

УДК 621.384.2

## Экспериментальные исследования радиационных контрастов военнослужащих в среднем и дальнем инфракрасных диапазонах электромагнитного спектра

В. Г. Каплан, В. В. Липатов, В. С. Яцук

ФГУП «НПО "Государственный институт прикладной оптики"», г. Казань, Россия

*Приведены результаты экспериментальных исследований суточного хода радиационных контрастов в диапазонах 7,6—...11,8 и 1,9...—5,5 мкм военнослужащих в камуфляжной форме летне-осеннего сезона в разных фоноцелевых ситуациях. Отмечено отличие суточного изменения контрастов фигур военнослужащих (бойцов) в условиях естественного обдува и внутри строений. Выявлены наиболее стабильные значения радиационного контраста фрагментов силуэта фигуры бойца.*

В ходе антитеррористических боевых операций возник вопрос по обнаружению и уничтожению отдельных огневых точек, а также контролю ответственной территории. Здесь на первое место выходят технические средства для эффективного выделения замаскированной цели (снайпера, бойца, нарушителя) при различной фоновой обстановке. Подобные системы могут строиться по различным принципам и признакам объекта интереса, однако одним из наиболее перспективных методов обнаружения является измерение радиационного контраста теплового излучения человека. Такая система является наименее демаскирующей, поскольку работает в пассивном режиме регистрации данных. Особенность теплового излучения открытых частей тела человека — саморегуляция притока тепла к коже, направленная на поддержание постоянной температуры в изменяющихся условиях окружающей среды, к которым относятся суточные колебания температуры воздуха, скорости ветра, солнечной освещенности, состояния облачности и др. Влияние этих факторов затрудняет получение оценочно-достоверных характеристик радиационных контрастов теоретическим расчетом, и здесь экспериментальные исследования представляются как один из наиболее важных этапов построения новых систем.

При регистрации данных теплового излучения бойца нужно учитывать, что:

одежда может обладать как тепломаскирующим, так и демаскирующим действием, поэтому желательно регистрировать открытые части тела человека, что не всегда осуществимо в реальных условиях;

в зависимости от погоды меняется пропускание атмосферы, что неизменно сказывается на результатах измерений, особенно на больших дистанциях;

излучение фона в течение дня варьируется в широких пределах, что приводит к смене знака контраста цели;

цель, как правило, находится в замаскированной позиции, т. е. тело человека скрыто естественной или искусственной преградой, поэтому аппаратура должна обладать высоким пространственным и температурным разрешением.

Для изучения этих особенностей был поставлен эксперимент, задачей которого было оценить характеристики изменения суточного хода радиационного контраста бойца (снайпера) в камуфляже в различных позициях ведения огня. Эксперимент проводился в летне-осенний период (сентябрь). В качестве регистрирующей аппаратуры был использован радиометрический комплекс TOP. В состав комплекса входят:

- тепловизор-радиометр AGA-780 с системой регистрации;
- две модели абсолютно черного тела ("холодная" и "горячая");
- видеокамера;

- дистанционно регулируемая монтажная платформа оптических частей приборов.

Для регистрации метеорологических условий применялись стандартные измерительные средства:

- анемометр ручной индукционный АРИ-49 для измерения скорости ветра;

- психрометр аспирационный МВ-4М для измерения относительной влажности воздуха;

- датчик температуры воздуха на основе платинового датчика температуры ИС-568А;

- пиранометр универсальный М-80М для измерения горизонтальной освещенности.

Для абсолютной привязки измерений к среднему уровню фона в состав аппаратуры включен тест-объект. При измерениях тест-объект находился в поле зрения тепловизора вместе с исследуемым бойцом.

Область спектральной чувствительности тепловизора АГА-780:

- спектральный канал LW – 7,6—...11,8 мкм;

- спектральный канал SW – 3—...5 мкм разбит на 6 поддиапазонов;

Тепловизионные кадры регистрировались в спектральных областях  $\Delta\lambda = 1,9—...5,5$  и  $7,6—...11,8$  мкм.

