

Литература

1. Міхеєнко Л. А., Пугіна М. О. Робочий еталон яскравості на базі інтегровальної сфери з розсіювачем // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – №4 – с. 9-15
2. Міхеєнко Л. А., Пугіна М. О. Численный метод анализа выходного яркостного поля эталона яркости на основе интегрирующей сферы // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №4. – С. 59-64

References

1. Mikheyenko L. A., Puhina M. O. Robochij etolon yaskravosti na bazi integrual'noi sfery z rozsiuvachem // Visnyk Vinnyc'kogo politexnichnogo instytutu. -2015. – №4 – s. 9-15
2. Mikheyenko L. A., Puhina M. O. Chislenyj metod analiza vy'ходного yarkostного polya e'talona yarkosti na osnove integriruyushhej sfery. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2015. Issue 4. P. 59-64

Рецензія/Peer review : 17.11.2015 р.

Надрукована/Printed :12.12.2015 р.

УДК 629.78

Л.А. МИХЕЕНКО, М.А. ПУГИНА

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

ЧИСЛЕННИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ВЫХОДНОГО ЯРКОСТНОГО ПОЛЯ ЭТАЛОНА ЯРКОСТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРУЮЩЕЙ СФЕРЫ

В статье описан метод численного анализа влияния конструктивных элементов эталона яркости на основе интегрирующей сферы с рассеивателем на неоднородность выходного яркостного поля. Показана эффективность использования численного метода анализа выходного яркостного поля излучателя на основе интегрирующей сферы.

Ключевые слова: оптическая радиометрия, оптическая метрология, эталон яркости.

L.A. MIKHEYENKO, M.O. PUHINA

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

NUMERAL METHOD OF ANALYSIS OF THE OUTPUT BRIGHTNESS FIELD OF STANDARD OF BRIGHTNESS ON BASIS OF INTEGRATING SPHERE

Abstract - Development of numeral method of analysis of heterogeneity of the output brightness field of standard of brightness on the basis of integrating sphere with a diffuser.

The basic structural elements of standard of brightness and their mathematical models are considered. The method of numerical analysis of influence of structural elements of standard of brightness is worked out on heterogeneity of the output brightness field. Mathematical models are offered describing passing of rays into an integrating sphere at presence of in her basic structural elements - radiant's, screen, diffuser.

Efficiency of the use of numeral method of analysis of the output brightness field of emitter is shown on the basis of integrating sphere.

Keywords: optical radiometry, optical metrology, the standard brightness.

Введение

Наиболее часто при радиометрической калибровке протяженных излучателей используются энергетическая яркость (ЭЯ) и спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ), поэтому разработка эталонных излучателей, воспроизводящих эти величины, является важной и актуальной задачей [1].

В настоящее время для хранения и передачи единиц ЭЯ и СПЭЯ используются, в основном, модели абсолютно черных тел (государственные эталоны) и светоизмерительные ленточные лампы (рабочие эталоны и образцовые средства измерений) [1]. Наряду с известными достоинствами таких излучателей, они имеют и серьезные недостатки – высокую стоимость (в первую очередь моделей черных тел), неравномерность распределения яркости по телу накала, изменение этого распределения в процессе эксплуатации, малую величину рабочей зоны (в пределах нескольких миллиметров), ограниченный срок службы (в основном ленточных ламп). Кроме того, модели черных тел и ленточные лампы в Украине не производятся, а парк находящихся в эксплуатации эталонных излучателей значительно уменьшается и морально устарел. Замена ленточных ламп галогенными [2] решает указанные выше проблемы только частично из-за дискретной структуры тела накала, образованного отдельными витками спирали и значительной неоднородности формируемого яркостного поля, имеющего к тому же, малые размеры.

В [3] был предложен эталон яркости на основе интегрирующей сферы (ИС) с рассеивателем, который обеспечивает высокий уровень яркости в пределах значительной апертуры. Основной проблемой таких эталонов является получение высокой однородности формируемого выходного яркостного поля, чему мешают микроэлементы (неоднородности) поверхности интегрирующей сферы, источники излучения с арматурой и экраны, устанавливаемые внутри нее, а также ряд других факторов.

