

С. Т. Фардзинов, обучающийся
творческого объединения «Физика-техника»

Т. И. Радченко,
*педагог дополнительного образования,
Государственное бюджетное учреждение дополнительного
образования «Республиканский центр детского технического
творчества», г. Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания*

И. В. Силаев,
*кандидат технических наук, доцент Северо-Осетинского
государственного университета*

Проект автономного комбинированного источника тока потенциально опасных космических объектов

Цель проекта — предложить идею об автономных источниках питания для космических аппаратов (КА), предназначенных следить за межпланетным пространством с целью обнаружения объектов потенциально опасных для Земли. Задача работы: изучив соответствующий теоретический материал по физике (о термо- и фотоэлементах) и астрономии, обосновать своё предложение о создании комплекса из фото- и термоэлементов для питания автономных космических аппаратов, выполняющих функции слежения за малыми объектами, осуществляющими потенциально опасное сближение с Землёй. Для лучшего изучения предмета были необходимы эксперименты с выбранными источниками тока и выполнение некоторых расчётов физического и астрономического содержания.

Гипотеза — возможность создания автономных аппаратов дальнего космического обнаружения потенциально опасных космических объектов. Назовём их космические буи. Они будут автономны, так как источники их энергии — природные процессы. То есть бу-

дет использоваться излучение Солнца и охлаждение в межпланетное пространство.

Объект исследования — источники тока для исследовательских космических аппаратов.

Предмет исследования — возможности данных источников тока в условиях космоса (с учётом специфики особых параметров орбит движения аппаратов, на которых будут установлены предлагаемые модели источников питания).

Методы исследования — изучение теоретического материала по физике и астрономии, выполнение экспериментов с термо- и фотоэлементами, выполнение расчётов и чертежей, относящихся к изготовлению и применению авторской модели источника тока повышенной надёжности.

Практическая значимость и актуальность проекта состоит в следующем. С некоторых пор люди осознали опасность, исходящую от космических объектов способных своим падением не только вызвать катастрофу в отдельном регионе планеты, а даже просто уничтожить всю нашу цивилизацию. Следо-

вательно, запуск КА, осуществляющих поиск и слежение за приближающимися к земной орбите объектами, имеет большое практическое значение. Таким образом, разработки, предлагаемые для таких аппаратов, улучшающие качество работы всегда будут представлять интерес для разработчиков космических программ. Тем более что в данном проекте речь идёт об источнике питания повышенной надёжности.

Новизной проекта стало авторское предложение комбинированного источника тока с защитными устройствами. Источник питания предназначен для автономных космических аппаратов. При этом защитные устройства предохраняют его от сбоя в работе или вообще отключения, в случае потери восполнения энергии при разориентировке аппарата по отношению к Солнцу, позволяющему снабжать исследовательский объект необходимой энергией сколь угодно долго. В ходе работы использовалась учебная литература по физике и астрономии для высших учебных заведений, а также сведения из интернета, связанные астероидно — кометной опасностью.

Фотоэлементы

На пластину n-типа вносится присадка, дающая проводимость p-типа. На глубине 2,5 мкм формируется p-n-переход [1]. При поглощении света появляются избыточные носители заряда за счёт разрыва ковалентных связей. А потенциальный барьер приводит к разделению зарядов (рис. 1).

Термоэлементы

Если один контакт двух металлов (полупроводников) нагревать, а другой охлаждать, то возникает термоэлектродвижущая сила. Это — термопара (термоэлемент) (рис. 2). Рис. 3 — термостолбик. (50 термопар).

$$\varepsilon T = \alpha_{1,2} (t - t_0),$$

где εT — термоэдс; $\alpha_{1,2} = \alpha_2 - \alpha_1$ — коэффициент термоэдс, t и t_0 — температуры горячего и холодного спая соответственно [1, 2].

Астероидно — кометная опасность

Словарь терминов МЧС: опасности космические — угроза вероятного падения на Землю (столкновения с Землей) малых космических тел [3] (метеоритов, комет, астероидов и др.), обладающих огромной кинетической энергией (рис. 4 а — г). Отсюда следует, что

угроза падения на нашу планету, является реальной угрозой, а не надуманными материалами из средств массовой информации. Источников опасных объектов достаточно много. Существует даже гипотеза о вымирании динозавров в результате похолодания, вызванного эффектом «ядерной зимы», спровоцированным падением какого-то объекта из космоса. 65 млн. лет назад. В результате такой катастрофы погибло $\frac{3}{4}$ живых существ. И вероятность новой катастрофы отлична от нуля. Так всех напугал челябинский болид 15 февраля 2013 года. Страшный пример — Аризонский кратер. Его параметры: 1186 x 1265 м, глубина 175 м, вал — 40–48 м.

