

УДК 69.05:699.8

## Сучасні технології «ALARA» як інструмент керування впливом на формування біосферосумісного середовища об'єктів будівництва

Д. О. Чернишев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, tagm@ukr.net, ORCID:0000-0002-1946-9242

*Анотація.* Основою стратегічного планування діяльності у вирішенні комплексних науково-технічних завдань зі створення та експлуатації складних інженерних об'єктів лежать не тільки технічні, але й управлінські аспекти такої діяльності за принципом ALARA. Однією з найбільш важливих управлінських задач є оптимізація населених пунктів задля мінімальних витрат невідновлюваних ресурсів на опалення і охолодження. Серед впливових факторів є розповсюдження сонячної радіації. У цій статті розглянемо розроблені автором програми для комп'ютерного моделювання розповсюдження сонячної радіації в населених пунктах з урахуванням забудови в рамках пакету «Atmospheric Radiation». Порівняння результатів розрахунку та понад 13 тисяч вимірювань показало відмінний збіг окрім низького стояння сонця або високої мутності атмосфери. Останні випадки не мають практичного значення через незначне надходження сонячної радіації. Таким чином, програмний комплекс «Atmospheric Radiation» є апробованим інструментом екологічного менеджменту об'єктів біосферосумісного будівництва з реалізацією принципу ALARA.

*Ключові слова:* екосистема, будівельний проект, біосферосумісність, екологічна безпека, радіаційна безпека, ALARA.

**Вступ.** Одним з ключових факторів біосферної сумісності міст є максимальне зменшення витрат невідновлювальних видів енергії будівлями. Для цього необхідна оптимізація їхньої форми, об'ємно-планувальних і конструктивних рішень за критерієм мінімізації теплообміну між ними та навколишнім середовищем. Одним з напрямів досліджень у даній області є моделювання процесів надходження сонячної радіації крізь атмосферу і подальшого розповсюдження світлового потоку в умовах міського середовища. Ускладнення розрахункових моделей приводить до алгоритмізації і комп'ютеризації систем, внаслідок чого створюються нові прикладні програмні комплекси. Але частина з них є професійним метеорологічним програмним забезпеченням для симуляції та прогнозування погодних процесів і не може бути використана проектувальниками для розрахунків. Ті ж, що використовуються в проектній практиці спрощені і недостатньо точні. Одним з компромісних є пакет прикладних програм (ППП) «Atmospheric Radiation», який надає можливість розрахувати енергетичну освітленість і надходження теплової радіації до розрахункової точки на довільно розміщеній площині. Але для реального використання в проектній практиці даний пакет потребує додаткових модулів, серед яких такий, що враховує навколишню забудову в конкретній містобудівній ситуації.

**Актуальність дослідження.** Оптимізація геометричних характеристик забудови міст з

точки зору розповсюдження сонячної радіації дозволить зменшити витрати енергії на опалення та охолодження приміщень, що зменшить витрати невідновлюваних джерел енергії.

**Останні дослідження та публікації.** ППП «Atmospheric Radiation» був запропонований О. В. Сергейчуком у колективній роботі [1]. Алгоритм урахування навколишньої забудови наведено у [2]. Геометричні основи розрахунку координат Сонця та тривалості інсоляції довільних площин закладені в роботах В. О. Плоского [3]. Професійні метеорологічні комплекси, що дозволяють серед іншого розрахувати радіаційні характеристики та спектральний склад сонячного випромінювання, представлені програмами LIBRADTRAN [4] та SMARTS [5]. Але для їхнього використання необхідна велика кількість метеорологічних і фізико-хімічних даних, у зв'язку з чим вони не прийнятні в архітектурній практиці.

**Формулювання цілей статті.** Метою є опис методу завдання положення в сцені навколишньої забудови, алгоритму визначення полів розрахункових точок поверхонь, які впливають на освітленість розрахункової точки (РТ) в приміщенні, моделювання розповсюдження енергетичного і/або світлового потоку в сцені і теоретичне визначення рівня освітленості в РТ на поверхні землі, фасадах будівель і споруд, а також внутрішніх поверхонь розрахункового приміщення з використанням ППП «Atmospheric Radiation» у програмному середовищі MatLab.

**Основна частина.** В основі представленого програмного комплексу лежить три модуля для моделювання енергетичної освітленості від прямої сонячної радіації, моделювання розподілу енергетичної дифузної яскравості.

