

# 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 подразделяются 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 неkomмерческого 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 °С 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-

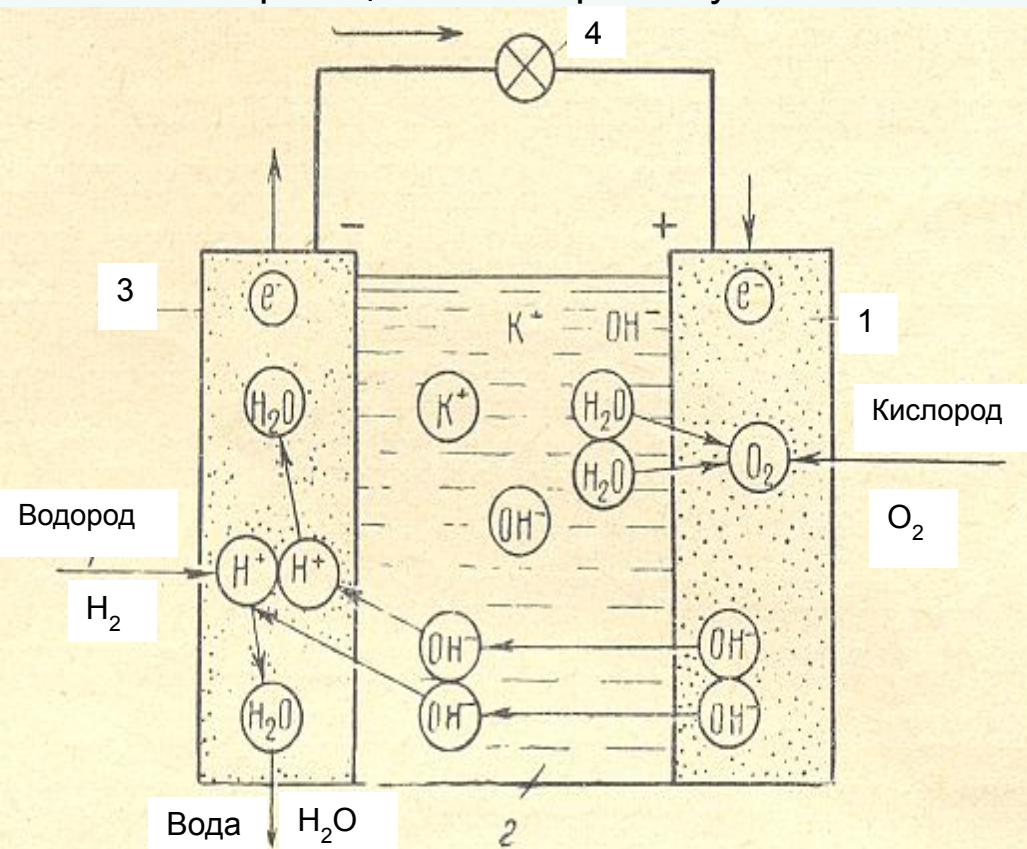


Рис. 17. Принципиальная схема водородно-кислородного топливного элемента  
1 – кислородный электрод (катод); 2 – раствор электролита (KOH); 3 – водородный электрод (анод); 4 – потребитель электроэнергии

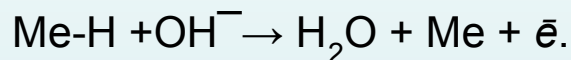
Топливный элемент («электрохимический генератор») представляет собой гальванический элемент, в котором в качестве химически активного вещества отрицательного электрода используется горючее (водород, углеводороды, генераторный газ и др.), а химически активного вещества положительного электрода – окислитель (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 (KOH). К отрицательному электроду подводится водород, к положительному – кислород.

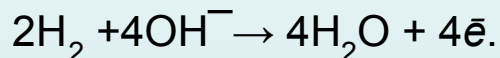
Продукт окисления водорода (вода) во время реакции отводится от топливного элемента.

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.

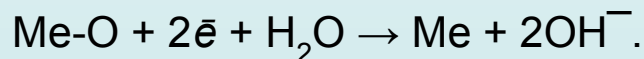
Затем атомы водорода вследствие снижения концентрации диффундируют к границе трёх фаз и переходят в электролит, оставляя по одному электрону согласно реакции



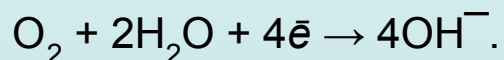
Суммарная реакция на водородном электроде



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

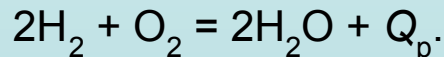


Суммарная реакция на кислородном электроде



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

Общее уравнение токообразующего процесса в кислородно-водородном топливном элементе



Для того, чтобы процесс шел непрерывно, необходимо постоянно подавать топливо ( $\text{H}_2$ ) и окислитель ( $\text{O}_2$ ) и отводить продукты реакции ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Общий коэффициент полезного действия топливного элемента определяется как

$$\eta = \eta_{\Gamma} \eta_e \eta_i ,$$

где  $\eta_{\Gamma}$  - коэффициент использования химической энергии топлива;  $\eta_e$  - КПД по напряжению;  $\eta_i$  - КПД по току.