Цель работы

Разработка численного метода анализа неоднородности выходного яркостного поля эталона яркости

на основе интегрирующей сферы с рассеивателем, устанавливаемым в ее выходной апертуре.

Алгоритм численного метода анализа выходного яркостного поля

Конструктивная схема эталона яркости показана на рис. 2. Он состоит из ИС, в выходной апертуре которой расположен рассеиватель из матового или молочного стекла. Для предотвращения прямого попадания лучей от источников излучения в выходную апертуру используются специальные рассеивающие экраны.

При разработке численного метода анализа выходного яркостного поля эталона ограничимся случаем, когда поверхность ИС имеет идеальную сферическую форму и рассмотрим ее двумерное представление в полярной системе координат (рис. 2). При этом основными параметрами будут полярный радиус ρ и полярный угол ϕ ($0 \leq \phi \leq \pi$). Выходная апертура (D_B) будет определяться центральным углом 2α ($\alpha = \arcsin(\frac{D_B}{D_{сф}}$)), а положение точечного источника излучения полярным углом β . Будем также считать, что точечный источник находится на внутренней поверхности ИС, а его пространственное излучения описывается индикатрисой $I(\Theta)$. Излучение происходит в рамках эффективного угла $\Theta_{эфф}$, который определяется по уровню 0.5 или 0.9.

Интегральную мощность источника излучения будет составлять совокупность его единичных лучей. Рассмотрим единичный луч от источника, который попадая в ИС испытывает многократное отражение от ее поверхности (точки M, N..) и оставляет ИС в пределах выходной апертуры (точка E_i). Вся совокупность единичных лучей в плоскости выходной апертуры формирует выходное яркостное поле $L_{x,y} = f(\Theta, \Theta_{эфф}, \beta, \rho)$ где ρ – коэффициент отражения внутренней поверхности ИС, а соответствующая совокупность углов на выходе – индикатриса излучения эталона яркости.

Задавая в рассматриваемой системе координат параметры различных конструктивных элементов эталона яркости и их погрешности, будем рассматривать прохождение единичных лучей в ИС при их взаимодействии с указанными элементами. После этого будем исследовать совокупность всех лучей, образующих выходное яркостное поле эталона яркости и его индикатрису излучения, с учетом погрешностей ИС и элементов конструкции источников излучения.

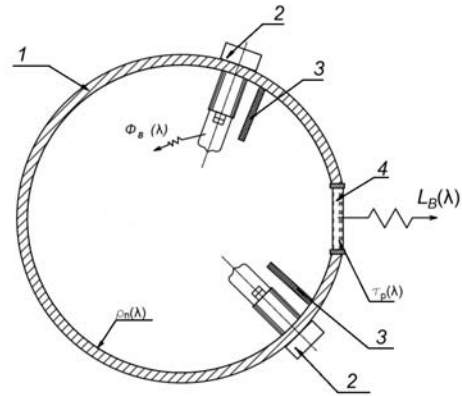


Рис. 1. Конструктивная схема эталона яркости: 1 – интегрирующая сфера; 2 – источник излучения; 3 – экран; 4 – рассеиватель.

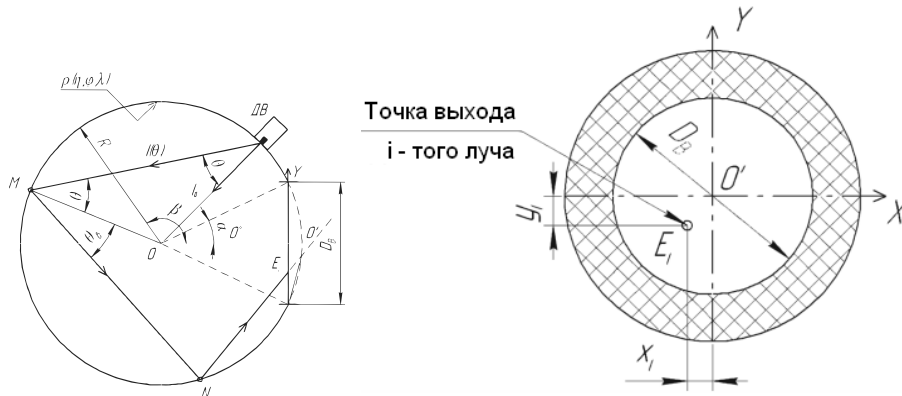


Рис. 2. Прохождение единичного луча в ИС и формирования выходного яркостного поля