Исследователи насчитали уже 15 000 астероидов, которые представляют потенциальную угрозу для Земли. В неделю обнаруживают до 30 новых околоземных объектов. Число программ, нацеленных на поиск таких тел, увеличивается. Последний, из пролетевших в опасной близости от Земли астероидов (16. 10. 2016 г.), имел диаметр 16–36 метров. Этот объект обнаружили за 5 дней до сближения. Опасным считается астероид Апофис, открытый в 2004 г. Его сближения будут в 2029 и 2036 гг. При этом проблема ухода от такого вида опасностей ещё только на стадии проектов и гипотез. Для борьбы предлагается ракетно-ядерная технология или окрашивание — для использования излучений. А 4 июля 2005 года провели эксперимент. В комету Темпеле диаметром 6 км выстрелили с американского КА снарядом (372 кг). Образовался кратер, но траектория не изменилась.

Результаты столкновения зависят от величины объектов. Объекты диаметром 20–30 м сгорают в атмосфере частично; 30–100 м могут вызвать локальную катастрофу; 100–500 м — региональную; более 1 км — глобальную; 10 км — гибель цивилизации.

Проведение экспериментов.

Использование фотоэлементов

Эксперименты с ФЭ на коротковолновой части спектра:

а) Освещённость 2 лк, $U = 192$ мВ, $I = 0,05$ А. Рис. 5 а.

б) Солнечная батарея — рис. 5 б. $U = 1$ В.

ФЭ на длинноволновой части спектра — рис. 5 в.

Использование термоэлементов

Термопара (металлы железо и константан). На рис. 6 представлены эксперименты, где измерения проводились аналоговым миллиамперметром и мультиметром (таблица 1). В результате хорошей теплопроводности металлов начинает прогреваться холодный спай, разность температур уменьшается, термоэдс уменьшается. И сопротивление металлов с повышением температуры увеличивается. Процесс генерирования тока стабилизируется при дополнительном охлаждении. Если начать нагревать другой спай, то направление тока меняется на противоположное. Рис. 7 а, б.

Термоэлемент из двух полупроводников с электронной и дырочной проводимостью. Рис. 8 а — снимок тепловизором при работе в режиме: 25% — инфракрасное излучение, 75% — видимое. Температура холодного спаи 220 С, а горячего — 950 С. На рис. 8 б, в — изменения термоэдс на экране мультиметра с течением времени.

Авторские модели экспериментальных термогенераторов

Авторские модели термогенераторов, изготовлены на базе элементов Зеебека — рис. 9 а — в. В установках полупроводниковый термоэлемент (элемент Зеебека) находится между двумя радиаторами, соединёнными с его холодными и горячими спаями соответственно. К нему подключена полезная нагрузка и вентилятор, необходимый для повышения КПД. Использование вентилятора для охлаждения холодных спаев и потребляющего часть энергии, производимой термоэлементом, поддерживает стабильную работу установки, так как способствует увеличению разности температур спаев. Значения ЭДС представлено в таблицах 2 и 3. За 15 с один радиатор нагреваем до 6000 С. В результате появляется электрический ток, достаточный для работы нагрузки (светодиод, радиопередатчик). Работа элемента Зеебека прекращается после окончания нагревания через 40 с. ЭДС — 3–4 В.

Одна из установок (рис. 9 в) представляет собой модель автономного радиомаяка, устанавливаемого на КА или на астероиде, являющемся потенциально опасным для Земли (с целью слежения за траекторией движе-

ния). Питание приёмника модели, подающего звуковой сигнал, идёт от гальванических элементов, так как приёмник — аналог приёмного устройства, которое будет располагаться на Земле или на КА-ретрансляторе. Блок — схема устройства (прототипа космического буя — маяка) на рис. 10.

Автономный комбинированный источник тока повышенной надёжности, использующий солнечную энергию

Предлагаемый проект автономного комбинированного источника тока повышенной надёжности, использующий солнечную энергию, предназначен для космических буюв, передающих данные о перемещении малых тел Солнечной системы, представляющих потенциальную угрозу для Земли. Источник тока комбинированный, так как в него входят и фото-, и термоэлементы. У каждого из них есть свои плюсы и минусы. Так КПД ФЭ выше, чем у ТЭ из металла. Полупроводниковые же термогенераторы не смогут выдержать суровые условия космической радиации. А работы по использованию карбида кремния не завершены. Но и солнечные батареи в условиях космоса заметно теряют эффективность. Для них также важно расположение по отношению к Солнцу. Бывали случаи потери связи с КА, если на солнечные батареи переставал попадать свет.

Часто применяют РИТЭГи — радиоизотопные термогенераторы, где нагревает спаи радиоактивные изотопы. Но со временем интенсивность излучения падает. И радиация не должна влиять на электронику КА. Кроме того, количество оптимального радиоактивного «топлива» ограничено.

Необходимость дополнительной установки термогенераторов

Для термогенератора потеря ориентации космическим аппаратом не существенна, так как инверсия холодных и горячих спаев приведёт только к тому, что появится ток противоположного направления. (В схеме на рис. 11 предусмотрен выпрямитель.) То есть, аккумуляторная батарея КА получит электроэнергию при переворачивании аппарата по отношению к Солнцу. Следовательно, в таком аварийном случае у КА всегда будет энергия, чтобы включить электродвигатели

и восстановить положение солнечных батарей. Таким образом, мы получаем источник тока для КА повышенной надёжности. Устройство предлагаемого термогенератора представлено на рис. 12 а — в. Для его работы требуется солнечный свет, нагревающий концы термопар, которые будут горячими, а охлаждение холодных концов должно происходить путём излучения в вакуум космического пространства. То есть эти концы находятся в тени специальной пластины (рис. 12 б- в). Внешний вид КА с комбинированным источником тока показан на рис. 13. Аппарат имеет обычные солнечные панели и резервно — аварийные термогенераторы, которые можно поворачивать с помощью электродвигателей. Конструкцией предусмотрено: термогенераторы изначально перпендикулярны друг другу и могут вращаться вокруг своей оси. Они должны обеспечивать аварийное питание, так как их работоспособность не зависит от того какие спай в тени, а какие на солнце. Также их можно использовать как резервный источник питания, если требуется включение дополнительной мощности. Рис. 14

Проект рассматривает фактически возобновляемый источник энергии. При этом для того, чтобы данные аппараты космического слежения за потенциально опасными объектами ближнего космоса могли охватить большее пространство и обнаруживать эти объекты, пока они ещё далеки от Земли, можно предложить для КА орбиты сходные с орбитой астероида Икар. Рис. 15. Вдали от Солнца радиопередатчики КА будут работать от аккумуляторных батарей. А приблизившись на достаточное расстояние к центральному светилу, начнут давать ток фото- и термоэлементы.

Запуск КА (космических буев, разбросанных в пространстве), осуществляющих поиск потенциально опасных объектов и слежение за ними, имеет большое практическое значение. И новые инженерные решения, улучшающие качество работы всегда будут востребованы. Особенно, если речь идёт об источнике питания повышенной надёжности. Таким образом, предлагаемый для космических аппаратов комбинированный источник тока с защитными устройствами (термогенераторами) найдёт своё место среди других разработок,

тем более что он получает энергию, используя Солнце и вакуум.

Библиографический список

1. Калашников С. Г. Электричество. — М.: Наука, 1970. — 540 с.
2. Прохоров А. М. Физический энциклопедический словарь. — М.: Сов. энциклопедия, 1984. — 590 с.
3. Воронцов-Вельяминов Б. А., Стратут Е. К. Астрономия. — М.: Дрофа, 2017. — 240 с.
4. studopedia.ru/15_51596_atmosferne-opasnosti.html Космические опасности

Приложение

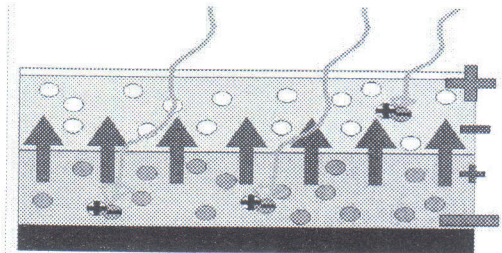


Рис. 1 — Фотоэлемент

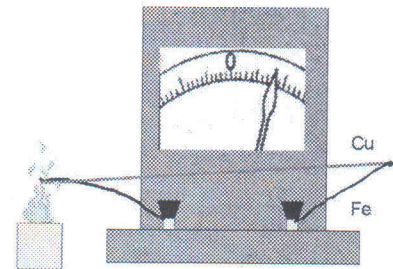


Рис. 2 — Термопара (Cu, Fe)

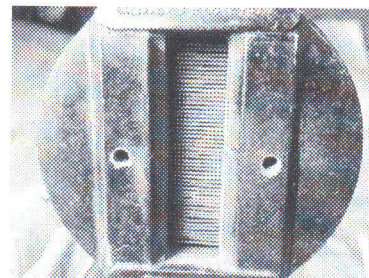


Рис. 3-Термостолбик



Рис. 4 — Метеоритная опасность

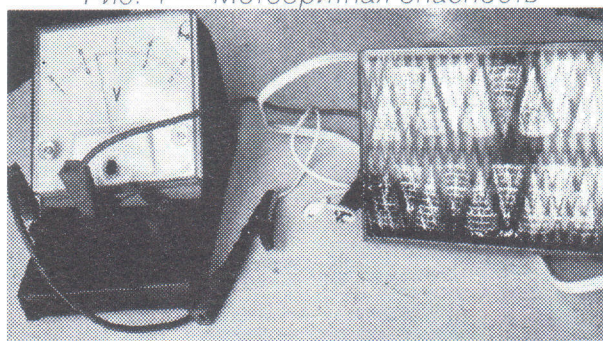


Рис. 5 а — в — Эксперименты с фотоэлементами

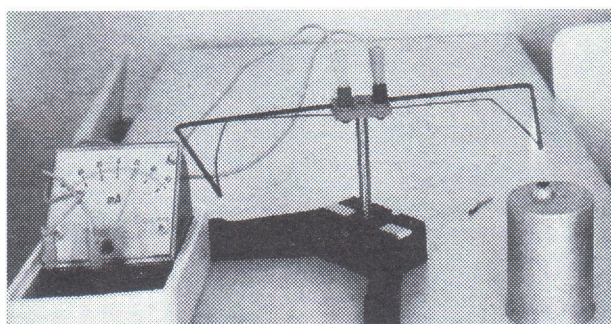


Рис. 6 а, б — Термопара: железо — константан

Таблица 1. Зависимость термоэдс от времени нагревания

Время, с	1	2	3	5	8	10	15	20
Термоэдс ϵ_T , мВ	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3

ЭДС уменьшается с течением времени, т. к. надо охлаждать 2-й спай

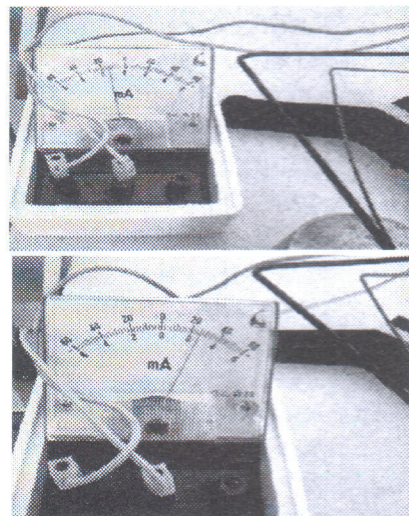


Рис. 7 а, б. — Изменение направления тока при инверсии спаев

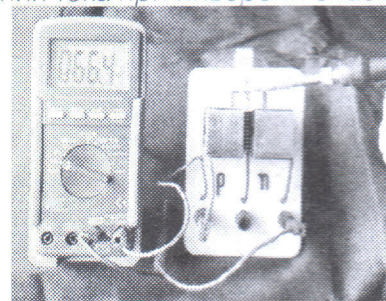


Рис. 8 — Зависимость термоэдс от времени нагревания ТЭ

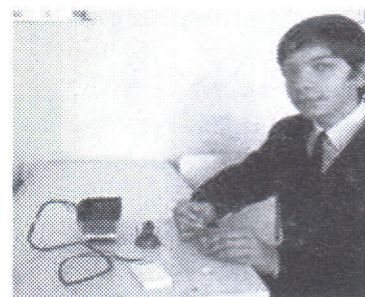


Рис. 9 а — в — Установки с элементами Зеебека

Таблица 2. ЭДС элемента Зеебека без принудительного охлаждения (уменьшение ЭДС в процессе прогрева холодных спаев через элемент)

Время, с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
ϵ_T , В	0	2,5	4	4	4	4	4	3,8	3,8	3,8	3,8	3,6	3,6	3,5	3,5

Таблица. 3. ЭДС элемента Зеебека с принудительным охлаждением

Время, с	0	10	20	30	40	60	120	3 мин	4 мин	5 мин
$\varepsilon T, В$	0	2,54	4	4	4	4	4	4	4	4

Вывод: вентилятор охлаждает холодные спаи и потребляет энергию. Но при этом он повышает КПД установки, увеличивая разность температур спаев.



Рис. 10 — Блок-схема установки. ЭЗ — элемент Зеебека, 1 — передатчик, 2 — цифратор, 3 — приёмник, 4 — дешифратор, 5 — источник тока

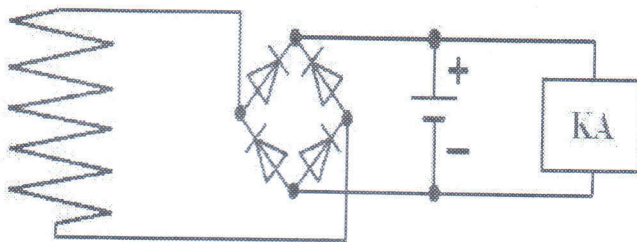


Рис. 11 — Принципиальная схема использования термогенераторов резервно — аварийного назначения в космических аппаратах

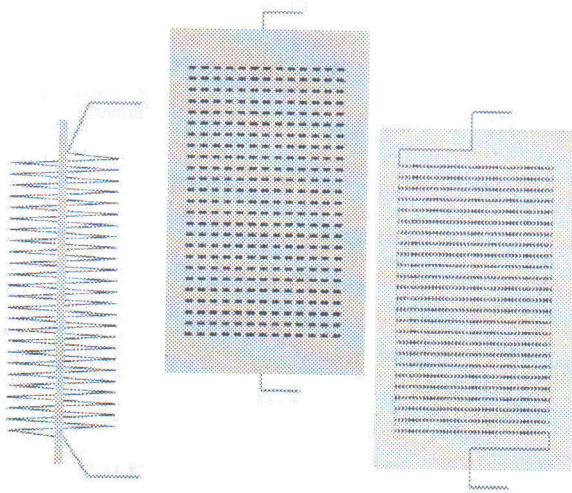


Рис. 12 а — в — Модуль термогенератора (вид сбоку, спереди, изнутри)

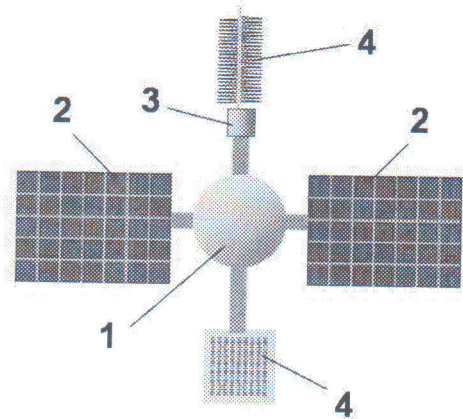


Рис. 13 — Космический аппарат с комбинированным источником тока

1. Космический аппарат
2. Солнечные батареи
3. Электродвигатель для возможного поворота термогенератора
4. Термогенераторы

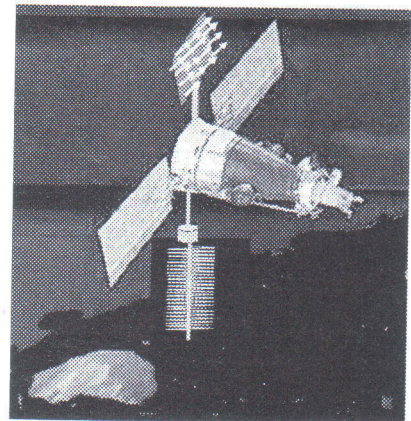


Рис. 14 — КА с комбинированными источниками тока

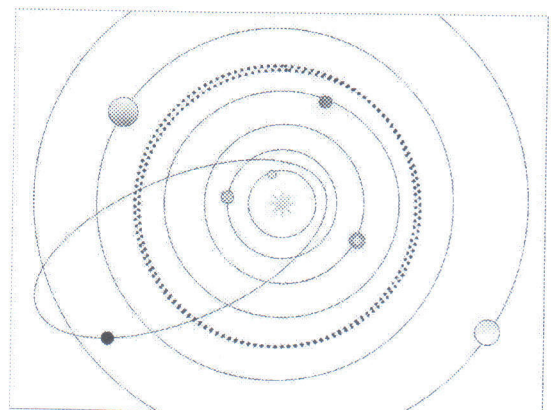


Рис. 15 — Предлагаемые орбиты КА, исследующих ближний космос