

УРАВНЕНИЕ НА ИЗМЕРВАНЕ В СПЕКТРОМЕТРИЧНИ СИСТЕМИ

Валентин Атанасов, Любомира Кралева, Георги Желев

Институт за космически изследвания – Българска академия на науките
e-mail: vatanassov@space.bas.bg

Ключови думи: *Дистанционни изследвания, спектрометрични системи, уравнение на измерване.*

Абстракт: *В дистанционните измервания регистрирането на попадналата върху сензора радиация става след преминаването и от източника до изследвания обект и оттам обратно до сензора. Основна задача на измерванията е да се определи изследвания обект чрез неговите характеристики, като форма, размери, състав, температура и други параметри, представляващи интерес за изследователите. Информацията за обекта се заключава в реакцията на прибора.*

В работата са описани уравненията на разпространение на радиацията от източника до изследвания обект и от там обратно до сензора и са разгледани различните физически процеси съпътстващи това разпространение. Изведено е уравнение на измерване на спектрометрични системи в дистанционните изследвания, като в него са отчетени ефектите от преминаване на радиацията до сензора. Полученото уравнение на измерване позволява установяване на функционална връзка между изходния сигнал на прибора от една страна и от друга както от параметрите на изследвания обект, така и от условията на измерване, отразяващи влиянието на различните съставни на комплексния входен сигнал върху изходния сигнал на сензора.

MEASUREMENT EQUATION IN SPECTROMETRIC SYSTEMS

Valentin Atanassov, Lubomira Krалеva, Georgi Jelev

Space Research Institute - Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: vatanassov@space.bas.bg

Key words: *Remote sensing, spectrometric systems, measurement equation.*

Abstract: *In remote sensing, the registration of the radiation fallen onto the sensor is accomplished after it has passed from the source to the studied object and then back to the sensor. The basic measurement task is to define the studied object by its characteristics, such as form, size, composition, temperature, and other parameters of interest for the researchers. The information about the object is contained in the device's reaction.*

The paper provides a description of the radiation propagation equations from the source to the studied object and then back to the sensor and a discussion on the various physical processes accompanying such propagation. The measurement equation for remote sensing spectrometric systems is derived, which accounts for the effects of the radiation's transition to the sensor. The derived measurement equation provides to establish the functional relation between the device's output signal, on the one hand, and on the other hand, the studied object's parameters and the measurement conditions, reflecting the influence of the different components of the complex input signal on the sensor's output signal.

1. Увод

В дистанционните изследвания, в това число и при използването на видеоспектрометрични системи, регистрирането на попадналата върху входа на прибора радиация става след преминаването и от източника до изследвания обект и обратно до сензора. Целта на измерването е да се определи изследвания обект чрез неговите характеристики, като форма, размери, състав, температура и други параметри, представляващи интерес за изследователите. Информацията за обекта се заключава в реакцията на прибора.

2. Разпространение на радиацията от източника до сензора

Основна задача в дистанционните измервания е определяне на характеристиките на изследваните обекти от пристигания от тях поток радиация. Обикновено падащият върху

изследваната повърхност радиационен поток е частично отразен от нея, а една част от него бива пропусната и/или погълната от материала. За една обобщена повърхност уравнението на взаимодействие, следвайки закона на Кирхоф, може да бъде записано във вида:

$$(1) \quad \Phi_i = \Phi_r + \Phi_t + \Phi_a,$$

където с индексите са означени пристигация, отразения, пропуснатия и погълнатия потоци. Разделяйки горното уравнение на $\Phi_{\lambda i}$, получаваме:

$$(2) \quad \rho + \tau + \alpha = 1,$$

където ρ, τ, α са спектралните коефициенти на отражение, пропускане и поглъщане на обекта.

В най общия случай измервания поток радиация Φ_T , пристигащ от обекта, би могъл да бъде сума от отразен поток радиация Φ_r и термално излъчен поток Φ_e

$$(3) \quad \Phi_T = \Phi_r + \Phi_e$$

За дистанционните изследвания, независимо от важността на общия радиационен баланс, интерес представляват отделните компоненти на отразения Φ_r и излъчения радиационен поток Φ_e . Основен източник на радиация в дистанционните изследвания в оптичния диапазон е Слънцето. Максимумът на слънчевото излъчване е разположен близо до диапазона $0.5\mu\text{m}$, който е на значително разстояние от максимума на термалното излъчване от Земята [1]. Повече от 99.9% от сигнала в сензора във видимата част на електромагнитния спектър е породена от този източник. Само при $2.5\mu\text{m}$ излъчената радиация от земната повърхност допринася за до 1% от общото излъчване (при регулярна температура на повърхността). По тази причина излъчваната радиация от Земята не се взема предвид при такива изследвания.