З урахуванням зміни значення інтенсивності сонячної радіації на верхній межі атмосфери, залежно від відстані від Землі до Сонця, можна отримати енергетичну освітленість від прямої сонячної радіації довільно орієнтованої площини без урахування її поглинання і розсіяння атмосферою у вигляді функції

$$I' = f(\varphi, N, n, T, \alpha, \beta), \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

де  $\varphi$  – географічна широта, градус. (зі знаком плюс для північної півкулі, мінус – для південної);  $N$  – місяць року;  $n$  – день місяця;  $T$  – час доби, год.;  $\alpha$  і  $\beta$  – кут нахилу та азимут вектора нормалі площини  $\Theta$ , що інсолюється.

Розглянемо визначення  $I'$ ,  $\text{Вт/м}^2$ . Координати сонця визначаються аналітично [6] за допомогою формул:

$$\sin h_o = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t; \quad (2)$$

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h_o}{\cos \varphi \cos h_o}; \quad (3)$$

$$\sin \delta = \sin 23,5^\circ \cos \left( \frac{360^\circ}{365} N_\delta \right), \quad (4)$$

де  $\varphi$  – географічна широта місця спостереження, градус. (для північної широти – додатна, для південної – від’ємна);  $\delta$  – нахилення Сонця, градус.;  $N_\delta$  – різниця між датою, для якої визначаються координати Сонця, та 21 червня, днів;  $t$  – годинний кут, що відлічується від полудня, градус.;  $t$  – середній сонячний час, год.

Енергетична освітленість площини  $\Theta$  буде дорівнювати

$$I' = I_0 (\sin \beta \cos \alpha \sin A_o \cos h_o + \cos \beta \cos \alpha \cos A_o \cos h_o + \sin h_o), \text{ Вт/м}^2 \quad (5)$$

причому, якщо за (5) виходить від’ємне число, тоді  $I' = 0$ .

Розглянута методика реалізована у вигляді пакету m-файлів “Direct Solar Radiation”. Структура пакета показана на рис. 1. Напрямок стрілки вказує програму, до якої звертається інша програма. Вхідними параметрами пакету

є:

- $fi, N, n, T, \alpha, \beta$  – теж саме, що у формулі (1);
- $h$  – висота РТ над поверхнею землі, м;
- $t, p$  – температура,  $^\circ\text{C}$ , і тиск, Па, повітря на рівні поверхні землі;
- $T_{m1}$  – фактор мутності атмосфери;
- $m1$  – маса атмосфери, при якій визначено фактор мутності;
- $n_{obl}$  – хмарність неба, балів.

Програми, що входять до пакету, розраховують:

- $ro1(h, t, p)$  – густину повітря  $ro_h$ ,  $\text{кг/м}^3$ , на висоті  $h$ , м, при значеннях на рівні поверхні землі температури повітря  $t$ ,  $^\circ\text{C}$ , і тиску  $p$ , гПа;
- $yroven_h(h, t, p)$  – значення температури  $th$ ,  $^\circ\text{C}$ , і тиску  $ph$ , гПа, повітря на рівні  $h$ , м;
- $massa(h, ho, t0, p0)$  – оптичну масу атмосфери  $m$  при кутовій висоті променя  $ho$ , град.;
- $pr(T_{m1}, m1, m)$  – коефіцієнт прозорості атмосфери  $pr_m$ , при оптичній масі  $m$ ;
- $n\_alfa(n_{obl}, ho)$  – кількість хмар  $n_{ho}$  у долях одиниці за напрямом  $ho$ , град.;
- $Io\_norm(N, n)$  – інтенсивність прямої сонячної радіації  $Io_n$ ,  $\text{Вт/м}^2$ , на нормальну до променя площину за відсутності атмосфери;
- $int\_n(Io_n, h, ho, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl})$  – інтенсивність прямої сонячної радіації  $Io$ ,  $\text{Вт/м}^2$ , що надходить на перпендикулярну сонячному променю площину в розрахунковій точці за вказаними вхідними параметрами;
- $koord(fi, N, n, T)$  – значення  $A_o$  – азимута Сонця – і  $h_o$  – висоти сонцестояння, градус.;
- $int\_rn(fi, N, n, T, h, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl})$  – інтенсивність прямої сонячної радіації  $Io$ ,  $\text{Вт/м}^2$ , що надходить на перпендикулярну сонячному променю площину в розрахунковій точці за вказаними вхідними параметрами; ця програма координує роботу програм

$$int\_n(Io_n, h, ho, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl}), \\ Io\_norm(N, n), koord(fi, N, n, T);$$

- $Delta(N, n)$  – схилення Сонця  $D$ , рад.;
- $int(A_o, ho, \alpha, \beta, Io)$  – енергетична освітленість прямою сонячною радіацією  $I$ ,  $\text{Вт/м}^2$ , площини, яка задана вектором нормалі. Верхній рівень займає програма  $int\_pr(fi, N, n, T, \alpha, \beta, h, t, p, T_{m1}, m1, n_{obl})$ , яка координує роботу всіх інших програм.

