

Կանաչ լուսավորություն.  
տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և  
ճարտարագետների համար

**Green Lighting:**  
Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ | Artak Hambarian  
Ղազարյան Վարդան | Vardan Ghazaryan

ՀՏԴ 620.9:004:502/504:72  
ԳՄԴ 31+32.81+28.088+85.11  
Հ 205

Հ 205 Կանաչ լուսավորություն. տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար / Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան. - Եր.: ՄԱՉԾ Հայաստան, 2018թ., 256 էջ:  
Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan "Green Lighting: Theory and Principles for Engineers and Architects", Yerevan, 2018, 256 pp.

ISBN 978-9939-1-0837-7

Սույն երկլեզու դասագիրքն անդրադառնում է առօրյայում մեծ առաջընթաց ապրող՝ նոր էներգաարդյունավետ լուսավորության տեխնոլոգիաներին և ամփոփում է դրանց հիմքում դրված ֆիզիկական, կենսաբանական և գեղագիտական սկզբունքները, ինչպես նաև տնտեսական մոտեցումները, համակարգչային ծրագրային փաթեթները և բնապահպանական ասպեկտները:

Դասագիրքը մշակվել է ՀՀ բնապահպանության նախարարության համակարգման ներքո ՄԱԿ-ի Չարգացման ծրագրի կողմից իրականացվող և Գլոբալ Էկոլոգիական ֆոնդի կողմից ֆինանսավորվող «Զաղաքային կանաչ լուսավորություն» ծրագրի շրջանակներում:

This bilingual textbook addresses the new energy efficient lighting technologies that are manifesting great progress in everyday life and provides a summary on their underlying physical, biological and aesthetic principles, as well as standards, economic approaches, software, and environmental aspects.

The textbook is developed in the framework of "Green Urban Lighting" project implemented by UN Development Programme and financed by Global Environment Facility under coordination of the Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia.

Տեքստի ձևավորում՝ ԹԱՍԿ ՍՊԸ  
Կազմի ձևավորում՝ Պենո Միշոյան

Text design: TASK LLC  
Cover design: Penno Mishoyan

Սույն հրապարակումով ներկայացված տեսակետը հեղինակային է և կարող է չհամընկնել ՄԱԿ-ի Չարգացման ծրագրի դիրքորոշման հետ:

The views expressed in this publication are the authors' and do not necessarily represent those of the United Nations Development Programme.

© ՄԱՉԾ Հայաստան, 2018  
© UNDP Armenia, 2018

Սույն հրապարակման բովանդակությունը թույլատրվում է վերարտադրել անվճար, ցանկացած ձևաչափով և միջոցով՝ ճշգրիտ և ոչ ապակողմնորոշող համատեքստում կիրառելու պայմանով: Նյութը պետք է ճանաչվի որպես ՄԱՉԾ հեղինակային իրավունքի առարկա, ընդ որում հրապարակման անվանումը, վայրը և տարին պետք է նշվեն:

This publication may be reproduced free of charge in any format or medium provided that it is reproduced accurately and not in misleading context. The material must be acknowledged as UNDP copyright with the title and source of publication specified.

## FOREWORD

The new energy-efficient lighting technologies are manifesting great progress in everyday life. Optimal, long-term successful use of just-appeared most modern cutting edge solutions, especially those promising maximum energy savings, requires proper understanding of underlying physical principles and related characteristics, as well as mechanisms of human perception. It also often requires implementation of specialized software for lighting design, special economic techniques, and, importantly, environmentally conscious approaches.

Light is the phenomenon that stipulates the vision, or visual perception, through which humans get more than 90% of information necessary for life. It helps virtually instant recognition of scenes, actions, objects, people and aesthetics.

Engineers and architects need to learn the range of the lighting conditions supporting human vision. A number of physical parameters characterizing the comfort zone for human visual perception can describe these lighting conditions.

Across the years of research, the scientific community has developed a number of lighting standards that formulate the set of parameters for lighting conditions.

People developed a number of artificial light sources that can be used for domestic and industrial lighting purposes. With the advancement of science and technologies, they become better and better – in terms of comfort and energy efficiency. The latter is one of the most important issues that help to mitigate climate change, one of the challenges of the modern world. Besides, energy efficiency is interesting in general to everyone: governments for energy independence, individuals and businesses for savings.

This bilingual textbook is a brief summary on the physical, biological and aesthetical principles, as well as standards, economic approaches, software, and environmental aspects underlying the lighting technologies.

