использованием в их конструкции полимеров, находятся в хорошем соответствии.

2. Использование вставок сотовой структуры в воздушный зазор, в целях подавления естественной конвекции, аналогично применению многоканальных полимерных плит сотовой структуры в качестве прозрачного покрытия коллектора [4]; общий вывод состоит в достоинствах такого оформления узла «прозрачное покрытие - воздушный зазор» в целях подавления конвективных потерь.

3. Переход на металло-полимерный вариант СК/М-П улучшил характеристики преобразования солнечной энергии, сравнительно с лучшим вариантом СК/П по работе [4] (компановка №2 по таблице 2.5 с максимальной толщиной теплоизоляции); этот выигрыш невелик, но в настоящее время оправдан отмеченным выше возможным влиянием

неравномерности на устойчивость и надежность системы в целом.

4. Использование двойного прозрачного покрытия в конструкции СК/М-П повышает эффективность коллектора, но приводит к увеличению его толщины, веса и стоимости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Martinopoulos G. at al., CFD modeling of a polymer solar collector. *Renewable Energy* 35 (2010) p. 1499-1508
2. Sandnes B., Rekstad J. A Photovoltaic/Thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model. *Solar Energy*. 72, №1 (2002) p. 63-73
3. Ghoneim A.A., Performance optimization of solar collector equipped with different arrangements of Square-celled honeycomb. *Int. J. of Thermal Science*. 44 (2005) p. 95-105
4. Костенюк В.В. Тепловые испытания полимерных солнечных коллекторов / В.В. Костенюк, А.В. Дорошенко // *Холодильна техніка і технологія*. – 2010. - №4. - С. 54-59.

---

Получена в редакции 05.03.2013, принята к печати 12.03.2013