Плътноста на извънземната радиация E_0 [W/m^2] се определя като поток слънчева енергия Φ_0 за единица площ A_{\perp} , перпендикулярна на направлението на потока:

$$(4) \quad E_0 = \Phi_0 / A_{\perp}$$

Потокът радиация, преминаващ през атмосферата до земната повърхност е подложен на разсейване и поглъщане от атмосферните аерозоли и газове (*фиг.1*). Коефициентът на пропускане на падащата радиация τ_d е комбинация от коефициентите на пропускане на аерозолите и газовете за единица съставна част на атмосферата:

$$(5) \quad \tau_d = \prod_i (\tau_{d,i})$$

Една част от разсеяната радиация е насочена обратно в космоса, докато друга част след многократно разсейване попада върху земната повърхност. Заедно с директно попадналата радиация тази дифузна радиация E_{dif} формират общата радиация E_g върху земната повърхност:

$$(6) \quad E_g = E_0 \tau_d + E_{dif}$$

Дифузната радиация обикновено се изразява като продукт на извънземната радиация [2] и коефициента на дифузно проникване $\tau'_{d,dif}$ и горното уравнение може да бъде записано като:

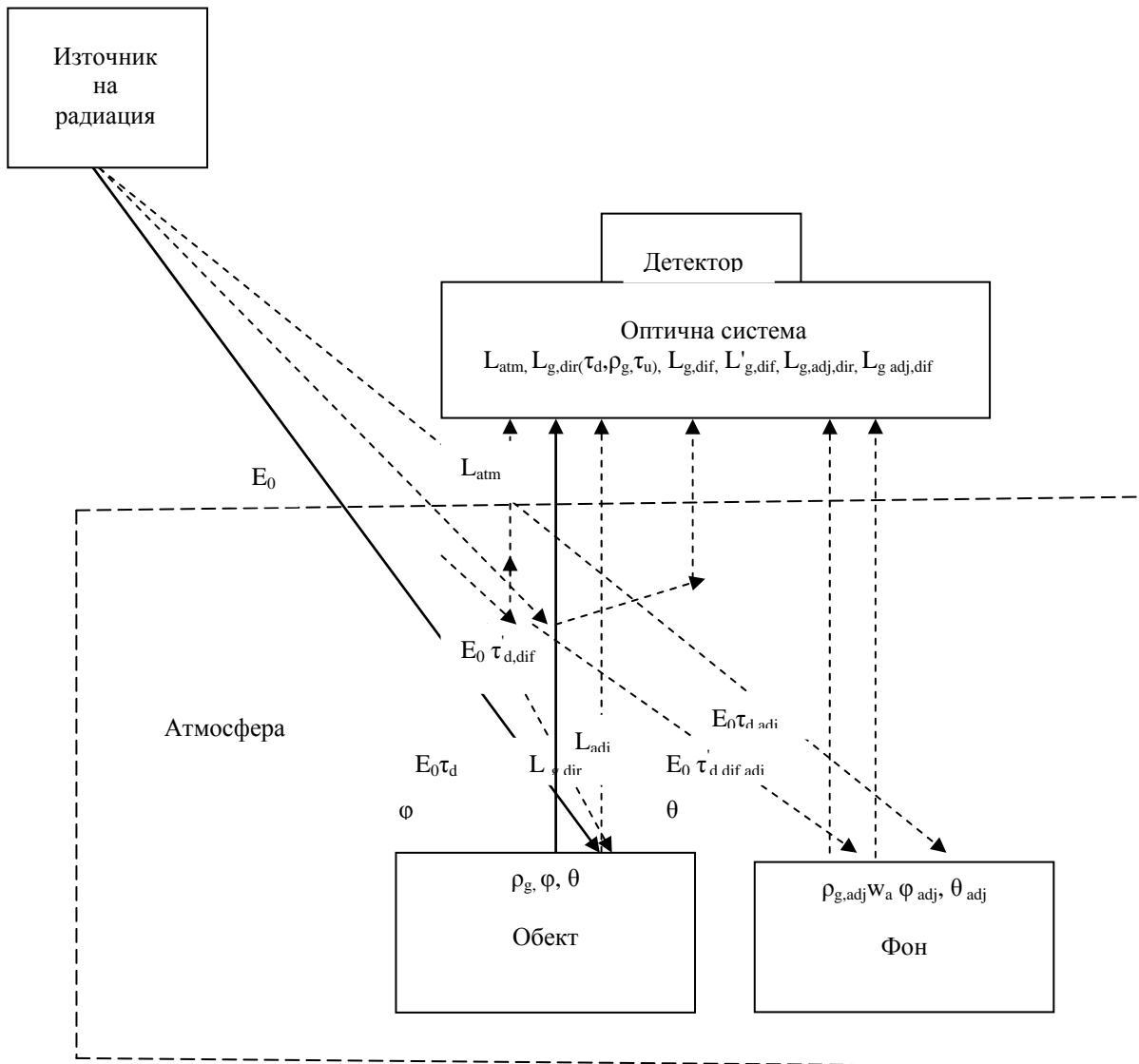
$$(7) \quad E_g = E_0 \tau_d + E_0 \tau'_{d,dif} = E_0 \tau_{d,irr},$$

