

Р. Хадсон, Я.Б. Герчиков, Ю.Е. Голубчин, С.Г. Кин

Инфракрасные системы

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 621.3
ББК 31.352
Р11

P11 **Р. Хадсон**
Инфракрасные системы / Р. Хадсон, Я.Б. Герчиков, Ю.Е. Голубчин, С.Г. Кин – М.: Книга по Требованию, 2021. – 532 с.

ISBN 978-5-458-46111-5

Данное издание посвящено принципам проектирования инфракрасных систем. В книге приведено излучение целей и фонов, пропускание атмосферы, оптическая модуляция, оптические системы и материалы, приемники инфракрасного излучения и холодильники для них, обработка и индикация сигналов. Включено большое число справочных данных в виде, удобном для непосредственного использования в инженерных расчетах. Книга может быть использована инженерно-техническими работниками, а также студентами и аспирантами, специализирующимиися в области инфракрасной техники. Перевод с английского.

ISBN 978-5-458-46111-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

После краткого введения (гл. 1) следующие 11 глав части I книги Хадсона посвящены инженерному описанию элементов системы. Здесь рассмотрены характеристики излучения типичных целей и фонов, пропускание атмосферы, оптические системы и оптические материалы, оптическая модуляция, приемники инфракрасного излучения и холодильники для них, обработка и индикация сигналов. В гл. 13 анализируется функциональная связь между элементами и их влияние на выходные характеристики системы. Гл. 14 представляет собой развернутый пример эскизной разработки конкретной системы с использованием предшествующих материалов книги. Важным достоинством книги является обилие графиков, таблиц и номограмм, облегчающих и ускоряющих инженерные расчеты.

Большой интерес представляет справочный материал, помещенный в книге. Надо отметить подробные и приведенные в очень удобной для использования форме характеристики наиболее употребительных приемников инфракрасного излучения (гл. 10), а также публикуемые впервые в удобном для инженерных расчетов виде данные о пропускании атмосферы в окне 7—14 мкм.

Книга снабжена обширной библиографией. Кроме нескольких сотен обычных библиографических ссылок (до 1969 г.) в части I книги, свыше 1400 ссылок содержится еще в части II, которая посвящена применению инфракрасной техники и представляет собой библиографический указатель с аннотациями автора. Самостоятельный авторский текст в части II сведен к минимуму. Можно надеяться, что читатель по достоинству оценит построенное по такому оригинальному плану описание областей применения инфракрасных систем в военном деле (гл. 16), промышленности (гл. 17), медицине (гл. 18) и научных исследованиях (гл. 19). Как указывает сам автор, некоторые аннотации неизбежно отражают его несколько субъективную оценку источников, в связи с чем при переводе часть аннотаций мы сочли целесообразным сократить или опустить.

Часть II книги, безусловно, представляет большой самостоятельный интерес и дает читателю уникальный по полноте охвата библиографический указатель по зарубежной литературе в области инфракрасной техники.

Учитывая все перечисленные особенности книги, можно надеяться, что предлагаемая вниманию монография Хадсона будет с интересом встречена специалистами в области инфракрасной техники и смежных областей.

Книга будет полезна также студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Н. В. Васильченко

Введение

1.1. Исторический обзор

Под инфракрасной областью понимают участок электромагнитного спектра, лежащий между видимым диапазоном и диапазоном СВЧ — в интервале волн 0,75—1000 $\mu\text{м}$. Инфракрасные лучи были открыты в 1800 г. Уильямом Гершелем [1—4]. История развития инфракрасной техники со времени этого открытия обстоятельно изложена в серии статей [5—8], а также [9, 13].

С начала XX в. усиливается интерес к применению инфракрасной техники для решения ряда практических проблем. В течение 40 лет начиная с 1903 г. развитие инфракрасной спектроскопии, прецизионной радиометрии, стандартизации и метрологии в инфракрасной области, радиометрических измерений температур звезд и планет, использование источников инфракрасного излучения для медицинских целей и т. п. можно проследить по работам Кобленца [10, 11]. Патентная литература 1910—1920 гг. содержит предложения по созданию инфракрасных приборов обнаружения кораблей, самолетов и людей, а также систем секретной связи, активных систем обнаружения, устройств для наведения авиаорпед и дистанционного измерения температуры.