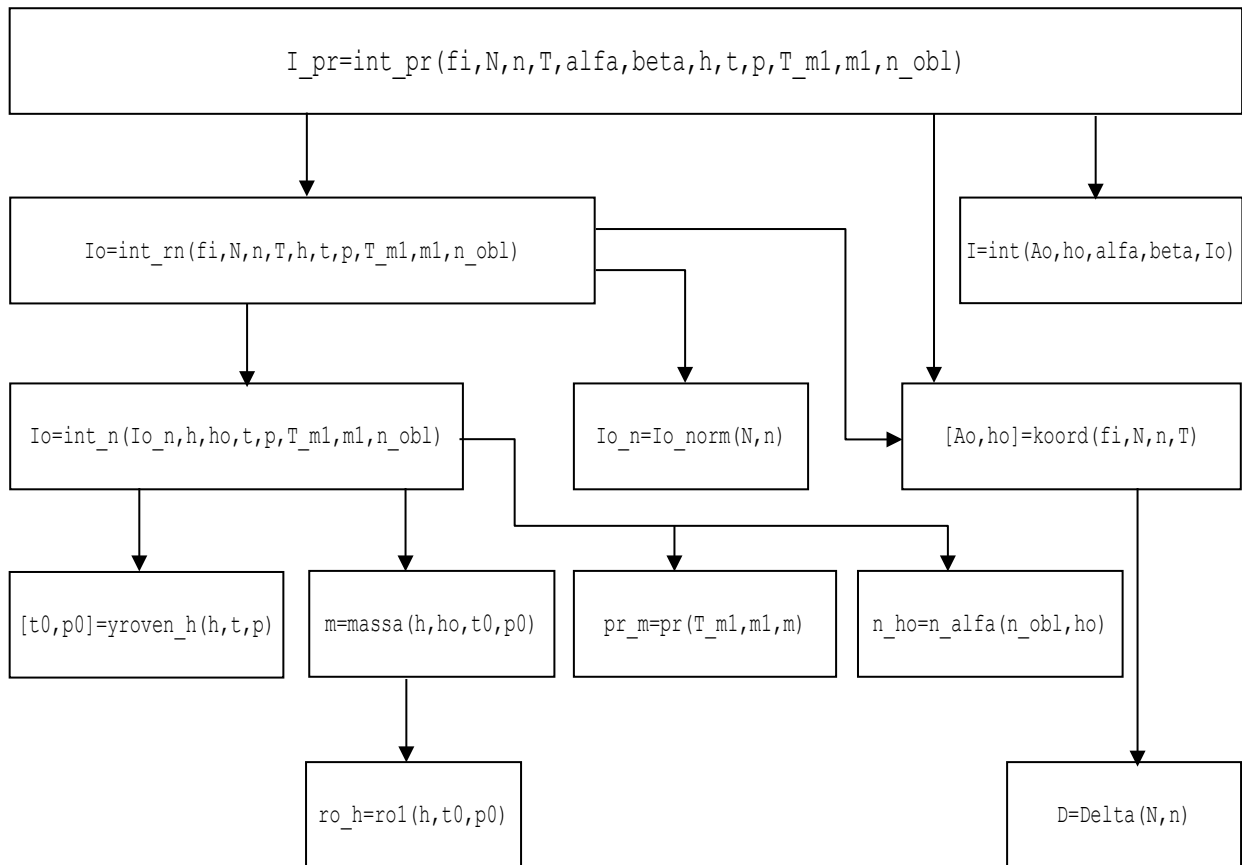


Рис. 1. Структура пакету m-файлів “Direct Solar Radiation”

Вона розраховує шукане значення енергетичної освітленості площини прямою сонячною радіацією за вхідними параметрами.

У табл. 1 наведено зіставлення результатів розрахунку інтенсивності прямої сонячної радіації, отриманих за ППП “Direct Solar Radiation” для різних умов атмосфери, з результатами обробки експериментальних досліджень, (загальна кількість вимірювань перевищує 13000) [7].

