

УДК 57.08:536.12

Стенд для оценки температуры поверхности фрагментов природных сред и их имитаторов

Лобунов В.В., Кухаренко А.И., Борботько Т.В., Лыньков Л.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь

Поступила 04.05.2016

Принята к печати 05.08.2016

Проведение исследований в области создания имитаторов природных сред, которые используются для маскировки объектов, например военной техники, от обнаружения ее тепловизионными средствами, является материалоемким процессом в виду больших линейных размеров маскируемых объектов, что в значительной степени оказывает влияние на стоимость таких испытаний. Таким образом, целесообразным представляется проведение аналогичных лабораторных испытаний, что обуславливает необходимость разработки соответствующего стенда. Целью данной работы являлась разработка стенда и методики проведения исследований, позволяющих в лабораторных условиях получать данные об изменении температуры поверхности фрагментов природных сред и их имитаторов, при воздействии на них излучения оптического диапазона длин волн. В данной работе вместо традиционно применяемой для получения спектральных характеристик исследуемых объектов спектрофотометрической аппаратуры, функционирующей в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн, при освещении поверхности объекта источником оптического излучения предложено использовать тепловизионную камеру, что позволяет оценить температуру поверхности исследуемого объекта при различных углах его освещения и визирования. Получаемые таким образом характеристики исследуемых объектов позволят оценить степень соответствия имитатора природной среде по температуре и динамике ее изменения. Конструкция предложенного стенда позволяет изменять углы облучения исследуемого объекта и визирования в пределах от 25–75°, отсчитываемых от нормали к исследуемому объекту. Источник излучения содержит галогенные лампы типа MR16, количество и мощность которых подбирались с учетом интенсивности солнечного излучения, имитируемого таким источником. В качестве устройства регистрации инфракрасного излучения в диапазоне 8–12 мкм использована тепловизионная камера *MobIR M4*, имеющая матрицу с разрешением 160 × 120 пикселей. Ее оптическое поле зрения по вертикали и горизонтали составляет 25 × 19°. Для автоматизации процесса записи термографических изображений исследуемых объектов было разработано специализированное дистанционно управляемое устройство. Для проведения измерения температуры поверхности исследуемых объектов разработана методика оценки температуры исследуемых объектов, заключающаяся в получении термографических изображений через равные промежутки времени, их анализе с помощью специального программного обеспечения и построения графических зависимостей. Таким образом, стенд и предложенная методика могут быть использованы для оценки температуры поверхности не только природных сред, но их имитаторов.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, температура поверхности, природные среды, оптическое излучение, тепловизионная камера.

DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-145-151

Адрес для переписки:

Лыньков Л.М.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь
e-mail: leonid@bsuir.by

Address for correspondence:

Lynkov L.M.
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Brovki str., 6, 220013, Minsk, Belarus
e-mail: leonid@bsuir.by

Для цитирования:

Лобунов В.В., Кухаренко А.И., Борботько Т.В., Лыньков Л.М.
Стенд для оценки температуры поверхности фрагментов природных сред и их имитаторов.
Приборы и методы измерений.
2016. – Т. 7, № 2. – С. 145–151.
DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-145-151

For citation:

Lobunov V.V., Kuharenko A.I., Borbotko T.V., Lynkov L.M.
[Stand for temperature surface evaluation of fragments of natural environments and its imitators].
Pribory i metody izmerenij [Devices and Methods of Measurements].
2016, vol. 7, no. 2, pp. 145–151 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-145-151

Stand for temperature surface evaluation of fragments of natural environments and its imitators

Lobunov V.V., Kuharenko A.I., Borbotko T.V., Lynkov L.M.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Brovki str., 6, 220013, Minsk, Belarus