Во время первой мировой войны обе воюющие стороны вели исследования в области военного применения инфракрасной техники. Было разработано и испытано в полевых условиях несколько экспериментальных образцов систем связи. Поисковые системы, разработанные в этот период, могли обнаруживать самолеты на расстояниях порядка 1,5 км и живую силу противника на расстоянии до 300 м. В период между первой и второй мировыми войнами началась разработка фотонных приемников и преобразователей изображения; инфракрасная спектроскопия стала мощным средством химического анализа [12—14]. Электронно-оптические преобразователи изображения, разработанные накануне второй мировой войны, представляли значительный интерес для военных применений. Эти приборы могли обеспечивать скрытое обнаружение объектов, освещенных инфракрасными лучами специального источника.

Система, использующая электронно-оптический преобразователь с инфракрасным осветителем, является *активной*, т. е. она сначала должна осветить цель, а затем принять отраженное от

цели излучение. В отличие от активной *пассивная* система не имеет осветителя и работает по собственному излучению цели.

В течение второй мировой войны был разработан целый ряд инфракрасных' приборов военного назначения. Однако лишь сравнительно небольшое число образцов инфракрасной аппаратуры было доведено до стадии промышленного производства, причем почти все они являлись приборами активного типа. В 1941—1943 гг. немцы успешно применяли в Африке инфракрасный телефон. Вероятно, первой работой по созданию инфракрасной системы была разработка немцами системы управления огнем для танков на базе электронно-оптических преобразователей (1944 г.). Эффективность системы, по-видимому, оценивалась германским командованием не очень высоко, и применение ее во время войны было ограниченным [15]. В США были разработаны системы связи для флота и простые визиры для обнаружения источников инфракрасной подсветки в активных системах противника. Хорошо известен разработанный в США снайперскоп, состоящий из электронно-оптического преобразователя и инфракрасного осветителя, смонтированных на карабине. Снайперскоп обеспечивал ведение прицельной стрельбы в полной темноте на расстоянии до 70 м. Как в США, так и в Германии были разработаны активные приборы с электронно-оптическими преобразователями для скрытного вождения боевой техники ночью, но лишь часть из них нашла применение до конца войны. Япония, планировавшая производство подобных активных инфракрасных приборов, также не смогла применить их во время войны.

Несмотря на ограниченное применение инфракрасной техники в период второй мировой войны, военные разработки стимулировали интенсивное развитие в послевоенный период работ по созданию новых усовершенствованных приемников инфракрасного излучения и оптических материалов, прозрачных в инфракрасной области спектра. Позднее начали проводиться работы по созданию инфракрасной аппаратуры для применения в промышленности, науке и медицине. В конце 50-х гг. в печати появились сообщения об успешном применении инфракрасных головок самонаведения снарядов («Сайдуиндер», «Фалкон»); методы инфракрасной техники начали интенсивно применяться для стабилизации положения космических кораблей, измерения температуры планет, проведения механических испытаний образцов без их разрушения, ранней диагностики рака и т. п.

1.2. Рынок сбыта инфракрасных приборов

Инфракрасная техника к настоящему времени стала самостоятельной отраслью промышленности, и объем ежегодной продажи инфракрасных приборов достиг значительных разме-

ров. Точную цифру для США назвать трудно, но приблизительный объем указать можно. По большинству оценок приборы военного назначения по объему продукции составляют около 3/4 всего рынка инфракрасных приборов. Из-за секретности и недостаточно детального опубликования сведений о бюджете многие военные ассигнования, в конечном счете направленные на производство инфракрасных приборов, трудно оценить и учесть. Четверть всех инфракрасных приборов, относящаяся к невоенным применениям, включает оборудование инфракрасной спектроскопии для химического анализа, аппаратуру для контроля за производственными процессами и для медицинской диагностики, системы предупреждения пожаров и т. п.