В качестве объектов исследования выступали военнослужащие в снайперском снаряжении, включающем оружие, маскхалаты, подсумки. Для проведения суточного цикла измерений были выбраны пять фоноцелевых ситуаций:

- *первая* — боец в маскхалате в положении стоя на открытой местности, на голове накидка, закрывающая все лицо. Фон — грунт, на заднем плане кусты;

- *вторая* — боец в маскхалате в положении стоя на фоне леса, на голове шлем, закрывающий половину лица;

- *третья* — замаскированная позиция с находящимся внутри бойцом в маскхалате в изготовке к стрельбе;

- *четвертая* — металлический балок. На внутренней лестнице, ведущей к дверному проему, располагался боец в маскхалате в положении сидя в изготовке для ведения стрельбы;

- *пятая* — каменно-бетонный склад. Внутри склада при открытой двери на расстоянии 2 м располагается боец в положении сидя за деревянными ящиками в изготовке для ведения огня в сторону наблюдателя.

Телевизионные и тепловизионные изображения приведены на рис. 1 и 2. Интервал между измерениями составлял 2 ч.

При обработке тепловизионного изображения военнослужащего выделялись следующие фрагменты, по которым проводилось осреднение значений энергетической яркости: голова (Г), туловище (Т), вся видимая на изображении проекция объекта (В), а также примерно равные им по площади участки близлежащего фона. Усредненные значения яркости пересчитывались в величины радиационной температуры.



Рис. 1. Тепловизионные (а, в) и телевизионное (б) изображения ситуации № 1, диапазон 7,6—11,8 мкм: а — 18 ч 16 мин; б — 18 ч 16 мин; в — 02 ч 11 мин



Рис. 2. Тепловизионные (а, в) и телевизионное (б) изображения ситуации № 5, диапазон 7,6—11,8 мкм: а — 10 ч 17 мин; б — 10 ч 17 мин; в — 02 ч 24 мин

Дополнительно по каждому из фрагментов определялись среднеквадратичное отклонение, асимметрия, эксцесс. Дисперсия и среднеквадратическое значение информируют о степени отклонения величин выборки от своего среднего значения (чем больше величина, тем большее отклонение). Судя по полученным значениям, степень отклонения от среднего для диапазона 8—14 мкм выше, чем для 3—5 мкм. В большинстве случаев фон более однороден, чем объект. По каждому из объектов степень отклонения выборки выделенной части от среднего значения в течение суток изменялась незначительно. Асимметрия и эксцесс полезны для опре-

деления общего вида исследуемого распределения (асимметрия говорит о степени склоненности распределения в ту или иную сторону от среднего значения, а эксцесс — об островежности распределения). Для объектов преобладают положительные значения асимметрии, что говорит о скошенности выборки в сторону больших значений яркости.

Суточный ход среднего радиационного контраста выделенных фрагментов относительно фона приведен в табл. 1 и 2 и на рис. 3, а, б. Дистанция наблюдения составляла от 20 до 50 м, так что влиянием атмосферы на тепловой контраст можно пренебречь.

Таблица 1

Суточный ход среднего радиационного контраста выделенных частей военнослужащего в диапазоне 7,6...—11,8 мкм для разных фоноцелевых ситуаций К