Received 04.05.2016

Accepted for publication 05.08.2016

Abstract. Research in the field of development of natural environments imitators that used for thermal cloaking of military machinery always connected with high material costs due to big sizes of cloaking objects. In this way we decided to create laboratory stand and methodic for obtaining data about temperature surface of fragments of natural environments and its imitators affected by the electromagnetic radiation of the optical wavelength range. We proposed to use a thermal imaging camera instead of the traditionally used spectrophotometric equipment for obtaining spectral characteristics of the objects under study affected by the optical radiation. This method allows us to evaluate the surface temperature of the object at different angles of lighting and viewing. Obtained data allows us to estimate the degree to which the imitator corresponds to a natural environment by the temperature and it's dynamic of change. The construction of the stand allows to select angles of source of radiation and thermal detector in range 25–75 degrees from normal to the surface of object under study. The source of radiation consists of halogen lamps of MR16 type. The number of selected lamps and its power were chosen taking into account of imitation of intensity of sun radiation. The thermal camera MobIR M4 was used as infrared detecting unit in the range of 8–12 μm . This device has a matrix with a resolution of 160×120 pixels and its optical field of view, both vertically and horizontally is 25 to 19 degrees. Special remotely controlled device was created to automate the process of obtaining thermal images. Proposed methodic of measuring surface temperature of objects under study consists in obtaining thermal images at equal time intervals, their analysis using special software and plotting graphs. Thus we can use the developed laboratory stand and the methodic not only for temperature surface evaluation of fragments of natural environments but for its imitators.

Keywords: infrared radiation, surface temperature, natural environments, optical radiation, thermal camera.

DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-145-151

Адрес для переписки:

Лыньков Л.М.
Белорусский государственный университет информатики и радио-
электроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь
e-mail: leonid@bsuir.by

Address for correspondence:

Lynkov L.M.
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Brovki str., 6, 220013, Minsk, Belarus
e-mail: leonid@bsuir.by

Для цитирования:

Лобунов В.В., Кухаренко А.И., Борботько Т.В., Лыньков Л.М.
Стенд для оценки температуры поверхности фрагментов природных
сред и их имитаторов.
Приборы и методы измерений.
2016. – Т. 7, № 2. – С. 145–151.
DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-145-151

For citation:

Lobunov V.V., Kuharenko A.I., Borbotko T.V., Lynkov L.M.
[Stand for temperature surface evaluation of fragments of natural
environments and its imitators].
Pribory i metody izmerenij [Devices and Methods of Measurements].
2016, vol. 7, no. 2, pp. 145–151 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2016-7-2-145-151

Введение

В настоящее время для обнаружения объектов используются оптические средства, функционирующие в видимом, ближнем инфракрасном (ИК) и среднем ИК (тепловом) диапазонах [1–3]. Особое внимание сегодня уделяется использованию именно тепловизионных средств, так как они позволяют обнаруживать объекты в условиях недостаточной метеорологической дальности видимости [4], за счет регистрации температуры их поверхности и среды, на фоне которой они размещаются. Для решения задачи снижения заметности объектов используются маскирующие материалы, применяемые для снижения их теплового контраста [5]. Оценка эффективности применения таких средств снижения заметности объектов выполняется при проведении натурных испытаний, что в целом является материалоемким процессом в виду того, что требуется изготовить материал с линейными размерами, достаточными для маскирования защищаемого объекта, например военной техники. Поэтому такой подход используется, как правило, при государственных испытаниях таких средств и является затратным на стадии первичных исследований.

В работе [6] предложен стенд, позволяющий оценить температуру поверхности маскирующих материалов при их лабораторных испытаниях в условиях ограниченной освещенности исследуемого объекта, что позволяет регистрировать собственное тепловое излучение поверхности объекта. Однако современные системы тепловизионного обнаружения используются не только в ночное, но и в дневное время суток [7]. В спектре излучения Солнца также присутствует ИК излучение теплового диапазона. Таким образом, при наблюдении объектов в дневное время суток, его тепловое изображение на экране тепловизионного средства обуславливается не только собственным ИК излучением, но и рассеянием указанного излучения, источником которого является Солнце. В результате этого, тепловой контраст объекта претерпевает изменения, обусловленные также механизмом рассеяния ИК излучения объектом наблюдения и средой.

