Лекция 5.

1. Структурные схемы устройств преобразования энергии первичных источников в электрическую по схеме возобновляемые источники – электроэнергия (продолжение).

Геотермальная энергетика.

Потенциал геотермальной энергии базируется на использовании естественного тепла Земли. При углублении в недра планеты происходит повышение температуры в среднем на 33°С на каждый километр. Однако есть точки, где уже на небольшой глубине температура горных пород и пропитывающих их вод весьма велики.

В зависимости от температуры воды, пароводяной смеси или пара источники подразде ляются на низкотемпературные, среднетемпературные (130°…150°С) и высокотемпературные (>150°С).

Низко- и среднетемпературные гидротермы используются в основном для обогрева и теплоснабжения, высокотемпературные – для получения электроэнергии в ГеоТЭС.

Установленная мощность геотермальных электростанций возросла с 678 МВт в 1970г. До 8 ГВт в 2000г. Среднегодовой прирост мощностей составил 8,6% к уровню предыдущего года.

Геотермальная установка мощностью 1МВт позволяет сэкономить до 3 тыс. т у.т. в год.

Биоэнергетика.

Основным видом биомассы, используемой в биоэнергетике, является некоммерческое топливо: древесина и её отходы,отходы растениеводства и животноводства, бытовые отходы.

Используемые промышленные технологии включают в себя:

- прямое сжигание;

- сжигание в смеси с основным топливом;
- термохимическую переработку (газификация топлива);
- биохимическую конверсию (получение биогаза, спирта, этанола).

Суммарный энергетический потенциал некоммерческого топлива в мире составляет свыше 4 млрд т у.т. в год.

Водородная энергетика.

Главное достоинство водорода как энергетического топлива заключается в том, что удельная теплота его сгорания почти втрое выше, чем у нефти, а продуктом сгорания является вода.

Технологический недостаток – его повышенная взрывоопасность и проблематичность хранения.

Водород может быть получен:

- электролитическим способом при разложении воды на водород и кислород при пропускании электрического тока;
- плазмохимическим способом, основанном на пропускании электрического тока через ионизированный газ, находящийся в магнитном поле;
- при работе топливных элементов с обратимыми химическими реакциями.

Термоядерная энергетика.

Одним из перспективных и практически неисчерпаемых источников энергии считается управляемый термоядерный синтез. Реализация его возможна при температуре плазмы не менее 100 млн ^{o}C при высокой напряженности магнитного поля.

В термоядерных реакциях синтеза участвуют тяжелые изотопы водорода – дейтерий (с двумя нейтронами в ядре) и тритий (с тремя нейтронами в ядре). В результате слияния

дейтерия и трития образуется нестабильное ядро гелия-5, распадающееся на стабильное ядро гелия-4 и нейтрон с выделением тепловой энергии.

Энергетика на топливных элементах.

Одним из перспективных способов прямого экологически чистого преобразования энергии химических реакций в электрическую является технология с использованием топливных эле-