The first chapter addresses the scientific foundations of the light, vision and basic metrology. Next, the 2<sup>nd</sup> chapter discusses the various light sources and physical principles of their operation;

## ՆԱԽԱԲԱՆ

Նոր էներգաարդյունավետ լուսավորության տեխնոլոգիաների առօրյայում կիրառումն ապրում է մեծ առաջընթաց: Առաջադեմ նորաստեղծ ժամանակակից, հատկապես՝ առավել էներգախնայող լուծումների օպտիմալ երկարաժամկետ արդյունավետ օգտագործումը պահանջում է հիմնարար ֆիզիկական սկզբունքների և համապատասխան բնութագրերի, մարդու ընկալման մեխանիզմների պատշաճ իմացություն: Հաճախ այն պահանջում է նաև լուսավորության նախագծման մասնագիտացված ծրագրային ապահովում, տնտեսական հատուկ մեթոդներ, կարևորում է բնապահպանական խնդիրներին գիտակցված մոտեցումներ:

Լույսը երևույթ է, որ պայմանավորում է տեսողությունը կամ տեսողական ընկալումը, որի միջոցով մարդիկ ստանում են կյանքի համար անհրաժեշտ տեղեկության ավելի քան 90 տոկոսը: Լույսի շնորհիվ գրեթե ակնթարթորեն ճանաչում ենք տեսարաններ, գործողություններ, օբյեկտներ, մարդկանց և ընկալում իրերի գեղագիտական կողմը:

Ճարտարագետները և ճարտարապետները պետք է իմանան մարդու տեսողությանը նպաստող լուսավորության պայմանների շրջանակը: Նշված պայմանները հնարավոր է նկարագրել մարդու տեսողական ընկալման համար հարմարավետության միջակայքը բնորոշող մի շարք ֆիզիկական հարաչափերի միջոցով:

Բազմամյա ուսումնասիրությունների արդյունքում գիտնականները մշակել են մի շարք լուսավորության ստանդարտներ, որտեղ ձևակերպել են լուսավորության պայմանների հարաչափերի ամբողջությունը:

Մարդիկ մշակել են լույսի մի շարք արհեստական աղբյուրներ, որոնք կարող են օգտագործվել լուսավորության նպատակներով կենցաղում և արդյունաբերության մեջ: Գիտության և տեխնոլոգիաների առաջընթացի հետ մեկտեղ դրանք բարելավվում են և հարմարավետության, և էներգաարդյունավետության տեսանկյունից: Վերջինս կարևորագույն խնդիրներից է արդի աշխարհին նետած մարտահրավերներից մեկի՝ կլիմայի փոփոխության ազդեցության մեղմմանը նպաստելու համար: Բացի դա, էներգաարդյունավետությունն ընդհանուր առմամբ շահեկան է բոլորի համար. կառավարությունների՝ էներգետիկ անկախության ամրապնդման, անհատների և գործարարների՝ խնայողությունների առումով:

Սույն երկլեզու դասագիրքն ամփոփում է լուսավորության տեխնոլոգիաների հիմքում դրված ֆիզիկական, կենսաբանական և գեղագիտական սկզբունք-

the 3<sup>rd</sup> addresses indoor lighting, including health related issues, and the 4<sup>th</sup> – outdoor and architectural lighting including brief overviews of standards for both; the 5<sup>th</sup> look at software for the lighting design; the 6<sup>th</sup> address economic approaches, and the 7<sup>th</sup> – environmental problems.

ներ, ինչպես նաև տնտեսական մոտեցումներ, համակարգչային ծրագրային փաթեթներ և բնապահպանական ասպեկտներ:

Առաջին գլուխն անդրադառնում է լույսի և տեսողության գիտական հիմքերին և չափագիտության հիմունքներին: Երկրորդ գլուխը քննարկում է լույսի զանազան աղբյուրներ և դրանց գործելու ֆիզիկական սկզբունքներ: Երրորդ գլուխն անդրադառնում է ներքին լուսավորությանը, այդ թվում մարդու առողջության հետ կապված խնդիրներին, իսկ չորրորդը՝ արտաքին և ճարտարապետական լուսավորությանը, ներառյալ այդ ոլորտներում գործող ստանդարտների հակիրճ ակնարկը: Հինգերորդ գլուխը դիտարկում է լուսավորության նախագծման համակարգչային ծրագրավորումը, վեցերորդն անդրադառնում է տնտեսական մոտեցումներին, իսկ յոթերորդը՝ բնապահպանական խնդիրներին:

## ABOUT AUTHORS

### Artak Hambarian

Dr. Artak Hambarian is the Associate Director of the Engineering Research Center and is an Assistant Professor at the AUA's College of Science and Engineering. His background is in semiconductor technology and industrial engineering. He has supervised a number of international research projects related to alternative energy and the design of test equipment for the semiconductor industry. His interests include product lifecycles, heuristic scheduling (industrial engineering), solar heat and photovoltaic applications, energy policy (renewable energy), and semiconductor technology, in particular the interaction of laser radiation with semiconductor surfaces both for testing and modification of characteristics. He holds Master's degrees from the Yerevan State University's Department of Radiophysics and from AUA in Industrial Engineering, and a PhD from the Department of Electrical Engineering of the State Engineering University of Armenia.