Конструктивные элементы эталона яркости и их математические модели

Большинство конструктивных элементов эталона яркости, которые существенно влияют на параметры формируемого яркостного поля, можно представить следующими моделями, которые условно названы «яма», «горб», «ограждение» и «пятно» (рис. 3 а, б, в, г), а также их комбинациями. Например, модель источника излучения состоит из горба, пятна и двух ограждений (рис. 4), рассеиватель можно представить в виде "пятна", а экраны в виде "ограждений". Рассмотрим методику моделирования этих элементов в выбранной системе координат, воспользовавшись результатами, полученными в [4]. Как и ранее, будем считать, что на поверхностях элементов происходит идеальное диффузное отражение, а рассеиватель можно представить в виде пятна с коэффициентом отражения ρ .

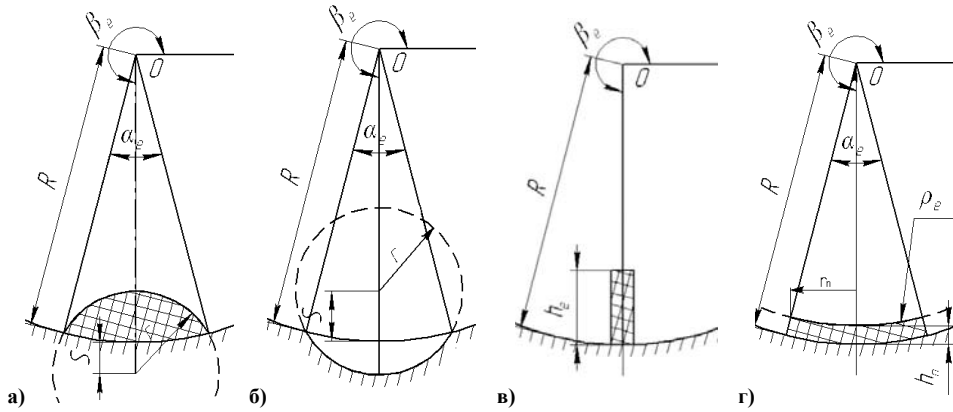


Рис. 3. Основные типы элементов ИС и эталона яркости: а) «горб»; б) «яма»; в) «заграждение»; г) «пятно».

Элемент типа «горб». Элементом «горб» будем считать локальную неровность поверхности сферы, в виде выпуклости в некотором ее месте с рядом определенных параметров. Для упрощения описания и математических выкладок, будем также считать, что поверхность элемента имеет идеальную круглую форму.

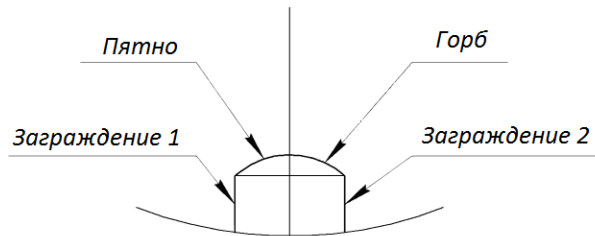


Рис. 4. Модель источника излучения, полученная путем комбинирования простых элементов.

$$\Theta_1 = \frac{\angle EKO + \Theta - \eta - \Theta_{ai}}{2} = 0,5 \arcsin \left(\frac{\sqrt{(R-r \cdot \cos(-\eta + \beta_1 - \beta_e + \Theta) + s)^2 - (r \cdot \sin(-\eta + \beta_1 - \beta_e + \Theta))^2}}{R} \cdot \sin(\angle OEK) \right) + \frac{\Theta}{2} - \frac{\eta}{2} - \frac{\Theta_{ai}}{2} \quad (1)$$

Отметим, что использовании численного метода расчетов хода лучей в ИС необходимо учитывать ряд особенностей, в основном связанных с тем, что вычисление тригонометрических функций дают погрешности, которые могут привести к комплексному виду конечного результата. Также следует добавить, что вид некоторых вышеописанных формул изменяется, а именно меняется знак при некоторых углах, в случае, когда точечный источник находится в пределах между двумя касательными от центра элемента к ИС.