където сумарният коефициент на пропускане $\tau_{d,irr} = E_g/E_0$.

Уравнение (7) не отчита наклона и особеностите на земната повърхност. Радиацията върху реалната повърхност E_{gnd} е изведена от уравнение (7), като е редуцирана с косинуса на падащия ъгъл φ (*фиг.2*):

$$(8) \quad E_{gnd} = E_0 \tau_d \cos \varphi + E_0 \tau'_{d,dif} = E_0 \cos \varphi (\tau_d + \tau'_{d,dif} / \cos \varphi) = E_0 \cos \varphi \tau_{d,app},$$

където действителния коефициент на пропускане $\tau_{d,app} = \tau_d + c \tau_{d,dif}$.



Фиг.1. Източници, участващи във формиране на общата мощност на регистрираната от прибора радиация

Директно отразената от земната повърхност радиация се определя чрез коефициента на отражение ρ_g като:

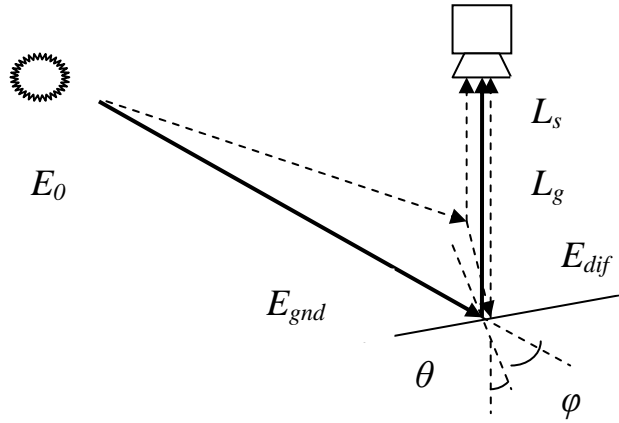
$$(9) \quad L_{g,dir} = (\rho_g/\pi) E_{gnd}$$

Единицата за измерване на радиацията е $W/(m^2 sr nm)$.

Върху лъча отразена от земната повърхност радиация към сензора се добавят два основни компонента разсеяна радиация. Първият компонент е този, който се поражда от радиацията, която се отразява от съседни площи на изследваната повърхност и след това се сумира в лъча. Този ефект на близост има значителен принос в общата радиация при сензорите с голяма височина. По този начин общата отразена от земната повърхност радиация може да бъде описана като:

$$(10) \quad L_g = L_{g,dir} + L_{g,adj} = (\rho_g + \rho_{g,adj}w_a)\pi^{-1}E_{gnd},$$

където $\rho_{g,adj}$ е усреднения коефициент на отражение от съседна площ и w_a константа за тежест на ефекта на близост (зависеща от количеството аерозоли в атмосферата).