### Vardan Ghazaryan

Vardan Ghazaryan works as a leading engineer at the Cosmic Rays Division at "National Science Laboratory after A. Alikhanyan" Foundation, former Yerevan Physics Institute. He is involved into activities for development of light detection and ranging (LIDAR) instrument and atmospheric research with its application. He is a specialist in laser technics and electronics and a contributor to the development of long-range mobile laser systems. He implemented industrial projects from design stage to commissioning. His professional interests include process automation, management and data acquisition technologies, including industrial applications, as well as lighting design sector. Mr. Ghazaryan graduated from Radiophysics and Electronics Department of the Yerevan State University.

## ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

### Արտակ Համբարյան

Արտակ Համբարյանն աշխատում է ՀԱՀ-ում՝ որպես ճարտարագիտական հետազոտությունների կենտրոնի փոխտնօրեն և բնագիտության և ճարտարագիտության ֆակուլտետի դասախոս: Կիսահաղորդչային տեխնոլոգիաների և արդյունաբերական ճարտարագիտության մասնագետ է: Տնօրինել է մի շարք միջազգային հետազոտական նախագծեր այլընտրանքային էներգետիկայի ոլորտում և կիսահաղորդչային արդյունաբերության համար չափիչ սարքավորումների նախագծման բնագավառում: Նրա մասնագիտական հետաքրքրություններն ներառում են արտադրանքի կենսափուլ, էվրիստիկ պլանավորում (արդյունաբերական ճարտարագիտության մասով), արևի ջերմային և ֆոտովոլտայիկ մեթոդների կիրառում, էներգետիկայի ոլորտում քաղաքականությունների (վերականգնվող էներգիայի մասով), ինչպես նաև կիսահաղորդչային տեխնոլոգիաների բնագավառում որոշ թեմաներ, ինչպես օրինակ լազերային ճառագայթման ներգործությունը կիսահաղորդչային մակերևույթների վրա՝ թե հատկությունների չափման և թե կառավարման նպատակով: Պրն. Համբարյանն ունի Երևանի պետական համալսարանի ռադիոֆիզիկայի ֆակուլտետի և ՀԱՀ արդյունաբերական ճարտարագիտության ֆակուլտետի մագիստրոսի աստիճաններ, ինչպես նաև Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի էլեկտրոնիկայի ֆակուլտետի տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի աստիճան:

### Վարդան Ղազարյան

Վարդան Ղազարյանն աշխատում է «Ա. Ալիխանյանի անվան գիտությունների ազգային գիտական լաբորատորիա» հիմնադրամի (նախկինում՝ Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ) կոսմիկական ճառագայթների բաժնում՝ որպես առաջատար ճարտարագետ: Ներգրավված է ԼԻԴԱՐ գործիքի (light detection and ranging, LIDAR) ստեղծման և նրա միջոցով մթնոլորտի հետազոտման աշխատանքներում: Լազերային տեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի մասնագետ է: Մասնակցել է հեռահար դյուրակիր լազերային համակարգերի ստեղծման աշխատանքներին և իրականացրել է նախաձեռնություններ արտադրության ոլորտում՝ նախագծումից մինչև շահագործում: Նրա մասնագիտական հետաքրքրությունները ներառում են պրոցեսների ավտոմատացման, կառավարման և տվյալների հավաքման/գրանցման տեխնոլոգիաները, այդ թվում արտադրության ոլորտում, ինչպես նաև լուսային դիզայնի բնագավառում: Պրն. Ղազարյանն ավարտել է Երևանի պետական համալսարանի ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ֆակուլտետը:

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors extend their deep gratitude to United Nations Development Programme (UNDP) for its consistent support for the idea of incorporating energy performance-related texts into the curricula of Armenian higher education institutions and for sponsorship of the development of this textbook, as well as to many individuals without whose contribution the publication of this textbook would not have been possible.

From the UNDP in Armenia, invaluable contributions came from Diana Harutyunyan and Armen Gulkanyan, who offered their continuous insights, encouragement, and guidance. The final product benefited greatly from their comments and criticisms of the drafts of the textbook. Marianna Arzangulyan occupied the unenviable position of coordinating between the authors, who wrote in English, and the translators into Armenian, managing various iterations and revisions as well as making her own useful suggestions.

The textbook translators, Grigor Igityan and Aramazd Ghalamkaryan, the editor of the Armenian version Armine Arakyan also need to be thanked again and again. Many of the terms used in the field of environmental science, green architecture, and green urbanism have not yet been formed or fixed in Armenian. Naturally, this posed monumental challenges for those trying to translate the textbook into Armenian, particularly when it was intended to be accessible to students and teachers alike. Our translators took on this challenge with courage and determination.