Элемент типа «яма» Элементом «яма» будем считать локальную неровность поверхности сферы, в виде впадины в некотором ее месте с рядом определенных параметров. Для упрощения описания и математических выкладок, будем считать, что поверхность элемента имеет идеальную круглую поверхность.

Для описания этого элемента, используются параметры r, s, β_e, α_e (рис. 5). Расчет хода лучей в ИС при наличии этого элемента, в целом аналогично рассмотренному выше случае, но имеет ряд отличий. В частности:

- не нужно находить угол θ_δ , но необходимо определить оба угла θ_n ;
- в случае когда луч отражается от элемента и попадает на поверхность ДИ изменяется только вид конечного выражения, которое принимает вид:

$$\theta_1 = -\frac{\angle EKO + \theta + \eta + \eta_1}{2}, \quad (2)$$

В случае, когда луч попал на элемент (рис. 5), существует необходимость в определении величины углов θ_{1n} , при которых луч оставит поверхность элемента (возможны также случаи, когда при отражении луч снова попадет на элемент). Для этого воспользуемся рядом преобразований:

$$\alpha_{1c} = 180 - 2 \cdot \arccos \left(\frac{r^2 + (R+s)^2 - R^2}{2 \cdot r \cdot (R+s)} \right) \quad (3)$$

из треугольника OEO_1 и теоремы синусов:

$$\angle OEO_1 = \frac{\arcsin(OO_1 \cdot \sin(\angle O_1OE))}{O_1E}, \quad \angle OO_1E = 180 - \angle OEO_1 - \angle O_1OE \quad (4)$$

В итоге мы переходим к системе координат перенесенной внутрь элемента. Так, например, угол $\angle FO_1E$ играет роль центрального угла. Из рис. 5 видно, что: $\theta_{1n} = 180 - \alpha_{1e} - \angle OO_1E$.

Для нахождения нового положения луча на поверхности элемента следует воспользоваться формулой

$$\angle ODO_1 = \arcsin\left(\frac{OO_1 \cdot \sin(\angle O_1OD)}{DO_1}\right), \text{ перенесенной в систему}$$

координат элемента. После этого следует обратным перерасчетом перенести данные на основную систему координат. При использовании машинного метода расчетов следует также учитывать, что некоторые из промежуточных данных при переходе между итерациями, в случае отражения луча вновь на элемент, теряются, поэтому существует необходимость в повторном пересчете потерянных данных.

Элемент типа «ограждение». Элементом «ограждение» будем считать локальную неровность поверхности сферы, в виде плоской плоскости перпендикулярной к касательной сферы в месте размещения элемента с рядом определенных параметров. Для упрощения описания и математических выкладок, будем считать, что поверхность элемента имеет идеальную плоскую поверхность.

Для описания этого элемента используются параметры h - высота элемента, β_e - положение элемента в системе координат источника излучения (рис. 6). Пользуясь предложенной методикой, найдем углы отражения, при которых луч, исходящий из любой точки ИС может попасть на поверхность этого элемента. Рассмотрим два случая (рис. 6):

1) угол θ_n - к точке пересечения ИС с элементом, находится без учета толщины элемента (в модели принимается ограждение бесконечно тонким):

$$\theta_n = \frac{180 - \angle AOB}{2} = \frac{180 - \beta_e + \beta}{2}; \quad (5)$$

2) угол θ_o - касательный к вершине элемента, для его определения воспользуемся следующим выражением (из треугольника AOC и теоремы синусов, рис. 6):

$$\theta_o = \arcsin\left(\frac{OC \cdot \sin(\angle AOC)}{AC}\right) = \arcsin\left(\frac{(R-h) \cdot \sin(\beta_e - \beta)}{R^2 + (R-h)^2 - 2R(R-h)\cos(\beta_e - \beta)}\right), \quad (6)$$

где $OC = R + h, \angle AOC = \angle AOB = \beta_e - \beta, OC = R, AC = \sqrt{OA^2 + OC^2 - 2OA \cdot OC \cdot \cos(\angle AOC)}$.