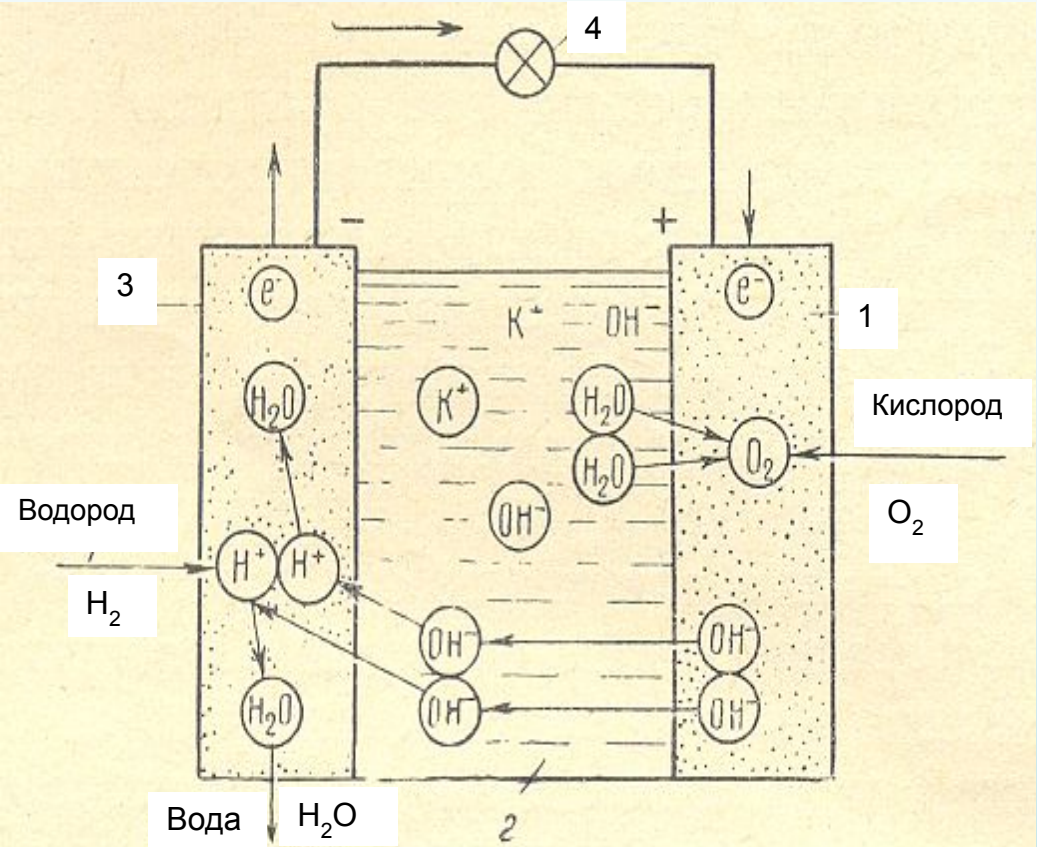

Рис. 17. Принципиальна схема водородно-кислородного топливного элемента
1 – кислородный электрод (катод); 2 – раствор электролита (КОН); 3 – водородный электрод (анод); 4 – потребитель электроэнергии

Топливный элемент («электрохимический генератор») представляет собой гальванический элемент, в котором в качестве химически активного вещества отрицательного электрода используется горючее (водород, углеводороды, генераторный газ и др.), а химически активного вещест-ва положительного электрода – окисли-тель (кислород, воздух, хлор и др.).

Рассмотрим как происходит токообразующий процесс на примере водородно-кислородного топливного элемента (см. рис.17). Топливный элемент состоит из двух электродов, разделённых между собой электролитом - раствором щёлочи (КОН). К отрицательному электроду подводится водород, к положительному – кислород.

Продукт окисления водорода (вода) во время реакции отводится от топливного элемента.

Для увеличения поверхности раздела трех фаз (электрод – электролит – газ) электроды изготавливаются пористыми. Подведенный к отрицательному электроду водород адсорбируется на сухой стороне электрода, диссоциирует благодаря его каталитическому действию до атома H, который и поглощается электродом за счёт химической реакции с металлом электрода, образуя соединение Me-H.

Затем атомы водорода вследствие снижения концентрации диффундируют к границе трёх фаз и переходят в электролит, оставляя по одному электрону согласно реакции

$$Me\text{-}H + OH^{-} \rightarrow H_2O + Me + \bar{e}.$$

Суммарная реакция на водородном электроде

$$2H_2 + 4OH^{-} \rightarrow 4H_2O + 4\bar{e}.$$

На положительном электроде кислород адсорбируется, диссоциирует до атомарного состояния, диффундирует к границе трёх фаз и переходит в электролит с захватом двух элементарных зарядов, образуя отрицательные ионы согласно реакции

$$Me\text{-}O + 2\bar{e} + H_2O \rightarrow Me + 2OH^{-}.$$

Суммарная реакция на кислородном электроде

$$O_2 + 2H_2O + 4\bar{e} \rightarrow 4OH^{-}.$$

Отрицательные ионы OH^{-} проходят через электролит к отрицательному электроду, где соединяются с положительными ионами водорода, образуя воду.

Общее уравнение токообразующего процесса в кислородно-водородном топливном элементе

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O + Q_p.$$

Для того, чтобы процесс шел непрерывно, необходимо постоянно подавать топливо (H_2) и окислитель (O_2) и отводить продукты реакции (H_2O).