Наиболее полное обследование рынка сбыта инфракрасных приборов было проведено в 1959 г. Стэнфордским исследовательским институтом [16]. По оценке института объем рынка сбыта составлял в 1958 г. 100 млн. долл. и должен был достичь 1 млрд. долл. между 1961 и 1964 гг. По оценке фирмы «Robert Manley Associates» объем рынка инфракрасных приборов в 1962 г. составлял около 250 млн. долл. и должен был достичь 500 млн. долл. в 1965 г. [17, 18]. По мнению автора данной книги, на самом деле эти цифры несколько ниже — 125 млн. долл. в 1960 г. и 350 млн. долл. в 1968 г. Объем рынка инфракрасных приборов для невоенной промышленности составил для 1959 г. 15 млн. долл. [19]. Однако необходимо отметить, что одна из фирм, производящих инфракрасную аппаратуру для обнаружения перегрева букс железнодорожных вагонов, считала, что уже к 1961 г. продажа этой аппаратуры железным дорогам США достигнет 20 млн. долл. Приведенные цифры говорят о том, что на базе открытия Гершеля развилась важная и доходная отрасль промышленности.

1.3. Проектирование систем (системотехника)

Непрерывно возрастающий темп появления новых научных открытий потребовал существенного ускорения процесса внедрения научных достижений в инженерную практику и вызвал к жизни новую отрасль техники, решающую задачу проектирования больших систем, — системотехнику [20]. В этой книге автор попытался показать, как некоторые общие методы системотехники могут помочь при проектировании инфракрасных систем.

Системой называется совокупность элементов, функционально связанных между собой таким образом, чтобы выполнять определенную задачу. Системы вооружения или связи являются примерами физических систем. Необходимо подчеркнуть, что совокупность определенных элементов, рассматриваемая как система одним специалистом, может для другого специалиста

являться подсистемой, всего лишь элементом более сложной системы.

Системотехника — понятие, которое очень трудно определить кратко. Холл [21] посвятил этому определению почти два десятка страниц и все же определение выглядит неполно. В самом простом смысле под системотехникой понимают дисциплину, дающую методический подход к проектированию систем, особенно таких сложных систем, для которых в принципе невозможна детальная оценка всех особенностей работы системы одним человеком.

Хотя разработка каждой конкретной системы отличается своей спецификой, можно выделить следующие общие этапы разработки:

1. Общие исследования проблем.
2. Постановка задач.
3. Выбор совокупности характеристик системы.
4. Синтез системы.
5. Анализ системы.
6. Проектирование системы.
7. Оценка характеристик системы.
8. Испытания системы.

Общие исследования проблем дают информацию общего характера, необходимую при составлении перспективных программ. Исследования должны обеспечить широкий обзор целой области, например связи, наблюдения за полем боя и т. п., с упором на ее современные и перспективные потребности и на средства их удовлетворения. Важной целью общих исследований является подтверждение актуальности задачи для данной организации. Этот этап не обязательно является частью проектирования системы: часто рассмотрение имеет целью анализ рыночной конъюнктуры или служит заказчику для уточнения собственных потребностей и системы кооперации при разработке.

Этап *постановки задач* начинается после определения требований к системе и принятия решения о том, что дальнейшая разработка соответствует интересам фирмы. Постановка задач формулируется на основе повторного рассмотрения результатов общих исследований и сбора дополнительной информации, необходимой для четкой постановки задач. Важно при этом по возможности учесть не только уже существующие, но и возможные в будущем условия работы системы. Оцениваются ориентировочно стоимость, вес, габариты, надежность, сложность работы системы и относительная важность этих факторов.

Выбор совокупности характеристик системы является логическим продолжением этапа работы по постановке задач. На стадии выбора характеристик стараются возможно точнее определить, что должна делать система, и выбирают количествен-

ные критерии для оценки системы по входу и выходу, используемые на дальнейших стадиях разработки.

Синтез системы — это выбор общей схемы системы, удовлетворяющей предъявляемым к ней требованиям. Обычно рассматривают одновременно несколько вариантов схем. Их сравнение производят при *анализе системы* (анализ позволяет выбрать оптимальный вариант). На стадии анализа инженер получает возможность сопоставить стоимость системы и степень достижения целей, стоящих перед системой.