Следующим шагом моделирования является нахождение центрального угла (положения) луча после его отражения от поверхности элемента. Из рис.6 видно, что:

из треугольника OAE и теоремы синусов:

$$OE = \frac{OA \cdot \sin(\angle OAE)}{\sin(\angle AEO)}, \quad (7)$$

где $\angle OAE = \theta, \angle AEO = 180^\circ - \angle OAE - \angle AOE$;

из треугольника EOG и теоремы синусов:

$$\angle EGO = \arcsin\left(\frac{OE \cdot \sin(\angle OEG)}{OG}\right), \quad (8)$$

где $OG = R, \angle OEG = 90^\circ + \theta_{ei}$.

Путем последовательных подстановок рассчитанных выше углов, а также расчета случае с обратным ходом луча, получим, что величина искомого угла будет находиться как:

$$\beta_i = \beta_{i-1} - 90 + \Theta_{ei} + \angle EGO = \beta_{i-1} - 90 + \Theta_{ei} + \arcsin\left(\frac{\sin(\Theta) \cdot \cos \Theta_{ei}}{\sin(\Theta + \beta_e - \beta)}\right) \quad (9)$$

Элемент типа «пятно». Элементом «пятно» будем считать локальную область поверхности ИС, в некотором ее месте с рядом определенных параметров. Поверхность элемента имеет идеальную круглую форму, боковые грани пятна, из-за их малых размеров не учитываются, и в этом месте происходит отражение от поверхности сферы с определённым коэффициентом отражения.

Будем использовать четыре параметра r_n - радиус неровности, h_n - высота элемента, ρ_e - коэффициент отражения поверхности элемента, положение элемента в системе координат источника излучения, а угловой размер элемента находится из выражения (рис. 7):

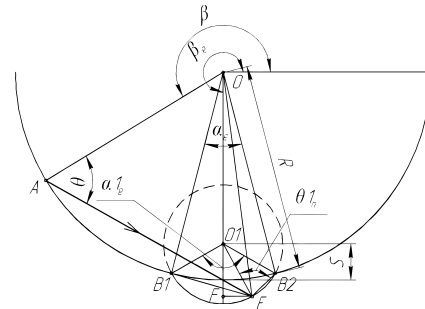


Рис. 5. Основные расчетные параметры моделей элемента тип «яма»

$$\alpha_e = \arcsin\left(\frac{r_n}{R - h_e}\right), \quad (10)$$

Профиль элемента данного типа, в первом приближении, будем аппроксимировать сферической поверхностью, радиусом меньше размера ИС на r_n с центром, совпадающим с ИС. Пользуясь предложенной методикой, найдем углы отражения, при которых луч, исходящий из любой точки ИС, может попасть на поверхность этого элемента. Эти углы находятся из выражения для нахождения точки пересечения ИС с элементом, с тем уточнением, что в данном случае необходимо находить обе точки пересечения (рис. 7):

$$\theta_n = \frac{180 - \angle AOB}{2} = \frac{360 - 2\beta_e + 2\beta + \alpha_e}{4}, \quad (11)$$

где $\angle AOB = \angle AOB_1 = -\angle AOB_2$.

Следующим шагом моделирования является нахождение центрального угла (положение) луча после его отражения от поверхности элемента. Из рис. 6 видно, что: из треугольника OAE и теоремы синусов:

$$\angle OEA = \arcsin\left(\frac{OA \cdot \sin(\angle OAE)}{OE}\right), \quad (12)$$

где $OA = R, OE = R - h_e, \angle OAE = \theta$;

а из треугольника EOG и теоремы синусов:

$$\angle EGO = \arcsin\left(\frac{OE \cdot \sin(\angle OEG)}{OG}\right), \quad (13)$$

где $OG = R, \angle OEG = \theta_{ai}$.

