УДК: 658
DOI: 10.31891/2307-5740-2018-262-5(1)-95-101

ПОЛЯК С.Ю.,
ДЕМЕШКО О.В.,
ГОНЧАР А.В.
Хмельницьке територіальне відділення МАН України, ліцей № 17

# ЕФЕКТ РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

*Досліджено особливості ефекту розсіювання світла та практичні аспекти його застосування в різних галузях народного господарства. Зроблено висновок про те, що освітлення із проблеми суто гігієнічної стало проблемою соціально-економічною та потребує подальших досліджень і удосконалень.*

*Ключові слова: світло, розсіювання, поглинання, прилади, техніка, структура, ефект, ефективність, економічний ефект.*

POLYAK S.,
DEMESHKO O.,
GONCHAR A.
Khmelnytsky Territorial Department of the Academy of Sciences of Ukraine, Lyceum № 17

# THE EFFECT OF SIGHTING THE LIGHT AND ITS APPLICATION IN THE ECONOMY

*The features of the light scattering effect and practical aspects of its application in various branches of the national economy are investigated. It is concluded that in the industry and medicine the most developed and widespread introduction are contactless methods of temperature measurement. They have a very important feature, as distinguished from among other methods of measuring the temperature - it is possible to measure the temperature of hard-to-reach and distant objects. The importance of using the light scattering effect in the industry is increasing - for the manufacture of a variety of products, in particular - sensors developed on the basis of micro and nanostructured materials. The effect of scattering and absorption of light is also used in the construction of liquid crystals. Characteristic is the high value of contrast and low control voltage, so the study is important for the design of a number of devices. The main advantage of the effect is the removal of polarization optics, which leads to radiation losses. It was established that lighting instruments are used in methods of non-invasive laser and photon diagnostics, taking into account other physiological aspects when planning products and services. According to the results of the study on the masking ability of different types of glass, the relationship between the masking ability of glass and reflection, transmission, absorption and diffusion coefficients of light, as well as the relationship between the dimensions of inhomogeneities and the scattering ability of glass, is established. It is concluded that there is the highest effect of light transmission in a large square glass. Such glass properties should be taken into account when designing tasks. Knowledge of light scattering is also used in psychology, to address lighting engineering and architecture. The conclusion is made that illumination from a purely hygienic problem has become a socio-economic problem and needs further research and improvement.*

*Key words: light, dispersion, absorption, devices, technique, structure, effect, efficiency, economic effect.*

**Актуальність теми**. В основі багатьох виробничих та наукових застосувань лежить ефект розсіювання світла. Його суть — недзеркальне відображення світла, наприклад, матовими поверхнями, або дисперсія — розкладання білих або взагалі складних кольорових променів на більш прості рядb явищ: переломлення в прозорих тілах; переломлення в тілах, що поглинають деякі промені (аномальна дисперсія); дифракційний нормальний спектр; обертання (молекулярне і магнітне) площини поляризації; розбіжність оптичних променів різних кольорів в двоосних кристалах [1].

Науково-технічний прогрес, інноваційні дослідження, у першу чергу, тісно пов'язані з вдосконаленням засобів та методів вимірювальної техніки. Це цілковито стосується і термометрії, яка невпинно розвивається. Розширюється діапазон вимірювання, розробляються нові методи та засоби вимірювання температури, які забезпечують необхідні їх метрологічні характеристики, оскільки точність підтримання температурного режиму в більшості технологічних процесів є основним параметром, від якого залежить якість кінцевого продукту. Розвиток сучасних телекомунікаційних мереж незмінно йде шляхом збільшення їхньої пропускної здатності. Постійно зростаюча потреба в збільшенні швидкості передачі даних є причиною появи й становлення нових волоконно-оптичних технологій, що дозволяють передавати сигнали з більш високою швидкістю на далекі відстані.

Крім того, у промисловості сьогодні широкого використання на сьогодні набули рідкі кристали. Вони служать активним середовищем для багатьох приладів оптоелектроніки, серед яких модулятори, дефлектори тощо. Передусім це пояснюється наявністю різноманітних електрооптичних ефектів у рідких кристалах. