

Д. т. н. Б. Н. ФОРМОЗОВ

Россия, г. С.-Петербург, Балтийский ГТУ «Военмех»
им. Д. Ф. Устинова
E-mail: komdep@bstu.spb.su

Дата поступления в редакцию
11.08 2003 г.

Оппоненты д. т. н. Л. И. ХРОМОВ (ЦНИИ «Комета»,
г. С.-Петербург), д. ф.-м. н. Г. Н. ФУРСЕЙ (ГУТ
им. М. А. Бонч-Бруевича, г. С.-Петербург)

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ИК-ДИАПАЗОНЕ

Предлагается создать группировку из 3—4 геостационарных стабилизированных платформ с телевизионной аппаратурой на основе многоматричных фокальных решеток, чувствительных в диапазоне 3 и 5 мкм.

Создание в США в рамках программы DSP (Defence Support Program) геостационарных спутников с аппаратурой IMEWS (Integrated Missiles Early Warning System) с линейными ИК-приемниками в 2000 элементов и стабилизацией космического аппарата (КА) вращением со скоростью 6 оборотов в минуту [1] позволяло производить дистанционное зондирование Земли в спектральном диапазоне 2,7 мкм при угле поля зрения до 16° с использованием метрового космического телескопа системы Шмидта. Время кадра при сканировании вращением КА — 10 с. Это практически половина Земного шара с разрешением 1,5 км по Земле с высоты 40000 км.

Нежелание, в основном, НИЦ им. Г. Н. Бабакина при НПО им. С. А. Лавочкина и других предприятий бывшего МОМ СССР создавать КА со стабилизацией вращением вынудило разработчиков линейных ИК-приемников изобретать сложнейшие системы сканирования на КА с трехосной стабилизацией [2].

В свою очередь, наличие только КА с трехосной стабилизацией стимулировало разработку телевизионной аппаратуры на базе твердотельных телевизионных фотоэлектрических преобразователей (ТТФЭП) — матричных ИК-приемников на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) или фоторезистивных (или фотодиодных) матричных ИК-приемников с X—Y-организацией [3, 4]. Однако малые размеры ранних ТТФЭП не позволяли при использовании оптических систем с большим диаметром входного зрачка (а стало быть, с длинным фокусом) обеспечивать приемлемые углы поля зрения как на наземных, так и на внеатмосферных ИК-телескопах.

В конце 70-х — начале 80-х годов прошлого столетия американцы (это, в основном, научно-исследовательские центры в Санта-Барбаре, Лос-Аламосе, Лос-Анджелесе и Сан-Диего) поняли ошибочность тенденции ориентации только на КА с линейными ИК-приемниками и стабилизацией вращением.

Во-первых, они увеличили размер ИК-линейки в аппаратуре IMEWS до 6000 элементов, обеспечив разрешение по Земле не хуже 0,5 км, а во-вторых, снабдили датчик обнаружения вторым линейным ИК-приемником в 6000 элементов на основе (предположительно) линейки из материала $Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te$, чувствительным в диапазоне 4,3 мкм при умеренном охлаждении, что позволяет им обеспечивать обнаружение и сопровождение вторых и третьих ступеней межконтинентальных баллистических ракет (МБР) вплоть до отделения головных частей. Так, начиная с 1979—1980 гг. началось использование спутников DSP-I (Improved) с двумя линейными ИК-датчиками обнаружения, чувствительными в диапазонах 2,7 и 4,3 мкм. При этом радиационная система охлаждения (PCO) на основе космических радиационных теплообменников (КРТ) [5] обеспечивает охлаждение датчика обнаружения до 150—170 К ($-100...-120^\circ\text{C}$) без потребления электроэнергии.

Далее, была принята национальная программа США по созданию глобальной системы SBIRS (Space Based Infrared System) на основе трех видов спутников с трехосной стабилизацией:

— геостационарных, получающих целеуказания от спутников DSP-I (High SBIRS Satellite);

— высокоэллиптических (апогей — 46000 км) для наблюдения за запусками с полярных шапок;

— низкоорбитальных (Low SBIRS Satellite) на круговых орбитах (≈ 1000 км), взаимодействующих с наземными системами противоракетной и противовоздушной обороны (ПРО и ПВО), включая систему «Patriot», а также с системой спутников-перехватчиков и антиракетами [6—8].

Можно предположить, что Low SBIRS Satellite должен работать в диапазоне 8...14 мкм и не смотреть на Землю (чтобы не захлебнуться тепловым фоном дневной Земли), а, получая целеуказания от IMEWS и High SBIRS Satellite, отслеживать момент отделения головных частей МБР от второй или третьей ступени, наблюдение за которыми должно вестись в диапазоне 4,3 мкм со спутников DSP-I и High SBIRS Satellite.

Разработкой и закупками спутников DSP-I в настоящее время руководит Программный отдел по космической инфракрасной системе (Space Based Infrared System Program Office) Центра ракетных и космических систем ВВС США (Space and Missile Systems Center) в Калифорнии [1].

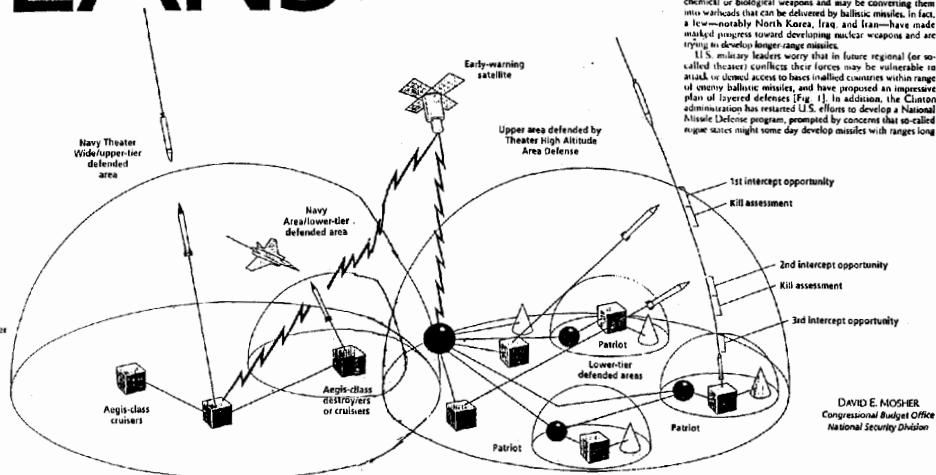
В американских изданиях (см., например, «Pentagon Readies SBIRS Award») содержатся публикации

THE GRAND PLANS

ballistic missile defense

[1] The United States plans to use a layered approach to protect its forces and allies against short-range ballistic missiles, which have ranges less than 3000 km. Area defenses such as the land-based Theater High Altitude Area Defense (THAAD) and the sea-based upper-tier defense will cover broad areas. Patriot PAC-2 and PAC-3 and the sea-based lower-tier defense will be a backup for targets missed by the upper tier and protect high-value targets such as airfields, ports, headquarters, and population centers. The Airborne Laser (not shown) will aim to destroy missiles during the boost phase, when their rocket motors are burning and before they can deploy warheads, decoys, or submunitions. A theater battle management system will coordinate the system's many components.

● = Battle management/Command, control, and communications center
 ■ = Launcher
 ▲ = Radar



Under cover of darkness, hostile forces cross the borders of a country of strategic importance to the United States and overrun it. U.S. forces are poised to rush to the region. But the opponent has ballistic missiles that may be armed with chemical, biological, or nuclear warheads. What's more, the missiles may have ranges long enough to strike the airfields and ports that U.S. forces must use to deploy to the region and to attack the population centers of regional allies. What should the United States do?

A futuristic scenario? Not at all. It happened when Iraq invaded Kuwait in 1990. Early the next year Iraq launched 88 missiles against targets in Saudi Arabia and Israel (the exact number is in dispute), but all carried only conventional warheads. Post-war analysis revealed that in point of fact Iraq did have chemical warheads for its missiles. More serious still, it was also building biological weapons and was closer than

experts elsewhere had expected to being able to build the nuclear weapon.

The Gulf War illustrated how essential ballistic missile defenses have become to the United States. Today, some 20 countries in the developing world have short-range ballistic missiles and the number is likely to rise in future years. Many of these same countries also currently possess, or are developing, chemical or biological weapons and may be converting them into warheads that can be delivered by ballistic missiles. In fact, a few—namely North Korea, Iraq, and Iran—have made marked progress toward developing nuclear weapons and are trying to develop longer-range missiles.

U.S. military leaders worry that in future regional (or so-called theater) conflicts their forces may be vulnerable to attack or denied access to bases in allied countries within range of enemy ballistic missiles, and have proposed an impressive plan of layered defenses (Fig. 1). In addition, the Clinton administration has restarted U.S. efforts to develop a National Airborne Laser program, prompted by concerns that so-called rogue states might some day develop missiles with ranges long

1st intercept opportunity
 Kill assessment
 2nd intercept opportunity
 Kill assessment
 3rd intercept opportunity

DAVID E. MOSHER
 Congressional Budget Office
 National Security Division

Рис. 1

«Ballistic Missile Defense: It's Back», «The Grand Plans» (рис. 1), в которых описывается сеть взаимодействующих систем DSP-I, SBIRS, сверхдальней радиолокации, систем спутников-перехватчиков и антиракет и систем ПВО («Patriot»). И это — уже в 1997 г.

В 1997 г. уже был заключен контракт на сумму в 1 млрд. долларов между Пентагоном и фирмой «Lockheed Martin» на разработку High SBIRS Satellite. В программе SBIRS также активно участвует известная фирма «Hughes».

Все эти факты свидетельствуют о том, что США фактически вышли из договора по ПРО-72 и начали активно разрабатывать свою национальную систему ПРО задолго до официального объявления о выходе из договора. Этому способствует и годовой профицит Федерального бюджета США в 100 млрд. долларов, который, безусловно, будет направляться на прорыв в области создания новых электронных, космических и информационных технологий.

1 мая 2001 г. президент США в своем заявлении высказался о необходимости совершенствования системы раннего оповещения о запусках ракет, т. е. IMEWS. (Он, очевидно, не считает ее элементом системы ПРО, а лишь системой мониторинга за запусками МБР в глобальном масштабе.) Для обеспечения и сохранения паритета в этой области Россия просто обязана иметь аналогичную систему глобального мониторинга — «систему предупреждения о ракетном нападении» (СПРН).

Кстати, термин «СПРН» семантически неверен. Предупредить о ракетном нападении можно лишь позвонив по телефону «США—РФ» или передав об этом сообщение по телевидению. Американский термин «раннее оповещение» более правильный, т. к. сначала необходимо обнаружить старт ракеты, а потом делить об этом сообщение.

Создание национальной системы ПРО РФ нерационально и нецелесообразно, ибо на это потребовалось бы истратить за ближайшие 8—10 лет 300—500 млрд. долларов США. Кроме того, руководство России намерено и дальше выполнять все условия договора ПРО-72 и договора ОСНВ-2, а это — залог стратегической стабильности в мире.

Предложение руководства РФ создать «нестратегическую» («ограниченную») систему ПРО для Европы можно считать лишь не очень удачным дипломатическим ходом, не более (хотя источник финансирования был бы неплохим). Однако создание СПРН, обеспечивающей глобальное наблюдение за северным полушарием Земли, вполне реально, если принять Национальную программу с участием ряда предприятий, которые еще не до конца разорили «псевдореформаторы» бостонской школы. Необходимо также участие стран Западной Европы и США в качестве партнера.

В этих целях необходимо возобновить взаимодействие с ФТИНТ АН Украины им. Б. И. Веркина и Харьковским НИИ монокристаллов, а также с Запорожским титано-магнийевым комбинатом. Необходимо возобновить кооперацию с минскими предприятиями КБТЭМ и НИПФП (старые названия) по разработке автоматических фотоштанпов и установок для проекционной фотолитографии на пластинах большого диаметра (США работают на кремниевых пластинах диаметром более 200 мм, а мы — диаметром 80 мм). Необходимо привлечение мощных сил в области цифровой обработки изображений с целью создания бортовых и наземных компьютерных систем.

В кооперации предлагается создать группировку из 3—4 геостационарных стабилизированных плат-

форм с телевизионной аппаратурой на основе многоматричных фокальных решеток, чувствительных в диапазонах 3 и 5 мкм, а также группировку, аналогичную Low SBIRS Satellite.

Уже в начале 80-х годов XX века, приступая к разработке несканируемых матричных твердотельных телевизионных датчиков обнаружения, американцы ориентировались на создание многоматричных мозаичных фокальных решеток (МФР) (Focal plane array), состоящих из набора фотоприемных модулей, изготовленных по так называемой Z-технологии, когда в X—Y-плоскости располагаются фоточувствительные матричные ИК-БИС, а в Z-направлении — схемы коммутации, управления и предварительной обработки видеосигнала (рис. 2) [9].

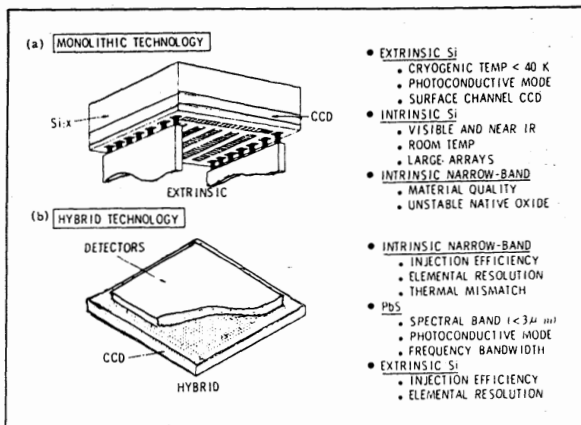
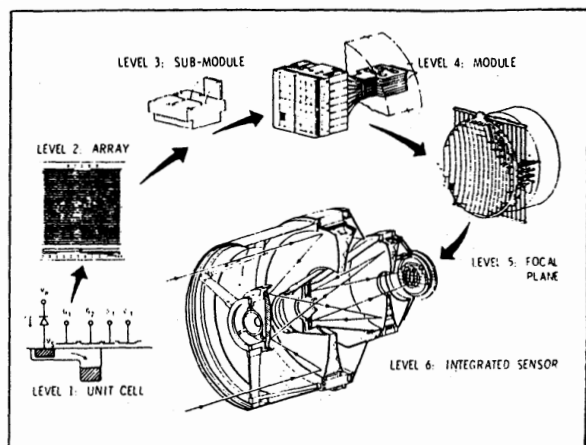


Рис. 2

При этом если имеются в виду МФР для телескопа, работающего в видимом диапазоне — В-, V-, R-, I-диапазонах Международной фотометрической системы (МФС) — 0,4...1,2 мкм, то построение МФР для телескопа на этом практически заканчивается (см. рис. 2). Но если требуется обеспечить работу в K-, L-, M-, N-, Q- и др. диапазонах МФС (2,0...25,0 мкм) или работу в видимом диапазоне с большим временем накопления, то необходимо обеспечить стыковку МФР с космической или наземной системой охлаждения на криогенном уровне температур.

Самое парадоксальное, что первые экспериментальные образцы охлаждаемых Z-модулей появились у нас в ЦНИИ «Электрон» — если не раньше, то, как минимум, одновременно с США

[10, 11]. Однако все эти работы давно приостановлены, хотя небольшие творческие коллективы, способные возобновить их, еще сохранились.

Отрадным является тот факт, что ЛОМО освоило разработку и производство легких метровых космических телескопов [12], что открывает возможность создания СПРН с телевизионной аппаратурой, обеспечивающей глобальное наблюдение и оповещение о пусках МБР по всему северному полушарию Земли, если аппаратуру оснастить МФР.

Датчик обнаружения — МФР — представляет собой набор модулей по Z-технологии, стыкуемых по всем четырем сторонам с другими модулями практически без нефоточувствительных зазоров [9, 13]. Размещение отдельных модульных фотоприемных устройств (ФПУ) в диапазонах 3—5 и 8—12 мкм с небольшими объективами (диаметром главного зеркала 300—400 мм) на низкоорбитальных спутниках могло бы привести к созданию систем обнаружения целей и наведения на них высокоточного оружия.

Для обеспечения необходимой чувствительности и глобального угла поля зрения МФР должна располагаться в фокусе метрового телескопа Шмидта с углом поля зрения порядка 16°.

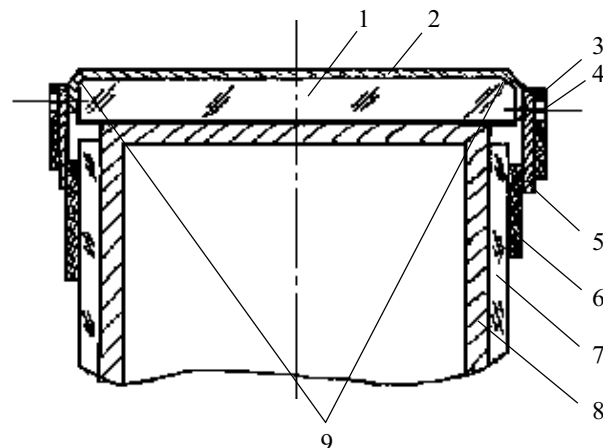


Рис. 3. Конструкция фотоприемного модуля для МФР: 1 — ТТЭП; 2 — координатная шина; 3 — полиимидная пленка; 4 — окно в пленке для микросварки; 5 — алюминиевая полоска; 6 — БИС; 7 — печатная плата; 8 — корпус фотоприемного модуля; 9 — фаски (5 мкм)

Криостатирование МФР возможно с использованием газовых криогенных машин (ГКМ), работающих по циклу Стирлинга, с теплообменными гелиевыми контурами и аккумуляторами холода на плавящихся криогенных веществах (твердый неон, твердый азот, твердый аргон, твердый пропан) [14, 15].

Тип ГКМ, температура криостатирования МФР и, следовательно, тип аккумулятора холода определяются спектральным диапазоном чувствительности МФР. Диапазон температур криостатирования — от 30 до 80 K [14, 16]. Циркуляционная двухклапанная система охлаждения фотоприемного датчика 12, 13 (рис. 4) использовалась в сублимационном аккумуляторе холода (САХ) КТ-12, разработанном ФТИНТ АНУ [17]. Она позволяет при периодическом отключении производить отогрев датчика обнаружения для устранения криоосадков.

Аккумуляторы холода на плавящихся веществах прекрасно зарекомендовали себя на КА «Вега-1» и

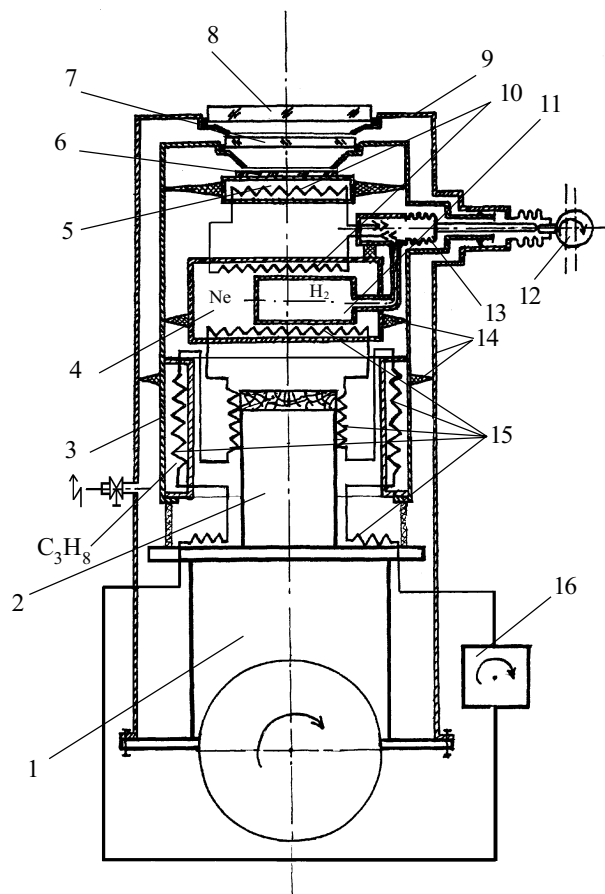


Рис. 4. ФПУ на основе ГKM Стирлинга с аккумуляторами холода на твердом неоне:

1 — ГKM Стирлинга; 2 — 2-я ступень ГKM; 3 — экран; 4 — контейнер с твердым неоном; 5 — теплообменник ТТФЭП; 6 — ТТФЭП; 7 — охлаждаемый фильтр; 8 — входное оптическое окно; 9 — наружный корпус; 10 — змеевики теплообменников ТТФЭП и неона; 11 — контейнер с жидким водородом; 12 — привод циркуляционной системы ТТФЭП; 13 — сильфонный насос для H_2 ; 14 — теплоизолирующие опоры; 15 — змеевики теплообменников ГKM и неона; 16 — компрессор для теплообменного гелия

«Вега-2» во время главных сеансов 06.03 1986 г. и 09.03 1986 г. при телевизионной съемке ядра кометы Галлея и при телевизионной съемке Фобоса в 1989 г., когда КРТ для охлаждения ПЗС-матриц попадали практически под прямую солнечную засветку на 30—40 мин [18, 19]. Ресурс непрерывной работы бортовой телевизионной аппаратуры не менее 3—5 лет при моторесурсе ГKM всего в 5000—10000 ч обеспечивается за счет включения ГKM периодически на 2—3 часа в сутки для отверждения расплавленного (за счет теплопритоков от датчиков обнаружения и КА [16]) криогенного вещества в аккумуляторах холода. При этом холодопроизводительность ГKM должна быть в 5—6 раз выше, чем суммарный теплоприток к ФПУ и аккумуляторам холода, что вполне реально при энергопотреблении 1,2—1,5 кВт.

Таким образом, представляется необходимым и технически возможным создание системы глобального дистанционного зондирования северного полушария Земли в ИК-диапазоне с геостационарных орбит. Такая программа может быть реализована на международном уровне.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Тарасенко М. Американский спутник раннего предупреждения // Новости космонавтики. — 1999. — № 5. — С. 31—34.
2. Мирзоева Л. А., Камешков Г. Б., Лустберг Э. А. и др. Космическая сканируемая система для обнаружения лесных пожаров // Оптический журнал. — 1991. — № 8. — С. 14—18.
3. Грудзинский М. А., Зайцев В. П., Иванов С. А. и др. Телевизионная твердотельная система с переменными параметрами разложения // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. — 1984. — Вып. 1. — С. 3—10.
4. Fouks B. I. Nonstationary behavior of low photon detectors / Proceedings of an ESA symposium on photon detectors for space instrumentation. — Noordwijk, The Netherlands. — 1992. — P. 167—174.
5. Инфракрасные методы в космических исследованиях / Под ред. В. Манно и Дж. Ринга. — М.: Мир, 1977.
6. Anselmo J. C. Pentagon reads SBIRS award // Aviation Week and Space Technology. — 1996. — N 4. — P. 94.
7. Braham R. Ballistic Missile Defence: It's Back, Special report; The Grand Plans // IEEE Spectrum. — September, 1997. — P. 26—29.
8. Stein R. M., Little J. Ballistic Missile Defence: Readers respond // Ibid. — November, 1997. — P. 70—75.
9. Chan W. S. Focal plane architecture: an overview // Optical Engineering. — 1981. — Vol. 20, N 4. — P. 574—578.
10. Agranov G. A., Novoselov S. K., Stepanov R. M. et al. Lead chalcogenides IR photosensitive array detector with coordinate addressing / Proceedings of an ESA Symposium on Photon Detectors for Space Instrumentation. — Noordwijk, The Netherlands. — 1992.
11. Формозов Б. Н. Введение в криогенную микроэлектронику. — СПб.: Наука, 2001.
12. Маломед Е. Р. Крупногабаритные оптико-электронные телескопические комплексы — перспективы развития / Труды Науч.-практ. конф., посвященной 40-летию первого полета человека в космос. — М.: ВКУ им. А. Ф. Можайского, 2001.
13. Пат. 2209491 России. Фотоприемный модуль для мозаичной фокальной решетки на основе матричных ТТФЭП / Б. Н. Формозов. — 2003.
14. Грезин А. К., Зиновьев В. С. Микрокриогенная техника. — М.: Машиностроение, 1977.
15. Малков М. П., Данилов И. Б., Зельдович А. Г., Фрадков А. Б. Справочник по физико-техническим основам криогеники. — М.: Энергия, 1973.
16. Пат. 2206027 России. Криостатированная фотоприемная система для внеатмосферной астрономии, космических исследований и дистанционного зондирования Земли / Б. Н. Формозов. — 2003.
17. Михальченко Р. С., Вакуленко В. Д., Архипов В. Т. и др. Двухкомпонентный сублимационный аккумулятор холода КТ-12 / В кн.: Техника низких температур. — Киев: Наукова думка, 1979. — С. 22—30.
18. А. с. 1293453 А1 СССР. Система стабилизации параметров фотоэлектрического преобразователя, расположенного на космическом аппарате / И. А. Галаткин, В. И. Костенко, Б. Н. Формозов. — 1987.
19. Аванесов Г. А., Зиман Я. Л., Тарнопольский В. И. и др. Телевизионная съемка кометы Галлея. — М.: Наука, 1989.