Путем последовательных подстановок рассчитанных выше углов, а также расчета случае с обратным ходом луча, получим, что величина искомого угла будет находиться как:

$$\beta_i = \beta_{i-1} + \Theta_{ai} + \Theta + \angle EGO + \angle OEA = \beta_{i-1} + \Theta_{ai} + \Theta - \arcsin\left(\frac{(R - h_e) \sin(\Theta)}{R}\right) + \arcsin\left(\frac{R \sin(\Theta)}{R - h_e}\right). \quad (14)$$

Главной особенностью элемента «пятно» является то, что при попадании на его поверхность, луч получает дополнительные энергетические потери из-за различия его показателя отражения от показателя отражения ИС. Например, если ранее принималось, что лучи испытывают диффузное отражение от поверхности с некоторым коэффициентом $\rho(\Theta)$, то при отражении на элементе «пятно», коэффициент отражения $\rho_e(\Theta)$ может описываться как некоторым законом, так и случайной величиной.

Выводы

Разработан метод численного анализа влияния конструктивных элементов эталона яркости на основе интегрирующей сферы с рассеивателем на неоднородность выходного яркостного поля.

Предложены математические модели описывающие прохождение лучей внутри интегрирующей сферы при наличии в ней основных конструктивных элементов – источников излучения, экрана, рассеивателя.

Показана эффективность использования численного метода анализа выходного яркостного поля излучателя на основе интегрирующей сферы.

Во второй части работы будет проведен анализ формирования яркости поля, эталона яркости с учетом параметров его основных конструктивных элементов.

Результаты работы будут интересны специалистам в области прецизионной радиометрии и оптической метрологии.

Литература

1. Котюк А. Ф. Единая система государственных эталонов энергетической фотометрии

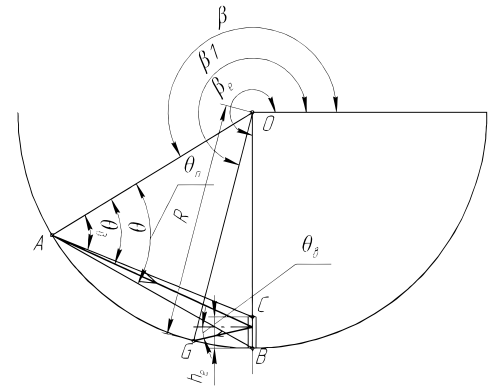


Рис. 6. Основные расчетные параметры моделей элемента тип «ограждение»

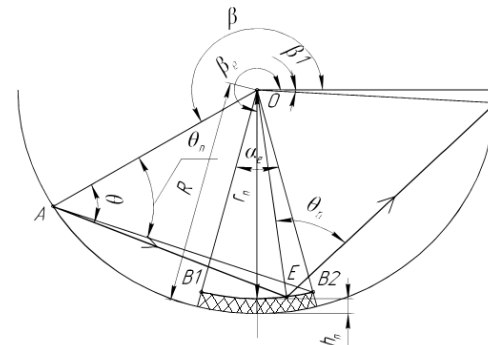


Рис. 7. Основные расчетные параметры моделей элемента типа «пятно»

когерентного и некогерентного оптического излучения / А. Ф. Котюк, В. С. Панасюк, Л. Н. Соломонов, В. И. Сачков, Б. М. Степанов // Измерительная техника. – 1976. - №3. – С. 17 – 24.

2. Купко А. О. Метрологическое обеспечение световых измерений на Украине / А. О. Купко // Светотехника. – 2001. - №5. – С. 38 – 40.

3. Міхеєнко Л. А., Пугіна М. О. Робочий еталон яскравості на базі інтегровальної сфери з розсіювачем // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015.– №4 – с. 9-15

4. Міхеєнко Л. А., Тимофєєв Л. С. Числовий метод аналізу поля яскравості дифузного випромінювача на основі інтегруючої сфери // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2015.– №5.– с. 120-127

References

1. Kotyuk A. F., Panasyuk V. S., Samojlov L. N. Edinaya sistema gosudarstvenny'x e'talonov e'nergeticheskoy fotometrii kogerentnogo i nekogerentnogo opticheskogo izlucheniya. - 1976. - № 3. - p. 17-24