Фиг. 2. Компоненти на радиацията на входа на спектрометричен сензор

Директният коефициент на пропускане от земната повърхност към сензора $\tau_{u,i}$ на различни атмосферни компоненти i се умножава по същия начин, както и падащите коефициенти на пропускане и трябва да бъдат комбинирани в общ коефициент на пропускане:

$$(11) \quad \tau_{tot} = \prod_i (\tau_i) = \prod_i (\tau_{d,app,i}) \prod_i (\tau_{u,i})$$

Следващият адитивен член на радиацията към сензора е атмосферната обратно разсеяна радиация L_{atm} , която не оказва въздействие върху земната повърхност. Общата радиация на входа на сензора може сега да бъде описана като:

$$(12) \quad L_s = \tau_u (\rho_g + \rho_{g,adj} w_a) \pi^{-1} \cos \varphi (\tau_d + \tau'_{d,dif} / \cos \varphi) E_0 + L_{atm}$$

Всички параметри от уравнения (12), зависят от дължината на вълната на използвания канал. Добавяйки индекса на избрания канал получаваме:

$$(13) \quad L_{s,\lambda} = \tau_{u,\lambda} (\rho_{g,\lambda} + \rho_{g,adj,\lambda} w_a) \pi^{-1} \cos \varphi (\tau_{d,\lambda} + \tau'_{d,dif,\lambda} / \cos \varphi) E_{0,\lambda} + L_{atm,\lambda}$$

3. Уравнение на измерване

Уравнението на измерване помага за едно по-обобщено представяне на основните техническите характеристики на системата. Спектралната характеристика на чувствителност R_λ на прибора се изразява като отношение на изменението на изходния сигнал ΔS към изменението на мощността на приемания радиационен поток $\Delta \Phi_\lambda$:

$$(14) \quad R_\lambda = \Delta S / \Delta \Phi_\lambda$$

Тъй като основен интерес тук е да се измери средната спектрална радиация за определена лента от дължината на вълната и определена площ, то измервателното уравнение се записва във вида:

$$(15) \quad S = R_\lambda L_\lambda \Delta \lambda \Delta A,$$

където: S - изходен сигнал на прибора, представляващ отговор на инструмента, $L_\lambda [\mu W/cm^2 sr nm]$ - мощност на лъчението от площ ΔA във входната апертура на прибора, $\Delta \lambda$ - спектрален интервал, определен от широчината на избрания спектрален канал.

Замествайки израза (13) в уравнение (15) получаваме основното уравнение на измерване в спектрометрична система във вида:

$$(16) \quad S = R_\lambda [\tau_{u,\lambda} (\rho_{g,\lambda} + \rho_{g,adj,\lambda} w_a) \pi^{-1} \cos \varphi (\tau_{d,\lambda} + \tau'_{d,dif,\lambda} / \cos \varphi) E_{0,\lambda} + L_{atm,\lambda}] \Delta \lambda \Delta A$$

Уравнението (16) позволява извеждането на функционал, отразяващ влиянието на различните съставни на комплексния входен сигнал върху изходния сигнал на сензора:

$$(17) \quad S = f[T_{d,\lambda}, T'_{d,dif,\lambda}, \varphi, \theta, \rho_{g,\lambda}, T_{d,adj,\lambda}, T'_{d,dif,adj,\lambda}, \rho_{g,adj,\lambda}, W_a, T_{u,\lambda}, T'_{u,dif,\lambda}, L_{atm,}]$$

4. Резултати и изводи:

1. Описани са уравненията на разпространение на радиацията от източника на радиация до изследвания обект и обратно до сензора и е изведено уравнението на измерване на спектрометрични системи в дистанционните изследвания.

2. Полученото уравнение на измерване позволява установяване на функционална връзка между изходния сигнал на прибора от една страна и както от параметрите на изследвания обект, така и от условията на измерване от друга.

Литература:

1. S l a t e r, Ph. Remote Sensing. Optics and Optical Systems. London, 1980.
2. S c h l a p f e r D. Differential Absorption Methodology for Imaging Spectroscopy of Atmospheric Water Vapor. Remote Sensing Series, Zurich, 1998.
3. S c h a e p m a n M. E. Calibration of a Field Spectroradiometer. Remote Sensing Series, Zurich, 1998.