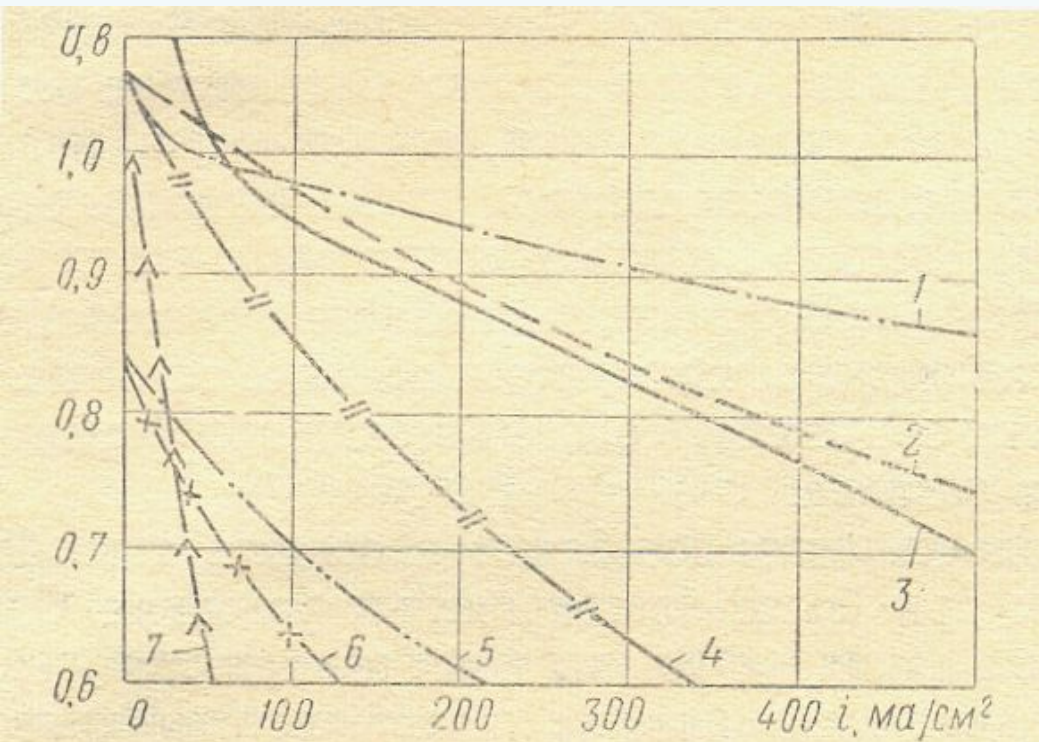


Рис. 18. Вольт-амперные характеристики топливных элементов.

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

### Классификация топливных элементов:

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



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

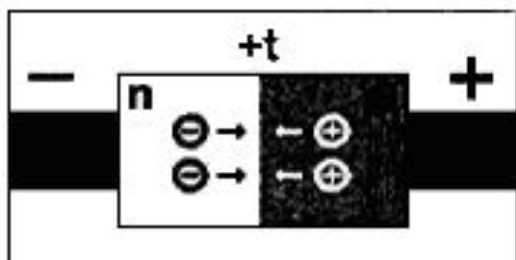
Рабочее напряжение колеблется в пределах от 0,5 до 0,9В и выше, при плотности тока от 50 до 900 и выше мА/см<sup>2</sup> поверхности электрода.

### Термоэлектрические генераторы.

Принцип работы основан на использовании эффекта, обнаруженного в середине XIX 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.

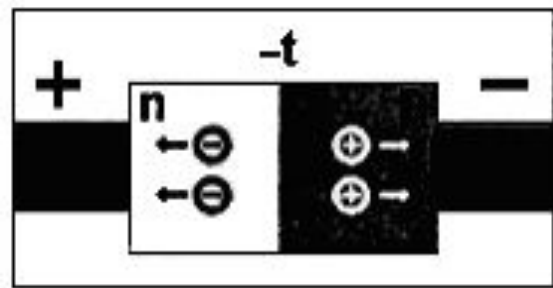
Эффект Пельтье, как и многие термоэлектрические явления, выражен особенно сильно в цепях, составленных из полупроводников с электронной (*n*-тип) и дырочной (*p*-тип) проводимостью.