Аналіз табл. 1. свідчить, що розрахунки за ППП “Direct Solar Radiation” дають задовільні результати, які, в основному, збігаються з результатами експериментальних досліджень. Найбільш суттєві розбіжності (до 40 %) мають місце при дуже низькій прозорості атмосфери та низьких променях Сонця. Однак, абсолютні значення інтенсивності сонячної радіації при цих променях невеликі, тому ця розбіжність не матиме суттєвого значення при визначенні оптимальної форми будинків. При зростанні прозорості атмосфери та висоти Сонця розбіжності зменшуються. Так, при висоті Сонця  $41,8^\circ$ , розбіжність за будь-якої прозорості становить близько 5%. Для ідеальної атмосфери має місце практичний збіг результатів

розрахунку за методом ALARA і за ППП “Direct Solar Radiation”

ALARA (англійська аббревіатура від “As Low As Reasonably Achievable”) – один з основних критеріїв, сформульований у 1954 році Міжнародною Комісією з Радіологічного Захисту з метою мінімізації шкідливого впливу іонізуючої радіації. Передбачає підтримку на можливо низькому й досяжному рівні як індивідуальних (нижче меж, встановлених чинними нормами), так і колективних доз опромінення, з урахуванням соціальних та економічних факторів. В Україні також відомий як принцип оптимізації, дотримання якого поряд із принципами обґрунтування та нормування, є одним з основних факторів забезпечення радіаційної безпеки.

Принцип ALARA широко використовується на АЕС та інших радіаційно-небезпечних об’єктах усього світу як один з найважливіших принципів забезпечення радіаційної безпеки при проведенні, при плануванні, підготовці й виконанні радіаційно-небезпечних робіт [8]. За сформованою в більшості країн практикою, принцип оптимізації повинен використатися щоразу, коли планується проведення захисних заходів.

Зіставлення результатів розрахунку інтенсивності  
прямої сонячної радіації  $I$  (кВт/м<sup>2</sup>) за ППП “Direct Solar Radiation” (знаменник)  
з експериментальними даними (чисельник)

Прозорість атмосфери Фактор мутності	$\frac{c}{T}$	Висота сонцестояння $h_0$ , град					
		6,8	11,3	14,3	19,3	30,3	41,8
<u>Дуже низька</u>	<u>0,91</u>	<u>0,110</u>	<u>0,208</u>	<u>0,272</u>	<u>0,366</u>	<u>0,487</u>	<u>0,595</u>
Дуже високий	5,31	0,156	0,247	0,308	0,394	0,533	0,628
<u>Низька</u>	<u>0,67</u>	<u>0,170</u>	<u>0,292</u>	<u>0,364</u>	<u>0,456</u>	<u>0,588</u>	<u>0,699</u>
Високий	4,34	0,236	0,336	0,402	0,492	0,628	0,717
<u>Знижена</u>	<u>0,54</u>	<u>0,237</u>	<u>0,372</u>	<u>0,452</u>	<u>0,541</u>	<u>0,670</u>	<u>0,768</u>
Підвищений	3,69	0,305	0,411	0,478	0,569	0,701	0,783
<u>Нормальна</u>	<u>0,43</u>	<u>0,476</u>	<u>0,552</u>	<u>0,636</u>	<u>0,644</u>	<u>0,769</u>	<u>0,852</u>
Нормальний	2,97	0,417	0,539	0,611	0,702	0,832	0,911
<u>Підвищена</u>	<u>0,34</u>	<u>0,419</u>	<u>0,568</u>	<u>0,644</u>	<u>0,735</u>	<u>0,852</u>	<u>0,926</u>
Знижений	2,42	0,473	0,617	0,682	0,778	0,903	0,972
<u>Висока</u>	<u>0,27</u>	<u>0,522</u>	<u>0,667</u>	<u>0,745</u>	<u>0,828</u>	<u>0,942</u>	<u>1,000</u>
Низький	1,93	0,589	0,728	0,796	0,879	0,989	1,052
Ідеальна атмосфера	<u>0,13</u> 1	<u>0,837</u> 0,839	<u>0,949</u> 0,970	<u>0,998</u> 1,022	<u>1,053</u> 1,081	<u>1,131</u> 1,155	<u>1,173</u> 1,195

**Примітки:**

1. Розрахунок за ППП “Direct Solar Radiation” проведени при таких вхідних кліматичних умовах: температура повітря  $t = 15$  °С, тиск  $p = 1013$  гПа,  $I_0^* = 1,37$  кВт/м<sup>2</sup>, висота РТ над рівнем земної поверхні  $h = 0$ , оптична маса атмосфери, при якій визначений фактор мутності  $m_1 = 1,5$ , кількість хмар  $n_{обл} = 0$ .
2.  $c$  – параметр прозорості атмосфери,  $T$  – фактор мутності.