2. Kupko A. O. Metrologicheskoe obespechenie svetovy'x izmerenij na Ukraine. - 2001. - №5. - p. 38-40

3. Mikheyenko L. A., Puhina M. O. Robochij etolon yaskravosti na bazi integrual'noi sfery z rozsiuvachem // Visnyk Vinnyts'kogo politexnichnogo instytutu. -2015. – №4 – s. 9-15

4. Mikheyenko L. A., Tymofeev L. S. Chyslovyi metod analizu polia yaskravosti dyfuznogo vyprominiuvacha na osnovi integrual'noi sfery. Naukovi visti NTUU "KPI". - 2015. - №5. - p. 120-127

Рецензія/Peer review : 21.11.2015 р.

Надрукована/Printed :12.12.2015 р.

УДК 631.6:556.3

О.Б. ШАНДИБА, Д.М. ШПЕТНИЙ, А.В. ТОЛБАТОВ

Сумський національний аграрний університет

ВПЛИВ РОЗЧИННОСТІ ГРАНУЛЬОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ДИНАМІКУ МІГРАЦІЇ РУХОМИХ ВОМПОНЕНТІВ В ГРУНТОВО-ВОДНИХ СИСТЕМАХ СХИЛОВИХ ЗЕМЕЛЬ

Міграція небезпечних хімічних речовин в ґрунтово-водних системах становить істотний ризик для здоров'я людей та довкілля. Сьогодні спостерігається зростаюча наукова та суспільна стурбованість щодо доступних моніторингових процедур екологічної оцінки земель сільськогосподарського призначення. Ключова проблема, яка розглядається в статті, полягає у визначенні концентраційного фону забруднень, визначенні ризиків та допустимих рівнів остаточної забрудненості контрольних ділянок.

Ключові слова: мінеральні добрива, міграція, забруднення, довкілля, ґрунтово-водна система.

A.B. SHANDYBA, D.M. SHPETNY, A.V. TOLBATOV

Sumy National Agrarian University, Ukraine

INFLUENCE OF GRANULATED FERTILIZERS SOLUBILITY UNDER MIGRATION OF THE CHEMICALS INTO GROUND-WATER SYSTEMS

The migration of the moving dangerous chemicals in soil-water systems represents significant risk to public health and environment. At the present time there is growing scientific concern about the available predicting procedures for environmental assessment of contaminated sites and chemical spills. The key problem to be considered here deals with the surface concentration distribution, risk evaluation and allowable residue levels for chemicals.

Key words: fertilizers, migration, pollution, environment, soil-water system.

Вступ

Застосування у сільськогосподарському виробництві гранульованих засобів живлення та захисту рослин, особливо на схилових землях, пов'язане з негативними наслідками міграції рухомих компонентів в поверхневі та ґрунтові води. Удосконалення систем моніторингу стану навколишнього середовища передбачає розвиток технічних засобів контролю та комп'ютеризованих систем моделювання екологічних ситуацій.

1. Огляд проблеми. З літератури відомо, що в біогенних ландшафтах геоморфологічна зональність розвитку певних видів рослин багато в чому залежить від геохімічних особливостей сільгоспугідь. Рослини, розташовані ближче до вододілу силових земель мають найбільшу можливість для поглинання легкодоступних, звичайно, добре розчинних хімічних елементів. А рослини, що ростуть нижче, використовують для вегетації елементи, що залишилися, вздовж лінії тока (міграції) аж до аквальних ландшафтів [1–4, 8]. При цьому для нормального розвитку нижче розташованих рослин необхідні в більших кількостях елементи, не поглинені рослинами, що ростуть вище. Сучасний розвиток сільського господарства ведеться без обліку особливостей цього процесу та без відповідного підбора сільськогосподарських культур. Недолік певних хімічних елементів природного походження компенсується внесенням добрив, як правило, гранульованих. Природний процес при цьому порушується, і збільшується забруднення водою біогенними елементами. Зрошення земель приводить до ще більшого вносу із ґрунтів невикористаних рослинами рухомих елементів, що залишилися в межах контрольної ділянки. Крім того, знижується водний стік з неї, тому що значна частина води, використаної для зрошення, не повертається у водойму.