Рассмотрим термоэлектрические процессы, происходящие в контакте таких полупроводников. Допустим, электрическое поле имеет такое направление, что электроны в полупровод-



нике *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



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 результате 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, образуемые 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.

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

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

Конструктивное исполнение полупроводникового термоэлектрического модуля Пельтье - на рисунке 19.

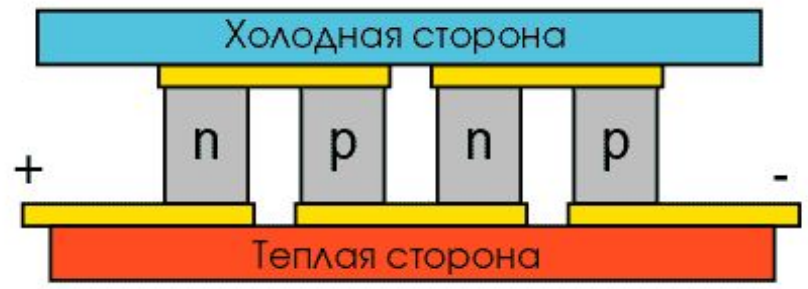


Рисунок 18. Использование полупроводников *p*- и *n*-типа в термоэлектрических холодильниках



Рис. 19. Конструктивное исполнение полупроводникового термоэлектрического модуля Пельтье

Термоэлектрические характеристики модуля Пельтье представлены на рис. 20.