В соответствие с указанным, скрывание объектов должно обеспечиваться с учетом вышеуказанных механизмов формирования его теплового изображения, что в свою очередь обуславливает необходимость разработки материалов, характеризующихся не только требуемыми значениями

теплопроводности, но и также имеющими такую структуру поверхности, которая обеспечивает рассеяние ИК излучения в углах визирования идентично среде, в которой находится маскируемый объект.

При разработке и исследовании таких материалов требуется обеспечить условия проведения эксперимента, схожие с условиями их эксплуатации, что обуславливает актуальность разработки лабораторного стенда для проведения исследований подобных материалов.

Традиционно для получения спектральных характеристик исследуемых объектов используется спектрофотометрическая аппаратура, функционирующая в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн [8], при освещении поверхности объекта источником оптического излучения.

Целью данной работы являлась разработка стенда, позволяющего в лабораторных условиях исследовать процессы изменения температуры поверхности фрагментов природных сред и их имитаторов при воздействии на них излучения оптического диапазона длин волн с интенсивностью, близкой к интенсивности солнечного излучения, а также методики измерения температуры и обработки полученных результатов.

Состав стенда

Стенд для оценки температуры поверхности фрагментов природных сред и их имитаторов реализован на основе следующих устройств:

- источник электромагнитного излучения оптического диапазона длин волн;
- устройство регистрации ИК излучения диапазона 8–12 мкм;
- блок управления устройством регистрации ИК излучения;
- устройство видеозахвата *EasyCAP USB 2.0 DVR*.

На рисунке 1 представлена схема разработанного стенда.

Конструкция данного стенда состоит из двух металлических дуг 2, закрепляемых параллельно относительно друг друга на предметном столике 1. Указанные элементы конструкции являются направляющими для подвижных креплений 4, к которым в свою очередь крепятся источник излучения 5 и держатель 7, предназначенный для неподвижной фиксации устройства регистрации ИК излучения 6. Таким образом, конструкция

стенда позволяет изменять углы облучения исследуемого объекта и визирования в пределах от 25° до 75° , отсчитываемых от нормали к исследуемому объекту, который помещается в центре предметного столика. При этом приемник 6 располагается на расстоянии 250 мм от поверхности предметного столика.

Конструкция стенда является разборной. При транспортировке стенда в предметном столике 1 с нижней стороны присутствует полость для размещения подвижных креплений 4, держателя 7, а также остальных крепежных изделий, необходимых для его сборки. Также в столике 1 предусмотрены регулируемые по высоте ножки 3 для его позиционирования в горизонтальной плоскости.

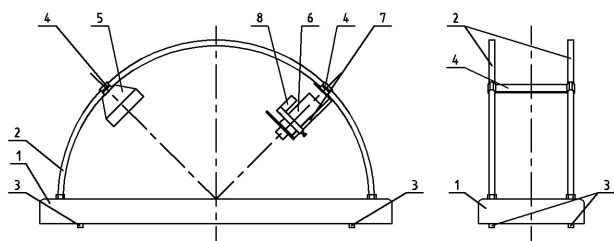


Рисунок 1 – Схема измерительного стенда: 1 – предметный столик; 2 – металлические дуги; 3 – ножки; 4 – подвижные крепления; 5 – источник излучения; 6 – устройство регистрации ИК излучения; 7 – держатель; 8 – блок управления

Figure 1 – Scheme of measuring stand: 1 – object table; 2 – metal arcs; 3 – feet; 4 – movable mountings; 5 – source of radiation; 6 – device for registration of IR radiation; 7 – holder; 8 – control unit

Источник электромагнитного излучения оптического диапазона длин волн представляет собой алюминиевое основание, на котором в гексагональном порядке закрепляется 7 галогенных ламп типа MR16 электрической мощностью 50 Вт каждая. Выбранная галогенная лампа имеет параболический отражатель с алюминиевым покрытием, нанесенным на стеклянные стенки. Для обеспечения в спектре ламп ультрафиолетового излучения был удален соответствующий оптический фильтр. Излучение каждой галогенной лампы распределяется в пределах телесного угла 38° , и, таким образом, при выбранной конструкции излучателя, обеспечивается равномерное рассеивание излучения по исследуемой поверхности.