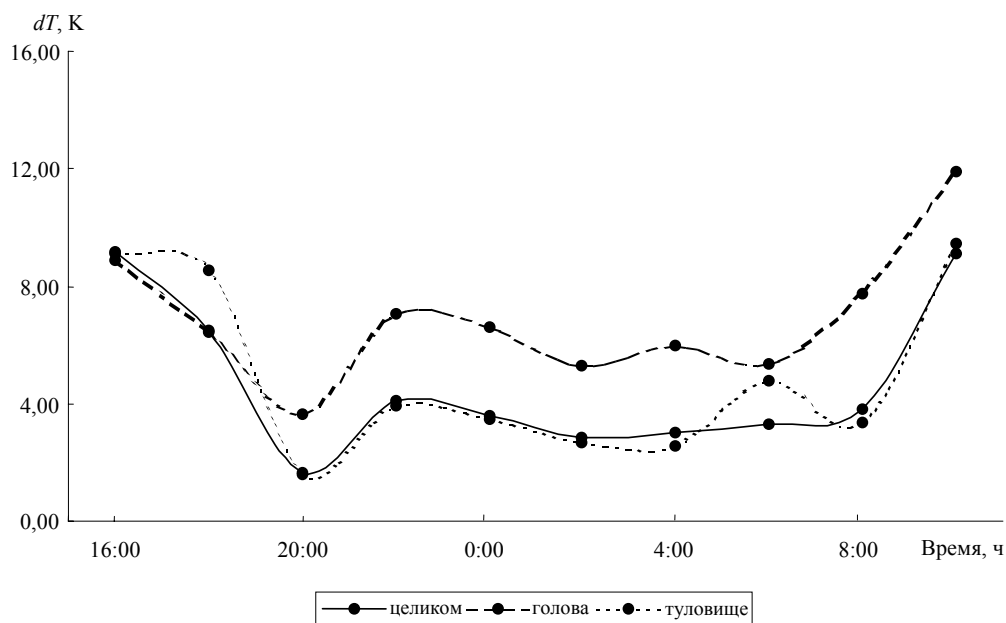
Время, ч	T <sub>возд</sub> , К	Ситуация 1			Ситуация 2			Ситуация 5			Ситуация 3	Ситуация 4
		Г	Т	В	Г	Т	В	Г	Т	В	В	В
16:00	294,5				8,86	9,09	9,14				-1,06	2,06
18:00	292,3	5,43	4,38	4,66	6,45	8,52	6,47	3,78	2,55	2,40	-0,068	0,57
20:00	285,4	4,55	4,39	3,40	3,62	1,58	1,68	4,11	2,73	3,63	3,62	0,67
22:00	282,2	9,92	4,46	4,16	7,08	3,94	4,08	8,11	4,78	4,46	2,83	2,58
0:00	280,1	6,47	4,49	4,48	6,63	3,48	3,59	9,07	5,63	7,21	2,16	3,52
2:00	277,3	4,61	2,01	2,28	5,31	2,70	2,83	5,51	2,67	3,61	1,73	1,65
4:00	276,4	6,71	2,93	2,58	5,99	2,54	3,03	8,64	2,94	4,86	1,5	3,80
6:00	275,7	8,55	3,47	3,35	5,37	4,79	3,30	9,10	3,64	4,62	2,54	3,67
8:00	276,1	6,21	3,73	3,53	7,73	3,34	3,80	9,61	2,82	5,05	1,00	3,73
10:00	284,3	9,30	7,55	7,8	11,90	9,47	9,11	10,77	3,96	4,80	0,40	2,76

Примечание. Г — голова, Т — туловище, В — видимая проекция.

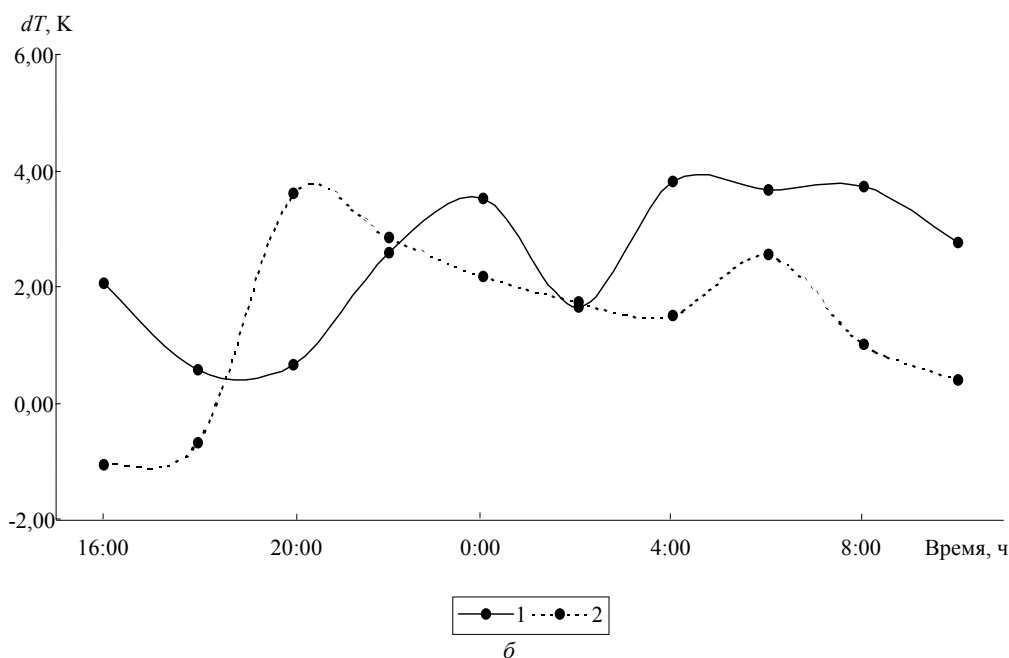
Таблица 2

Суточный ход среднего радиационного контраста выделенных частей военнослужащего в диапазоне 1,9...—5,5 мкм для разных фоноцелевых ситуаций К