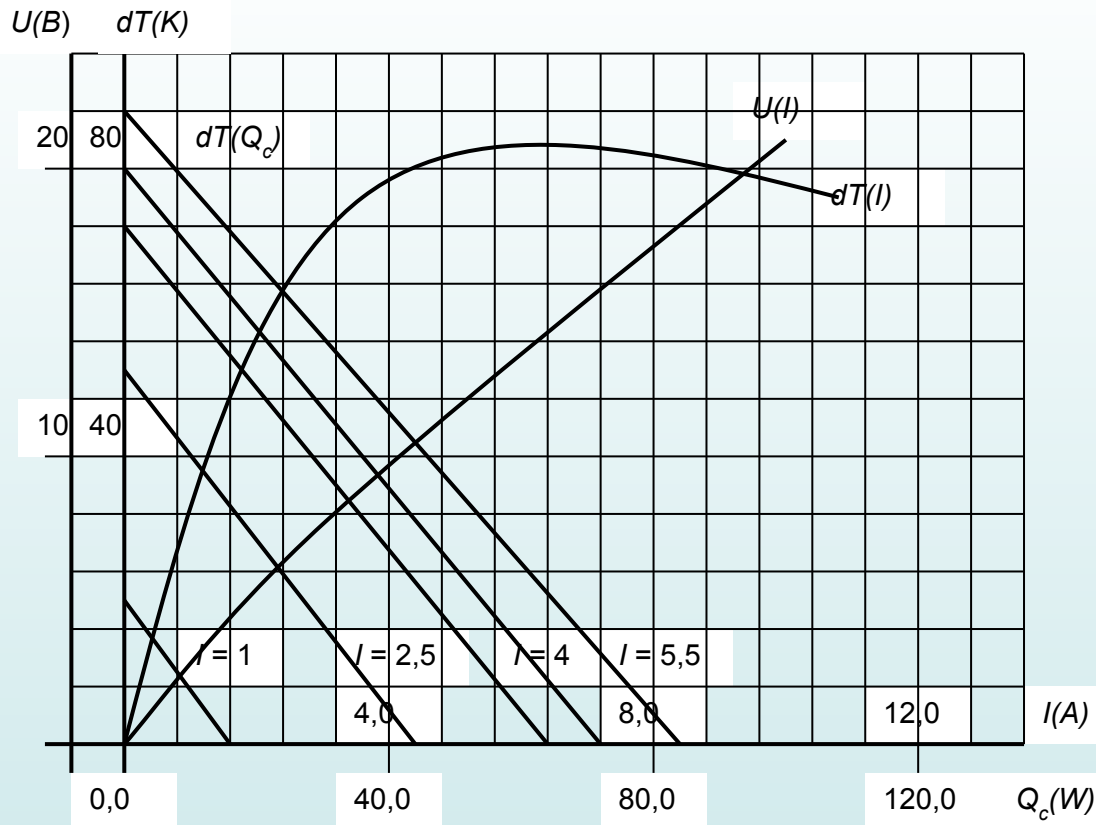


Рис. 20. Термоэлектрические характеристики модуля Пельтье

### 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.

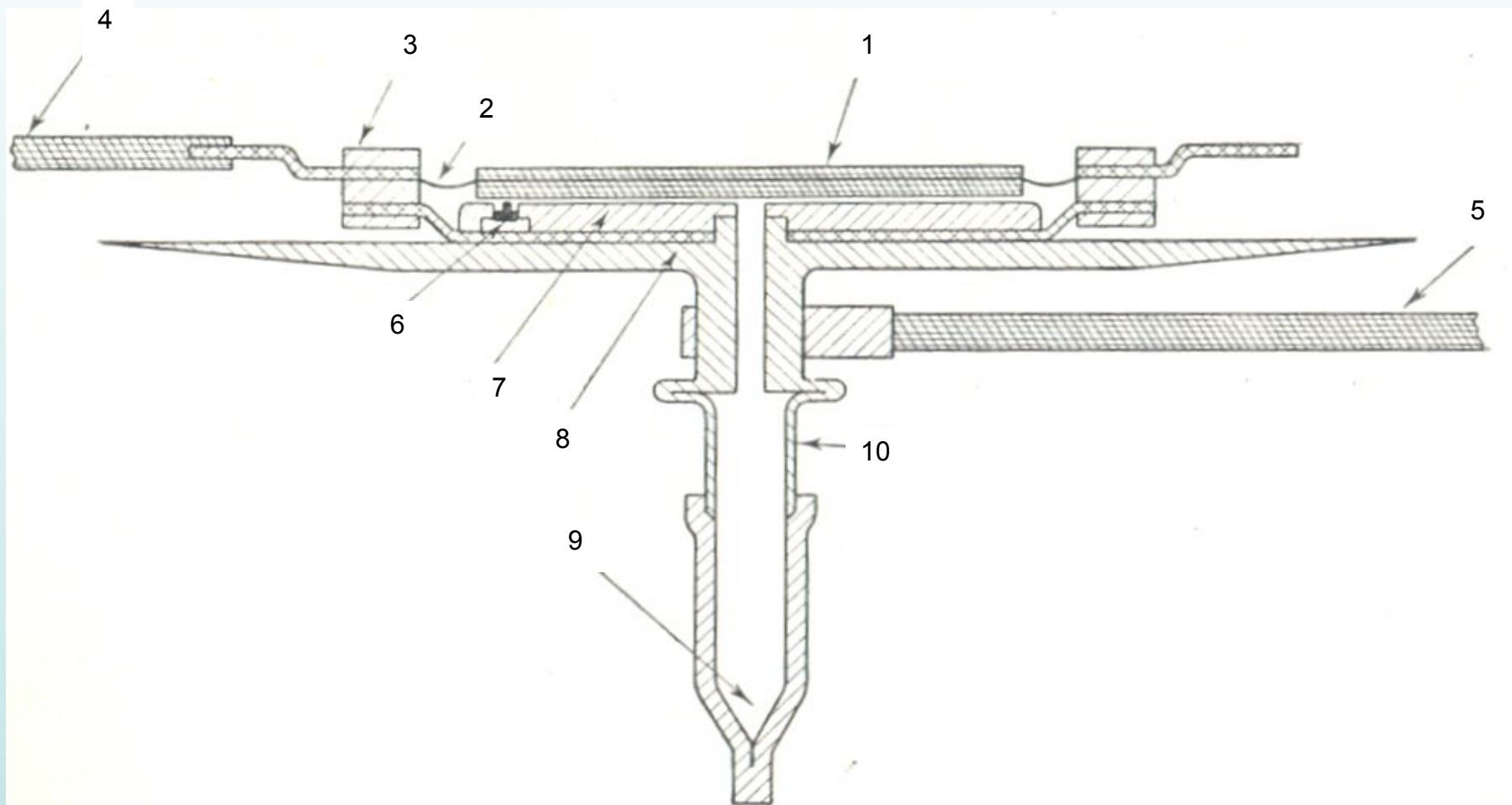


Рис. 21. Поперечный разрез цезиевого преобразователя, нагреваемого солнцем и радиатора  
1 – катод; 2 – катодная фольга; 3 – керамика; 4 – подвод к катоду; 5 – подвод к аноду; 6 – устройство для обеспечения зазора между анодом и катодом; 7 – анод; 8 – радиатор; 9 – резервуар; 10 – никелевая секция.

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

Рис. 22. нагрузочные характеристики преобразователя при различных температурах цезиевого резервуара

1 –  $t_{Cs} = 270^{\circ}\text{C}$ ; 2 –  $t_{Cs} = 295^{\circ}\text{C}$ ; 3 –  $t_{Cs} = 320^{\circ}\text{C}$ ; 4 –  $t_{Cs} = 340^{\circ}\text{C}$  (температура катода  $T_K \sim 2100^{\circ}\text{C}$ ).

Рис. 23. Расчетный КПД преобразователя в функции температуры катода