Для оценки интенсивности излучения разработанного источника были получены временные зависимости, которые представлены на рисунке 2. Поверхность исследуемого фрагмента

природной среды (песка) подвергалась нагреву солнечным излучением, излучением разработанного излучателя и осветительным прожектором с галогенной лампой типа J078-150 электрической мощностью 150 Вт. Данные зависимости получены с помощью ртутного стеклянного термометра, погруженного в песок [9].

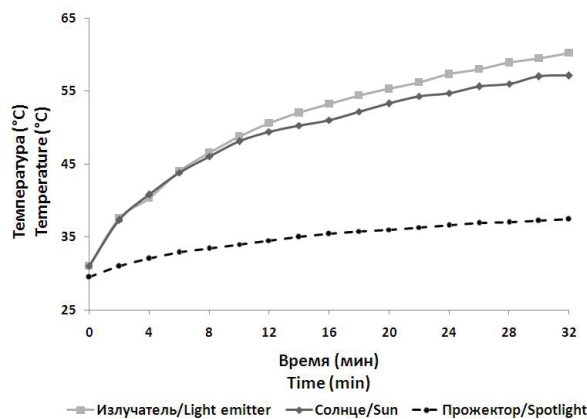


Рисунок 2 – Температура поверхности песка при воздействии различных источников излучения

Figure 2 – Surface temperature of sand when exposed to various sources of radiation

Анализируя приведенные временные зависимости можно сделать вывод, что интенсивность излучения разработанного излучателя практически соответствует интенсивности солнечного излучения, а это в свою очередь свидетельствует о возможности использования данного источника в составе стенда.

В качестве устройства регистрации ИК излучения использовалась тепловизионная камера *MobIR M4*. Данное устройство работает в инфракрасном диапазоне длин волн 8–12 мкм и имеет неохлаждаемую болометрическую матрицу с разрешением 160×120 пикселей, размер пикселя – 35 мкм, а ее оптическое поле зрения по вертикали и горизонтали составляет $25 \times 19^\circ$. Выбранная тепловизионная камера позволяет производить измерение температуры поверхности объектов в диапазоне от -25 до $+250$ °C с точностью ± 2 °C.

Максимальное расстояние, на котором возможно различить исследуемый объект, рассчитывается исходя из параметров, определяющих поле зрения устройства регистрации ИК излучения. Для определения минимального размера исследуемого объекта, приходящегося на один пиксель детектора тепловизора, используется утилита для расчета оптической системы тепловизионной техники [10]. Так как в выбранной

тепловизионной камере используется матрица 160×120 пикселей и ее оптическое поле зрения по вертикали и горизонтали составляет соответственно $25 \times 19^\circ$, то при расстоянии до исследуемого объекта 250 мм, что реализовано в рассматриваемом стенде, минимальная наблюдаемая площадь объекта составит $0,5 \text{ мм}^2$.

Указанные характеристики, с учетом температурного диапазона проведения исследований выбранного средства регистрации и приема излучения, дают возможность использовать его для решения поставленных задач.

Дистанционное управление устройством регистрации ИК излучения 6 и автоматизация процесса получения термографических изображений осуществляются блоком управления 8. Данный блок представляет собой механический привод с микроконтроллерным управлением, который устанавливается на устройство регистрации излучения и взаимодействует с его панелью управления путем подачи на блок управляющего сигнала. Управляющий сигнал представляет собой последовательность импульсов, временной интервал следования которых соответствует выбранному шагу получения термографических изображений.

Для осуществления контроля над процессом изменения температуры исследуемых поверхностей в реальном времени и записи видеоизображения термограммы на персональный компьютер, получаемого с помощью устройства регистрации инфракрасного излучения 6, используется устройство *EasyCAP USB 2.0 DVR*. Применяемое устройство позволяет преобразовывать аналоговый сигнал видеоизображения в цифровой с возможностью передачи получаемых данных на персональный компьютер по интерфейсу *USB 2.0*.