Общий коэффициент полезного действия топливного элемента определяется как

$$\eta = \eta_г \eta_e \eta_i \ ,$$

где - $\eta_г$ - коэффициент использования химической энергии топлива; η_e - КПД по напряжению; η_i - КПД по току.

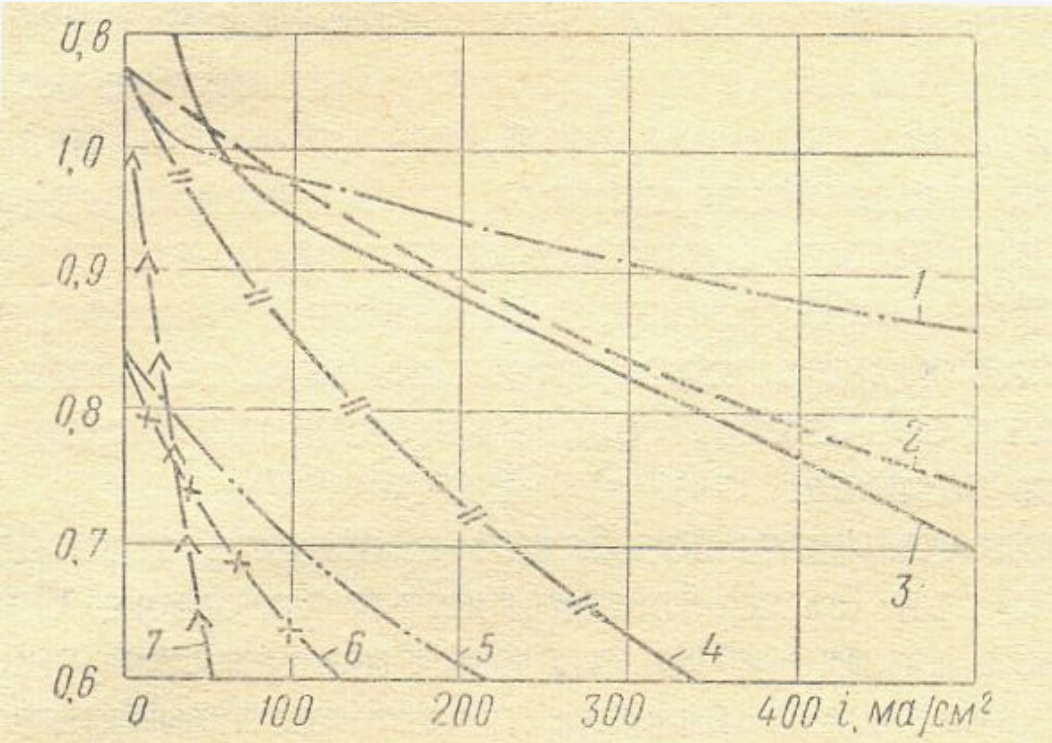

Рис. 18. Вольтамперные характеристики топливных элементов.

1 – элемент Бекона (200^{0}С, 28 атм); элемент Юсти (80^{0}С, 2,5 атм); 3 – низкотемпературный элемент «Юнион Карбайд»; 4 – элемент «Электрик Сторэдж Бэттерн»; 5 – элемент Давтяна в схеме Горина (700^{0}С, 1 атм); 6 – редокс-элемент; 7 – элемент Бишоффа (750^{0}С, 1 атм)

На экономичность работы топливного элемента влияют:

- возможность наиболее полного использования энергии окисления топлива;
- скорость протекания процесса окисления;
- отсутствие побочных реакций при протекании процесса окисления.

<u>Классификация топливных элементов:</u>

1. По агрегатному состоянию топлива (газообразное, жидкое, твердое);
2. По типу электролита (щелочной или кислый) или по состоянию (жидкий, твёрдый);
3. По температурному интервалу работы - низкотемпературные (до 100^0 С), среднетемпературные (до 300^{0}С) и высокотемпературные (свыше 300^0 С);

4. По типу действия – прямого и косвенного; с регенерацией продуктов реакции и без регенерации; с расходуемыми и нерасходуемыми электродами и т.д.

Рабочее напряжение колеблется в пределах от 0,5 до 0,9В и выше, при плотности тока от 50 до 900 и выше мА/см^2 поверхности электрода.

Термоэлектрические генераторы.