Проектирование системы является по существу первой стадией собственно инженерной разработки, в результате которой система может быть воплощена в материале. Обычно проектирование носит циклический характер — после предварительной проработки возвращаются к анализу системы, сравнивают получаемые характеристики с требуемыми и продолжают проектирование с учетом результатов сравнения. На этом этапе очень важно уметь вовремя остановиться, т. е. определить, когда дальнейшее усовершенствование системы будет оправдывать поговорку «лучшее — враг хорошего». Решения такого рода обычно принимают прежде всего на базе оценки стоимости системы.

Оценка характеристик системы производится в ходе испытаний макета, построенного при проектировании системы. Инженер-проектировщик получает на этой стадии важные данные для улучшения системы в ходе дальнейшей разработки, а заказчик — реальное представление о том, насколько выполняются его требования.

Наконец, *испытания системы*, начинающиеся с момента установки системы на объект и продолжающиеся в течение всего времени ее работы, обеспечивают поступление важнейшей информации по каналам обратной связи к инженеру-разработчику — это информация о реальных характеристиках системы, надежности и недостатках отдельных узлов и возможностях и особенностях системы, не учтенных при разработке. Цели и задачи системы редко остаются неизменными в течение всего периода ее эксплуатации (они обычно расширяются) и инженер всегда должен быть готов модифицировать систему в соответствии с усложнившимися задачами.

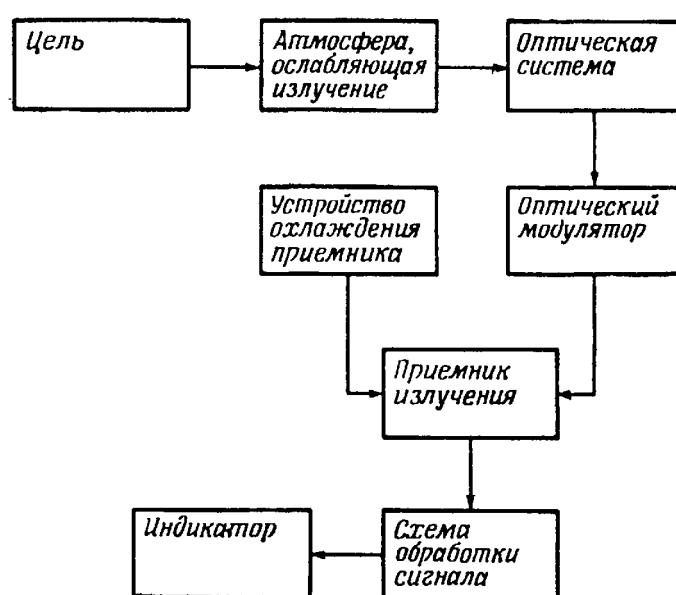
Отсылая читателя за дальнейшими сведениями по системотехнике к литературе [21—24], зададим вопрос: что представляет собой инженер-системотехник как специалист? Что это за мастер на все руки, который разбирается во всех деталях системы? Конечно, инженер-системотехник чаще всего является специалистом в одной узкой области, обычно в той, в которой он работал до того, как взялся за проектирование больших систем. Инженера-системотехника трудно специально подготовить в высшей школе: обычно это человек с большим опытом, кото-

рый на каком-то этапе своей деятельности решил, что ему интереснее повышать свою квалификацию скорее «вширь», чем «вглубь». Инженер-системотехник должен обладать талантом организатора больших производственных коллективов. Ему не обязательно быть специалистом в каждой узкой отрасли, имеющей отношение к проектируемой системе, однако он должен владеть техническим языком каждой такой узкой отрасли.

Цель этой книги — дать инженеру-системотехнику важнейшие сведения из различных отраслей, необходимых для успешного проектирования инфракрасных систем. При этом особо подчеркиваются возможности и ограничения, характерные для каждой отрасли.

1.4. Инфракрасная система

Элементы инфракрасной системы показаны на блок-схеме (фиг. 1.1). Предполагается, что интересующий нас объект-цель излучает энергию в каком-либо участке инфракрасного спектра.