Методика проведения эксперимента

Методика проведения эксперимента заключается в получении и анализе термографических снимков поверхности фрагментов природных сред и их имитаторов при воздействии на их поверхность электромагнитного излучения оптического диапазона длин волн. При этом излучатель устанавливается на фиксированный угол, а тепловизионная камера на ряд углов для получения угловых зависимостей. Первоначально производится прогрев ламп излучателя в течение 1,5–2 мин. Затем электромагнитное излучение

зондирует исследуемую поверхность, и производится регистрация термографических снимков через равные промежутки времени при заданном угловом положении тепловизионной камеры. Величина временных интервалов зависит от времени проведения эксперимента для получения достаточного количества точек при построении графических зависимостей. Полученные снимки анализируются с помощью программного обеспечения *Guide IrAnalyser*. При анализе снимков определяется средняя температура базового участка поверхности по ГОСТу 26629-85. Полученные данные используются для построения временных зависимостей, описывающих температурную динамику исследуемой поверхности.

Результаты апробации стенда

На рисунке 3 представлены графические зависимости средней температуры поверхностей грунта различной влажности и песка, полученные при апробации стенда с использованием приведенной выше методики. Влажность грунта определялась по ГОСТу 28268-89.

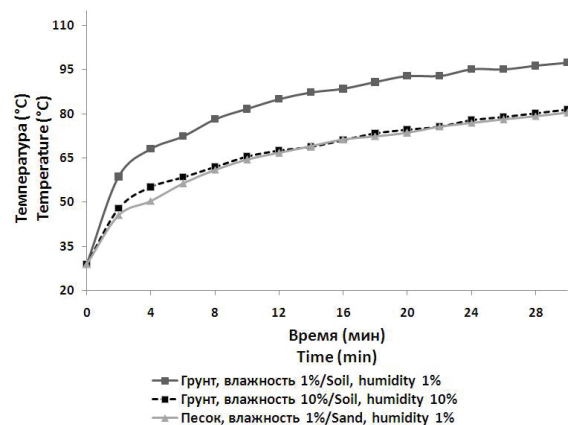


Рисунок 3 – Температура поверхности песка и различной влажности грунта при воздействии на их поверхность излучения разработанного излучателя

Figure 3 – Surface temperature of sand and various soil humidity when exposed to the radiation of the developed radiator on their surfaces

На основании анализа графических зависимостей установлено, что за счет увеличения массового отношения влаги в фрагментах грунта с 1 до 10 %, температура их поверхностей повышается от 30,0 до 97,4 °C (для фрагмента, характеризующегося массовым отношением влаги 1 %) и до 81,3 °C (для фрагмента, характеризующегося массовым отношением влаги 10 %) при воздействии на них источника оптического излучения в

течение 30 мин. Установленные закономерности изменения температуры поверхности исследуемых объектов обусловлены испарением влаги. Показано, что поглощающая способность грунта значительно выше, чем у песка, что в целом коррелирует с известными результатами, полученными ранее другими исследователями.

Заключение

Таким образом, в данной работе вместо традиционно применяемой для получения спектральных характеристик исследуемых объектов спектрофотометрической аппаратуры, функционирующей в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн, при освещении поверхности объекта источником оптического излучения предложено использовать тепловизионную камеру, что позволяет оценить температуру поверхности исследуемого объекта при различных углах его освещения и визирования.

Временные зависимости температуры поверхности исследуемых фрагментов природных сред, полученные при апробации стенда, позволяют утверждать о том, что результаты лабораторных испытаний согласуются с аналогичными натурными испытаниями таких объектов.

Получаемые таким образом характеристики исследуемых объектов позволяют оценить степень соответствия имитатора природной среде по температуре и динамике ее изменения.

Список использованных источников

1. Белашенков, Н.Р. Определение радиационной температуры удаленных объектов с использованием метода спектральной селекции излучения / Н.Р. Белашенков [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2007. – № 43. – С. 289–292.

2. Анипко, О.Б. Физические принципы разработки и создания комплексной оптико-акустической подсистемы обнаружения наземных целей объектами бронетехники / О.Б. Анипко, И.Ю. Бирюков // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2012. – № 3. – С. 48–54.