Время, ч	T <sub>возд</sub> , К	Ситуация 1			Ситуация 2			Ситуация 5			Ситуация 3	Ситуация 4
		Г	Т	В	Г	Т	В	Г	Т	В	В	В
16:00	294,5				16,72	17,19	16,08				-4,42	2,11
18:00	292,3	11,70	7,08	7,00	13,11	11,36	11,53	12,47	3,75	5,14	-1,20	1,77
20:00	285,4	6,06	5,26	3,42	4,90	3,50	3,54	7,52	2,87	3,78	2,98	1,05
22:00	282,2	9,74	4,13	3,98	7,45	1,97	2,59	9,96	2,11	3,26	2,56	2,01
0:00	280,1	6,81	3,54	3,25	6,41	2,02	2,34	9,26	2,67	3,91	2,63	1,99
2:00	277,3	3,66	1,07	1,07	2,98	0,70	1,38	4,39	0,60	1,22	1,00	0,85
4:00	276,4	5,34	2,57	2,03	4,78	1,65	1,91	6,70	1,01	2,20	0,96	1,29
6:00	275,7	6,98	2,86	2,68	4,51	2,73	2,90	7,08	1,31	2,72	1,75	1,65
8:00	276,1	7,12	2,54	3,24	6,70	1,99	2,39	6,86	1,35	2,34	0,56	1,57
10:00	284,3	12,19	9,85	10,50	10,67	6,51	7,13	9,44	2,70	2,79	-1,84	2,21



a



b

Рис. 3. Суточная зависимость среднего радиационного контраста бойца:

a — на фоне леса в спектральном диапазоне 7,6—11,8 мкм; б — в металлическом балке (1) и замаскированной позиции (2)

Эксперимент проводился в условиях устойчивой погоды при безоблачной атмосфере. Перепад температуры воздуха составил от 295 К (13:00 ч) до 276 К (06:00 ч). Относительная влажность изменялась в пределах 70—...99 %; скорость ветра 0...—3 м/с; освещенность 600 Вт/м<sup>2</sup>-стер в 16:00 ч, ноль в период с 19:30 до 08:00 ч, 375 Вт/м<sup>2</sup>-стер в 10:00 ч.

Экспериментальные данные показывают, что в суточной зависимости радиационных контрастов в ситуациях 1 и 2 можно выделить 3 временных интервала: с 16 до 20 ч, с 20 до 8 ч утра и с 8 до 10 ч.

На отрезке времени с 16 до 20 ч наблюдалось уменьшение средних контрастов вследствие снижения солнечной освещенности и понижения темпера-

туры воздуха с 292 до 285,5 К. В ночное время контрасты изменялись незначительно из-за одинакового изменения температуры объекта и фона. В 2 ч ночи был зафиксирован локальный минимум радиационных температур измеряемых объектов во всех спектральных диапазонах. С 8 до 10 ч утра с ростом освещенности и температуры воздуха с 275 до 285 К наблюдался рост контраста за счет увеличения излучения объекта в большей мере, чем излучения фона.

Характер изменения средних радиационных контрастов фрагментов (головы, туловища и видимой на изображении проекции) бойцов вне помещений в спектральных диапазонах 7,6—...11,8 и 1,9—...5,5 мкм одинаковый.

Характер кривых суточного изменения средних радиационных контрастов снайпера в закрытых позициях

носит знакопеременный характер и зависит от типа строения, температуры внутри и снаружи строения, освещенности (прогрева) внешних конструкций, а также видимых открытых частей тела.

Из сравнения контрастов объектов на открытой местности и в балках в летне-осенний период следует:

- Так как тепловая инерционность маскхалатов, элементов снаряжения мала по сравнению с грунтом или лесным массивом, то на открытой местности происходит быстрое реагирование на изменение условий окружающей среды. Поэтому основную роль на ход контрастов оказывают терморегуляция человека, оптические и теплофизические характеристики его обмундирования. При наличии солнечного освещения, из-за нагрева верхней одежды радиационные контрасты могут достигать в полуденное время (12—15 ч) больших значений (около нескольких десятков градусов), что является сильным демаскирующим признаком. Для ростовых фигур на фоне леса и открытой местности в вечернее время происходит снижение контрастов. В ночное время ход средних контрастов приблизительно постоянный. Величина полученных радиационных контрастов близка к контрастам для стандартной модели человека, выбранной американской фирмой CMC Electronics при аттестации своих тепловизионных приборов [1].