Система может проектироваться для обнаружения наличия цели, отслеживания ее при движении, получения информации, необходимой для опознавания цели или измерения ее температуры. Когда излучение от цели проходит некоторый участок земной атмосферы, оно ослабляется, так как атмосфера не

Фиг. 1.1. Элементы инфракрасной системы.

полностью прозрачна. Оптическая система, аналогичная по назначению радиолокационной антенне, собирает некоторое количество излучения от цели и направляет его на приемник, преобразующий излучение в электрический сигнал. Перед тем как попасть на приемник, излучение может проходить через модулятор, в результате чего вырабатывается кодированная информация, позволяющая определить направление на цель или выделить отличия цели от мешающих деталей фона. Поскольку многие приемники требуют охлаждения, может оказаться необходимым наличие специального устройства для этих целей. Электрический сигнал приемника поступает в схему обработки, где происходит усиление сигнала и выделение необходимой ин-

формации. Заключительным этапом является использование полученной информации для автоматического управления некоторым процессом или подача информации на индикатор для анализа ее оператором.

Часть I книги посвящена последовательному изложению сведений, относящихся к каждому элементу системы. В части II дан обзор применений инфракрасной техники по имеющейся обширной литературе (до 1968 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Herschel W., *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, **90**, 255 (1800).
2. Herschel W., *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, **90**, 284 (1800).
3. Herschel W., *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, **90**, 293, 437 (1800).
4. Pogo A., Herschel, Sir William, *Encyclopedia Britannica*, **11**, 520 (1963).
5. Barr E. S., Historical Survey of the Early Development of the Infrared Spectral Region, *Am. J. Phys.*, **28**, 42 (1960).
6. Barr E. S., The Infrared Pioneers, I. Sir William Herschel, *Infrared Phys.*, **1**, 1 (1961).
7. Barr E. S., The Infrared Pioneers, II. Macedonia Melloni, *Infrared Phys.*, **2**, 67 (1962).
8. Barr E. S., The Infrared Pioneers, III. Samuel Pierpont Langley, *Infrared Phys.*, **3**, 195 (1963).
9. Arquist W. N., Survey of Early Infrared Developments, *Proc. Inst. Radio Engrs.*, **47**, 1420 (1959).
10. «List of Scientific Publications of W. W. Coblenz», *J. Opt. Soc. Am.*, **36**, 62 (1946).
11. «Koblenz Commemorative Issue», *Appl. Opt.*, **2** (November 1963).
12. Jones N., Infrared Spectroscopy, *Intl. Sci. Tech.*, p. 35 (January 1965).
13. Brugel W., An Introduction to Infrared Spectroscopy, Wiley, New York, 1962.
14. Bauman R. P., Absorption Spectroscopy, Wiley, New York, 1962.
15. Guderian H., Erinnerungen Eines Soldaten, Vowinkel, Nuernberg, 1950.
16. «Infrared», SRI Long Range Planning Reports, Stanford Research Institute, Menlo Park, 1959.
17. «Infrared», *Control Engrg.*, **10**, 20 (February 1963).
18. «Infrared Products Market Seen Reaching \$ 500 Million by 1965», *Weekly Repot Electronic Ind. Ass.*, Washington, D. C., **18** (December 3, 1962).
19. «Infrared Spots New Markets», *Electronics*, p. 32 (April 3, 1959).
20. Kelly M. J., The Bell Telephone Laboratories — An Example of an Institute of Creative Technology, *Proc. Roy. Soc.*, London, **203A**, 287 (1950).
21. Hall A. D., A Methodology for Systems Engineering, Princeton, Van Nostrand, 1962, Chapt. 1.
22. Affel H. A., System Engineering, *Intl. Sci. Tech.*, p. 18 (November 1964).
23. Chestnut H. W., Systems Engineering Tools, Wiley, New York, 1965.
24. Machol R. E., Tanner W. P., Alexander S. N., System Engineering Handbook, McGraw-Hill, New York, 1965; русский перевод: Справочник по системотехнике под ред. Р. Макола, изд. «Советское радио», М., 1970.

ОБЩАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКЕ (в хронологическом порядке)

СТАТЬИ

- Williams V. Z., Infrared Instrumentation and Techniques, *Rev. Sci. Instr.*, **19**, 135 (1948).
- Brown C. R. et al., Infrared; a Bibliography, Library of Congress, Technical Information Division, Washington, D. C., 1954.

- Sutherland G. B., Infrared Radiation, *J. Inst. Elec. Engrs*, London, **105B**, 306 (1958).
- Ballard S. S. (ed.), Special Issue on Infrared Physics and Technology, *Proc. Inst. Radio Engrs.*, **47** (September 1959).
- Ballard S. S., Wolfe W. L. (ed.), Special Issue on Infrared, *Appl. Opt.*, **1** (September 1962).
- King J. et al., Infrared, *Intl Sci. Tech.*, p. 26 (April 1963).

КНИГИ

- Lecomte J., *Le Spectre Infrarouge*, University of Paris press, Paris, 1928.
- Schaefer C., Matossi F., *Das Ultrarot Spektrum*, Springer, Berlin, 1930; русский перевод: Шефер К., Матосси Ф., *Инфракрасные спектры*, Гостехиздат, М. — Л., 1935.
- Forsythe W. E., *Measurement of Radiant Energy*, McGraw-Hill, New York, 1937.
- Barnes R. B. et al., *Infrared Spectroscopy — Industrial Applications and Bibliography*, Reinhold, New York, 1944.
- Clark W., *Photography by Infrared*, 2d ed., Wiley, New York, 1946.
- Lecomte J., *Le Rayonnement Infrarouge*, Gauthier-Villars, Paris, 1948; русский перевод: Леконт Ж., *Инфракрасное излучение*, М., 1958.
- Brugel W., *Physik und Technik der Ultrarotstrahlung*, Vincent, Hanover, 1951.
- Sanderson J. A., *Emission, Transmission, and Detection of Infrared*; см. Locke A. S. (ed.), *Guidance*, Van Nostrand, Princeton, N. J., 1955; русский перевод: Локк А. С., *Управление снарядами*, Гостехиздат, М., 1957, гл. 5.
- Марголин И. А., Румянцев Н. П., *Основы инфракрасной техники*, Воениздат, М., 1957.
- Smith R. A., Jones F. E., Chasmar R. P., *The Detection and Measurement of Infrared Radiation*, Oxford University Press, London, 1957; русский перевод: Смит Р., Джонс Ф., Чесмер Р., *Обнаружение и измерение инфракрасного излучения*, ИЛ, М., 1959.
- Conn G. K., Avery D. C., *Infrared Methods*, Academic, New York, 1960.
- Hackforth H. L., *Infrared Radiation*, McGraw-Hill, New York, 1960; русский перевод: Хэкфорд Г., *Инфракрасное излучение*, изд. «Энергия», М., 1964.
- Harrison T. R., *Radiation Pyrometry and Its Underlying Principles of Radiant Heat Transfer*, Wiley, New York, 1960; русский перевод: Гаррисон Т. Р., *Радиационная пирометрия*, изд. «Мир», М., 1964.
- Holter M. R. et al., *Fundamentals of Infrared Technology*, Macmillan, New York, 1962.
- Kruse P. W., McGaughlin L. D., McQuistan R. B., *Elements of Infrared Technology*, Wiley, New York, 1962; русский перевод: Круз П., Макглоулин Л., Макквистан Р., *Основы инфракрасной техники*, Воениздат, М., 1964.
- Jamieson J. A. et al., *Infrared Physics and Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1963; русский перевод: Джемисон Дж. Э. и др., *Физика и техника инфракрасного излучения*, изд. «Советское радио», М., 1965.
- Криксунов Л. З., Усольцев И. Ф., *Инфракрасные устройства самонаведения управляемых снарядов*, изд. «Советское радио», М., 1963.
- Wolfe W. L. (ed.), *Handbook of Military Infrared Technology*, Office of Naval Research, Department of the Washington, D. C., 1965.
- Криксунов Л. З., Усольцев И. Ф., *Инфракрасные системы*, изд. «Советское радио», М., 1968.