Принцип работы основан на использовании эффекта, обнаруженного в середине IXX века. Суть открытого эффекта заключается в следующем: при прохождении электрического тока через контакт двух проводников, сделанных из различных материалов, в зависимости от его направления, помимо Джоулева тепла выделяется или поглощается дополнительное тепло, которое получило название теплота Пельтье. Степень проявления данного эффекта в значительной мере зависит от материалов выбранных проводников и используемых электрических режимов.

Эффект Пельтье, как и многие термоэлектрические явления, выражен особенно сильно в цепях, составленных из полупроводников с электронной (*n*-тип) и дырочной (*p*-тип) проводимостью.

Рассмотрим термоэлектрические процессы, происходящие в контакте таких полупроводников. Допустим, электрическое поле имеет такое направление, что электроны в полупроводнике *n*-типа и дырки в полупроводнике *p*-типа будут двигаться навстречу друг другу. Электрон из свободной зоны полупроводника *n*-типа после прохождения через границу раздела попадает в заполненную зону полупроводника *p*-типа и там занимает место дырки. В результате такой рекомбинации освобождается энергия, которая выделяется в контакте в виде теплоты. Этот процесс иллюстрирует рисунок 16.

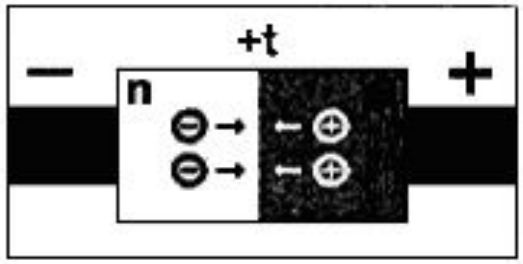

Рис. 16. Выделение теплоты Пельтье при контакте полупроводников *n*- и *p*-типа

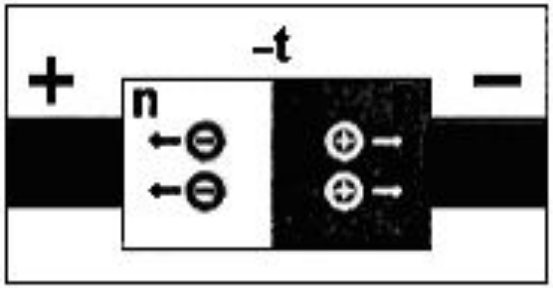

Рис. 17. Поглощение теплоты при контакте полупроводников *n*- и *p*-типа

При изменении полярности электрического поля на противоположное (см. рис.17) электроны в полупроводнике *n*-типа и дырки в полупроводнике *p*-типа будут двигаться в противоположные стороны. Дырки, уходящие от границы раздела, будут пополняться в резуль-тате образования новых пар электронов и дырок при переходах электронов из заполненной зоны полупроводника *p*-типа в свободную зону. На образование таких пар требуется энергия, которая поставляется тепловыми колебаниями атомов решетки. Электроны и дырки, образующиеся при рождении таких пар, увлекаются в противоположные стороны электрическим полем. Поэтому пока через контакт идет ток, непрерывно происходит рождение новых пар. В результате в контакте теплота будет поглощаться.

Использование полупроводников проводимости *p*- и *n*-типа в термоэлектрических холодильниках иллюстрирует рисунке 18.

Конструктивное исполнение полупроводникового термоэлектрического модуля Пельтье - на рисунке 19.

Рисунок 18. Использование полупроводников *p*- и *n*-типа в термоэлектрических холодильниках

Рис. 19. Конструктивное исполнение полупроводникового термоэлектрического модуля Пельтье

Термоэлектрические характеристики модуля Пельтье представлены на рис. 20.