Оскільки на сьогодні інші екологічні загрози, серед яких викиди парникових газів при спалюванні невідновлюваних ресурсів, становлять серйозну небезпеку людству, то аналогічні принципи впроваджуються в різних галузях, пов’язаних з безпекою.

Запропонований програмний продукт є одним з апробованих інструментів оптимізації впливу на навколишнє середовище та засоби вирішення завдань щодо модернізації систем екологічного менеджменту об’єктів біосферосумісного будівництва. Для будь-якого об’єкта будівництва “контекст” діяльності передбачає внутрішні й зовнішні умови, які впливають на систему екологічного менеджменту (СЕМ). Контекст організації необхідно враховувати для керування ризиками та реалізації можливостей СЕМ. Перехід з функціонального на процесове управління дозволяє здійснювати безперервне й тотальне керування впливом на навколишнє середовище. Впровадження вимог міжнародного стандарту

версії ISO 14001:2015 [9] сприяє постійному зниженню впливу на навколишнє середовище на основі структурованих і саморегульованих процесів системи екологічного менеджменту. Для біосферосумісного середовища об’єктів будівництва реалізація вимог стандарту ISO 14001:2015 забезпечує реалізацію принципу ALARA в повному обсязі.

**Висновки.** Запропонований програмний комплекс для розрахунку надходження сонячної радіації на поверхню дозволяє з достатньою для інженерних розрахунків точністю визначити потік енергії Сонця на задану площу з урахуванням навколишньої забудови та інших об’єктів. Це дозволяє оптимізувати потоки сонячної радіації в проектному населеному пункті задля мінімізації витрат енергії та викиду парникових газів на опалення та охолодження. Це є одним з апробованих інструментів екологічного менеджменту об’єктів біосферосумісного будівництва з реалізацією принципу ALARA.

### Література

1. Bazhenov V. Applied Software «Atmos-pheric Radiation» for an Energy Efficient Building / V. Bazhenov, P. Lizunov, O. Pidgorny ets. // 14th Inter-national Conference on Computing in Civil and Building Engineering (27–29 June 2012, Moscow). – [Electronic resource]. Access mode: [http://www.icccbe.ru/paper\\_long/0327paper\\_long.pdf](http://www.icccbe.ru/paper_long/0327paper_long.pdf). – Title from the screen. – Access date 18.01.2013.
2. Поздняков А. Л. Основы экологической безопасности производственных объектов в условиях городской среды с позиции биосферосовместимости: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.19 / А. Л. Поздняков; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс» кафедра «Городское строительство и хозяйство» Архитектурно-строительного института. – Орел, 2011. – 21 с.
3. Плоский В. О. Досвід організаційної та наукової роботи за напрямком “Енергоефективність” кісний аналіз трохіодальної моделі / В. О. Плоский // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин : зб. наук. праць. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 28. – част. 2. – с. 38-44.
4. Mayer B. The LibRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use / B. Mayer, A. Kylling // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2005. – Vol. 5. – p. 1855 – 1877. – Bibliog.: 1876-1877.
5. Reference solar spectra irradiance. National renewable energy laboratory spectral solar radiation database. – [Electronic resource]. Access mode: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>. – Title from the screen. – Access date 30.10.2017.
6. Сергейчук О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук.: 05.01.01 / О. В. Сергейчук; Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2008. – 425 с.
7. Ларионов А. Н. Методические подходы к развитию программ экологического жилищного строительства / А. Н. Ларионов, И. В. Малышев // Вестник Волгоградского института бизнеса. – 2009. – № 2(9). – С. 68-80.
8. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3). – 1991. – [Electronic resource]. Access mode: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>. – Title from the screen. – Access date 30.10.2017.
9. ISO 14001:2015. Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use. – Valid from 09.2015. – ISO/TC 207/SC 1, 2015. – 35 p.