Special words of thanks need to be offered to the Institute of Energy and Electrical Engineering of the National Polytechnic University of Armenia for its commitment to incorporate the content of this textbook into its curriculum. Additionally, the American University of Armenia needs to be thanked for pioneering the teaching of this subject to its engineering students in Armenia.

## ԵՐԱՆՏԻՔԻ ԽՈՍՔ

Հեղինակները երախտապարտ են այն հետևողական աջակցությանը, որը Միավորված Ազգերի Զարգացման ծրագիրը (ՄԱԶԾ) ցուցաբերում է Հայաստանի բարձրագույն ուսումնական հաստատությունների ծրագրերում էներգաարդյունավետության վերաբերյալ ուսումնական նյութերի ներառման գաղափարին, և մասնավորապես սույն դասագրքի մշակման հովանավորության համար, ինչպես նաև բազմաթիվ անձանց, առանց որոնց ներդրման սույն դասագրքի լույս տեսնելը հնարավոր չէր լինի:

ՄԱԶԾ-ի հայաստանյան գրասենյակից Դիանա Հարությունյանի և Արմեն Գուլքանյանի ներդրումներն անգնահատելի են, իրենց շարունակական աջակցության, ըմբռնումի, խրախուսման և ուղղորդման շնորհիվ: Վերջնական արդյունքը մեծապես բարելավվել է դասագրքի նախագծի վերաբերյալ նրանց մեկնաբանությունների ու քննադատության միջոցով: Համակարգելով անգլերեն գրող հեղինակների և հայերեն թարգմանիչների ջանքերը, Մարիաննա Արզանգուլյանը կատարում էր աննախանձելի դեր՝ աշխատանքային տարբերակների անհամար խտրացիաներով և դրանց վերանայումների բազմաթիվ տարբերակներով, հանդես գալով օգտակար առաջարկություններով:

Դասագրքի թարգմանիչներ Գրիգոր Իգիթյանին և Արամազդ Ղալամբարյանին, ինչպես նաև հայերեն տեքստի խմբագիր Արմինե Արաքյանին հեղինակները հայտնում են իրենց երախտապարտությունը՝ նորից ու կրկին: Բնապահպանական գիտության, կանաչ ճարտարապետության և կանաչ քաղաքաշինության ոլորտում օգտագործվող շատ տերմիններ հայերենում դեռ չեն ձևավորվել, դրանց կիրառումը մասնագիտական միջավայրում դեռ չի ամրապնդվել: Այսպիսով, ինչպես կարելի է պատկերացնել, ծառանում են ահռելի մարտահրավերներ հայերեն թարգմանությունը նախաձեռնածների համար, մասնավորապես, եթե նպատակ է հետապնդվում դասագիրքը հասանելի դարձնել ոչ միայն պրոֆեսորադասախոսական կազմի, այլև ուսանողների համար: Մեր թարգմանիչներն ընդունել են այս մարտահրավերը քաջությամբ և վճռականությամբ:

Շնորհակալական հատուկ խոսք ենք ուղղում Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի էներգետիկայի և էլեկտրատեխնիկայի ինստիտուտին՝ դասագրքի բովանդակությունն ուսումնական իր ծրագրերում ներառելու պարտավորությունը ստանձնելու համար: Բացի դա, շնորհակալություն ենք հայտնում Հայաստանի ամերիկյան համալսարանին՝ ճարտարագետ ուսանողներին այս թեմաներով Հայաստանում ուսուցանելու նախադեպ ստեղծելու համար:

## CONTENT

## ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Chapter 1. Lighting theory and principles for engineers and architects	9	Գլուխ 1. Լուսավորության տեսությունը և սկզբունքները ճարտարագետների և ճարտարապետների համար
Chapter 2. Artificial light sources	59	Գլուխ 2. Լույսի արհեստական աղբյուրներ
Chapter 3. Indoor lighting: health-related, efficient, and cost-effective solutions	117	Գլուխ 3. Ներքին լուսավորություն. առողջությանը նպաստող, բարձր ՕԳԳ-ով և ծախսարդյունավետ լուծումներ
Chapter 4. Outdoor lighting: special needs of street traffic, pedestrians, parks, landscaping and nature	143	Գլուխ 4. Արտաքին լուսավորություն. ճանապարհային երթևեկության, հետիոտների, զբոսայգիների, լանդշաֆտի և բնության հատուկ կարիքները
Chapter 5. Software for simulation and design	173	Գլուխ 5. Համակարգչային ծրագրեր մոդելավորման և նախագծման համար
Chapter 6. Technical and economic principles of energy efficient lighting	229	Գլուխ 6. Էներգաարդյունավետ լուսավորության տեխնիկական և տնտեսական սկզբունքները
Chapter 7. Lighting and ecology	243	Գլուխ 7. Լուսավորությունը և էկոլոգիան