Проведенные дополнительные эксперименты по влиянию динамических нагрузок — пробег дистанции около 800 м в полном обмундировании — показали, что может наблюдаться незначительное снижение радиационного контраста. Эти данные совпадают с оценкой влияния динамических нагрузок на радиационные контрасты, полученной в работе [2].

Разовые эксперименты также показали, что обнаружение снайпера по нагретому от одиночного выстрела стволу малоэффективно, поскольку ствол не успевал прогреться. При стрельбе очередями из пулемета и автомата происходит значительный разогрев оружия и заметное увеличение радиационного контраста.

- В строениях вследствие большой тепловой инерционности температура объекта меняется меньше с изменением температуры воздуха. Так, в вечернее время для бойца в каменно-бетонном складе в области спектра 7,6...—11,8 мкм наблюдается повышение контраста за счет интенсивного остывания поверхности строения (фон) при малом изменении температуры бойца (объект) внутри склада. Этот процесс продолжается до 24 ч, достигая максимума 7,2 К. В утренние часы на оборот происходит снижение контраста из-за быстрого прогрева поверхности. Для металлического балка наблюдается аналогичный ход кривых радиационных контрастов.

- Для замаскированной позиции снайпера на графике суточной зависимости распределения контрастов

наблюдаются точки перехода через ноль. В районе с 18 до 19 ч переход через ноль объясняется понижением температуры фона и, как следствие, повышением среднего контраста объект—фон от отрицательных величин к положительным. В 9 ч утра при снижении контраста из области положительных в область отрицательных величин вновь наблюдается переход через ноль за счет повышения температуры фона. В дневное время (когда проводится эксперимент) контраст отрицательный из-за прогрева поверхности позиции снайпера (фона) прямым солнечным излучением. Боец (объект) же внутри замаскированной позиции оставался мало нагретым. Ночью контраст положителен по причине превышения температуры объекта над фоном и с небольшими отклонениями остается постоянным.

### Выводы

1. Наиболее стабильное формирование радиационного контраста фигуры военнослужащего происходит в ночное время при его нахождении в условиях естественного обдува и составляет для выделенных фрагментов **в диапазоне 7,6...—11,8 мкм:** голова — 4,6—6,6 К; туловище — 2,2—3,5 К; видимая проекция — 2,3—3,6 К, а **в диапазоне 1,9...—5,5 мкм:** голова — 4,7—6,5 К; туловище — 2,2—2,4 К; видимая проекция — 2,4—2,5 К.

2. Для объектов, расположенных внутри разного рода закрытых строений (помещений), можно ожидать положительный контраст в ночное время и отрицательный — в дневное время суток. Средний температурный контраст в ночное время составил около 2 К в обоих спектральных диапазонах.

3. Различие тепловой инерционности формы и снаряжения бойцов может приводить к различию радиационного контраста более чем в 2 раза при одних и тех же условиях эксперимента.

### Литература

1. Рекламный бюллетень фирмы "CMC Electronics". NightConqueror 640, 2003.
2. Шилин И. Б. Опыт тепловизионного исследования спортсмена в процессе тренировки // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 5. С. 65—67.

*Статья поступила в редакцию 23 ноября 2004 г.*

## Experimental investigations of the servicemen radiation contrasts in the average and long infrared ranges of the electromagnetic spectrum

*V. G. Kaplan, V. V. Lipatov, V. S. Yatsyk*

FSUE «NPO "State Institute of Applied Optics"», Kazan, Russia

*The results of the experimental investigations of the daily variation of the radiation contrasts in the ranges of 7.6...—11.8 and 1.9—...5.5  $\mu\text{m}$  of the servicemen in camouflage of the summer-autumn season in different background-target situations are given in this report. The difference of the daily contrast change of the servicemen (soldiers) figures in conditions of the natural air-cooling and inside the buildings is marked here. The most stable values of the radiation contrast of the fragments of the soldier silhouette are shown in this report.*