### References

1. Bazhenov V., Lizunov P., Pidgorny O. ets. “Applied Software «Atmos-pheric Radiation» for an Energy Efficient Building” 14th Inter-national Conference on Computing in Civil and Building Engineering (27–29 June 2012, Moscow), [http://www.icccbe.ru/paper\\_long/0327paper\\_long.pdf](http://www.icccbe.ru/paper_long/0327paper_long.pdf). Accessed 18.01.2013.
2. Pozdniakov A. L. *Osnovy ekologicheskoi bezopasnosti proizvodstvennykh obektov v usloviakh gorodskoi sredy s pozitsii biosferosovmestimosti*. Diss. Abstract. Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "State University - Educational, Research and Production Complex" Department "Urban Construction and Economy" of the Architecture and Construction Institute, 2011.
3. Ploskii V. O. “Dosvid organizatsiinoi ta naukovoi roboty za napriamkom “Energoefektyvnist” kisnyi analiz trokhoidalnoi modeli.” *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn: zb. nauk. prats*. Iss. 28, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2015, pp. 38-44.
4. Mayer B., Kylling A. “The LibRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use.” *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 5, 2005, pp. 1855 – 1877.
5. “Reference solar spectra irradiance. National renewable energy laboratory spectral solar radiation database”, <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>. Accessed 30.10.2017.
6. Sergeichuk O. V. *Geovetrychne modeliuвання fizychnykh protseciv pry optymizatsii formy energoefektyvnykh budynkiv*. Diss. Abstract. Kyiv National University of Construction and Architecture, 2008.
7. Larionov A. N., Malyshev I. V. “Metodicheskie podkhody k razvitiu programm ekologicheskogo zhilishchnogo stroitelstva.” *Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa*, no. 2(9), 2009, pp. 68-80.
8. “Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”. *ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3)*, 1991. <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>. Accessed 30.10.2017.
9. *Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. ISO 14001:2015, ISO/TC 207/SC 1, 2015.

УДК 69.05:699.8

## Современные технологии «ALARA» как инструмент управления влиянием на формирование биосферосовместимой среды объектов строительства

Д. О. Чернышев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, tagm@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1946-9242

*Аннотация. Основой стратегического планирования деятельности в решении комплексных научно-технических задач по созданию и эксплуатации сложных инженерных объектов лежат не только технические, но и управленческие аспекты такой деятельности по принципу ALARA. Одной из наиболее важных управленческих задач является оптимизация населённых пунктов для минимизации затрат невозобновляемых ресурсов на отопление и охлаждение. Среди влияющих факторов следует выделить распространение солнечной радиации. В этой статье рассмотрим разработанные автором программы для компьютерного моделирования распространения солнечной радиации в населённых пунктах с учётом застройки в рамках пакета «Atmospheric Radiation». Сравнение результатов расчёта и более 13000 измерений показало отличное совпадение кроме низкого стояния Солнца или высокой мутности атмосферы. Последние случаи не имеют практического значения из-за незначительного поступления солнечной радиации. Таким образом, программный комплекс «Atmospheric Radiation» является апробированным инструментом экологического менеджмента объектов биосферосовместимого строительства с реализацией принципа ALARA.*

*Ключевые слова: экосистема, строительный проект, биосферосовместимость, экологическая безопасность, радиационная безопасность, ALARA.*

UDC 69.05:699.8

## Modern Technologies "ALARA" as an Instrument to the Management of the Influence of the Formation of a Biospherocomposite Environment of the Construction Companies

D. Chernyshev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, tagm@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1946-9242

*Abstract. The basis of strategic planning of activities in solving complex scientific and technical problems in the creation and operation of complex engineering facilities is not only technical, but also management aspects of such activities on the principle of ALARA. One of the most important management tasks is the optimization of settlements to minimize consumption of non-renewable resources for heating and cooling. One of the influencing factors is the distribution of solar radiation. In this article, we will consider the programs developed by the author for computer simulation of the propagation of solar radiation in populated areas, taking into account the construction in the "Atmospheric Radiation" software package. Comparison of the calculation results and more than 13000 measurements showed an excellent coincidence, apart from low standing of the Sun or high turbidity of the atmosphere. The last cases have no practical significance due to insignificant intake of solar radiation. Thus, the "Atmospheric Radiation" software package is a proven tool for environmental management of biosphere-compatible construction projects with the implementation of the ALARA principle.*

*Keywords: ecosystem, construction project, biosphere compatibility, environmental safety, radiation safety, ALARA.*

Надійшла до редакції / Received 28.10.2017