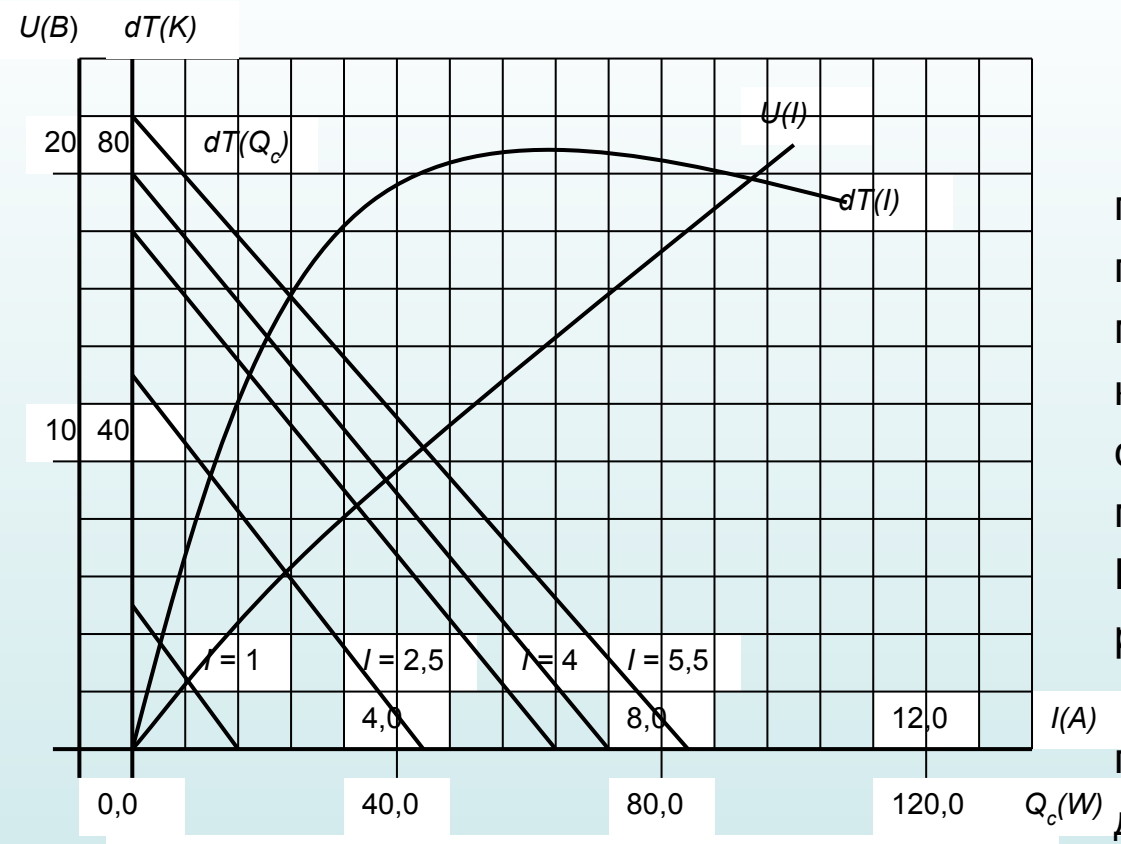

Рис. 20. Термоэлектрические характеристики модуля Пельтье

Термоэлектронные преобразователи.

Теплота может быть превращена непосредственно в электрическую энергию с помощью вакуумных или плазменных термоэлектронных диодов. В качестве примера рассмотрим конструкцию и принцип действия плазменного термоэлектронного прибора. На рис. 21 представлен поперечный разрез цезиевого преобразователя.

Принцип работы термоэлектронного преобразователя заключается в следующем. Концентрируя при помощи параболического зеркала солнечное излучение на катоде установки, производят его разогрев.

Нагретый катод эмитирует электроны, которые собираются на близко расположенной поверхности холодного анода. Для нейтрализации объёмного заряда в межэлектродном пространстве, затрудняющего перемещение электронов от катода к аноду, используется цезиевое покрытие анода, способствующее поверхностной ионизации цезия, нейтрализующей заряд.

Катодный узел состоит из двух вольфрамовых дисков с танталовой фольгой толщиной 0,025 мм в качестве токоотводящей прокладки, сваренных между собой с помощью платины. Анод изготовлен из никеля и отстоит от катода на расстоянии 0,13 мм.