3. Глушков, А.Н. Обнаружение замаскированных наземных объектов при наличии в составе средств разведки перестраиваемого источника лазерного излучения / А.Н. Глушков [и др.] // Теория и техника радиосвязи. – 2010. – № 4. – С. 25–29

4. Ворона, В.А. Технические средства наблюдения в охране объектов / В.А. Ворона, В.А. Тихонов. – М. : Гелиос АРВ, 2005. – 960 с.

5. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Тепловые и оптические каналы утечки информации. Методы и

средства защиты / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько, Л.М. Лыньков; под ред. Л.М. Лынькова. – Минск : Бестпринт, 2012. – 172 с.

6. Абдулькабер Хамза Абдулькадер. Методика оценки эффективности средств защиты информации от утечки по тепловым каналам / Абдулькабер Хамза Абдулькадер, Т.В. Борботько, Д.Н. Сосновский // Доклады БГУИР. – 2012. – № 6. – С. 94–98.

7. Афанасьева, Е.М. Аналитическая методика и результаты расчета радиационного контраста наземных объектов в инфракрасном диапазоне длин волн / Е.М. Афанасьева, В.Г. Керков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 128–131.

8. Беляев, Б.И. Оптическое дистанционное зондирование / Б.И. Беляев, Л.В. Катковский. – Минск : БГУ, 2006. – 455 с.

9. Гулалыев, Ч.В. Определение температуропроводности почв с различной влажностью по данным экспериментальных измерений / Ч.В. Гулалыев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 5. – С. 31–35.

10. Сайт компании Энерготест [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.thermview.ru>. – Дата доступа: 10.01.2016.

References

1. Belashenkov N.R., Vasilyev A.V., Gurov I.P., Lopatin A.I. [Determination of radiation temperature of distant objects using the method of spectral selection of radiation] *Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics]. 2007, no. 43, pp. 289–292 (in Russian).

2. Anipko O. B, Birjukov I.Ju. [Physical principles of an integrated opto-acoustic detection of ground targets armored objects]. *Integrirrovannye tekhnologii i jenergosberezenije* [Integrated Technologies and Energy Conservation]. 2012, no. 3, pp. 48–54 (in Russian).

3. Gluzhkov A.N., Kerkov V.G., Mitrofanov A.L., Tyurin G.L. [Detection of the disguised objects at presence in structure of a means of investigation time friquise lasers radiation research] *Teorija i tekhnika radiosvjazi* [Theory and technique of radio communication], 2010, no. 4, pp. 25–29 (in Russian).

4. Vorona V.A., Tihonov V.A. *Tekhnicheskie sredstva nabljudeniija v ohrane obyektov* [Technical means of observation in the protection of objects], Moscow, Gelios ARV Publ., 2005, 960 p. (in Russian).

5. Abdulkaber Hamza Abdulkader, Borbotko T.V., Lynkov L.M. *Teplovyje i opticheskije kanaly utechki informacii. Metody i sredstva zashchity* [Thermal and optical information leakage channels. Methods and means of protection], Minsk, Bestprint Publ., 2012, 172 p. (in Russian).

6. Abdulkaber Hamza Abdulkader, Borbotko T.V., Sosnovskij D.N. [Methods for evaluation of the effectiveness of means of information protection against leakage by thermal channels]. Doklady BGUIR [BSUIR reports], 2012, no. 6, pp. 94–98 (in Russian).

7. Afanasyeva E.M., Kerkov V.G. [Analytical methods and calculations of radiation contrasts ground object in infrared wavelength] Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Voronezh State Technical University]. 2013, no. 2, pp. 128–131 (in Russian).

8. Beljaev B.I., Katkovskij L.V. Opticheskoje distancionnoje zondirovanije [Optical remote sensing], Minsk, BSU Bubl, 2006, 455 p. (in Russian).

9. Gulalyev Ch.V. [Determination of the thermal diffusivity soils with different moisture on the data of experimental measurements]. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agricultural University], 2010, no. 5, pp. 31–35 (in Russian).

10. Sajt kompanii Jenergotest [Website of Jenergotest, Inc.]. Available at: <http://www.thermoview.ru> (accessed 10.01.2016).