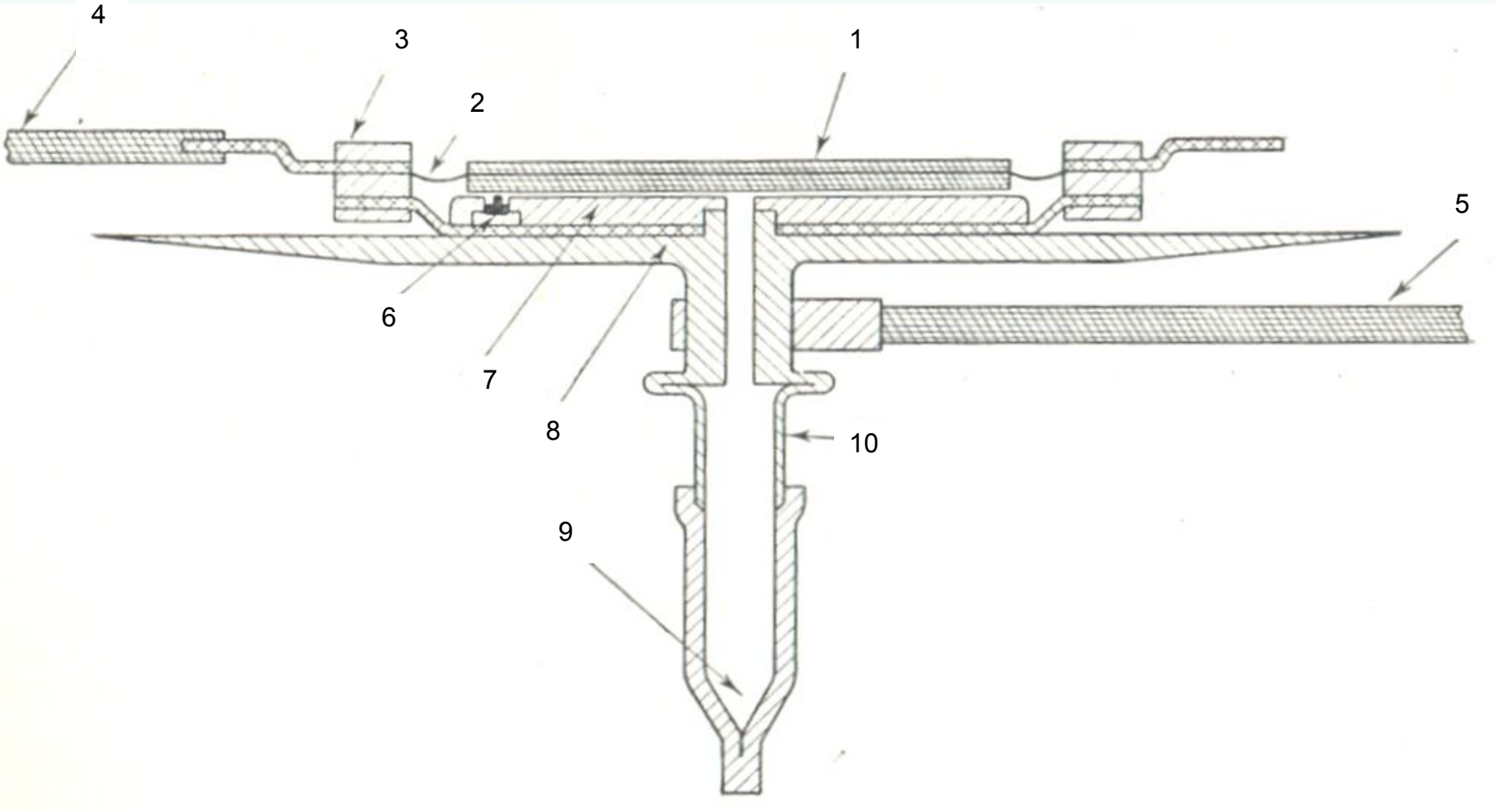

Рис. 21. Поперечный разрез цезиевого преобразователя, нагреваемого солнцем и радиатора
1 – катод; 2 – катодная фольга; 3 – керамика; 4 – подвод к катоду; 5 – подвод к аноду; 6 – устройство для обеспечения зазора между анодом и катодом; 7 – анод; 8 – радиатор; 9 – резервуар; 10 – никелевая секция.

Нагрузочные характеристики и расчетный КПД преобразователя приведены на рис. 22 и 23.

Рис. 22. нагрузочные характеристики преобразователя при различных температурах цезиевого резервуара
1 – t_{Cs}=270^{0}C; 2 – t_{Cs}=295^{0}C; 3 – t_{Cs}=320^{0}C; 4 – t_{Cs}=340^{0}C (температура катода T_K~2100^{0}C).

Рис. 23. Расчетный КПД преобразователя в функции температуры катода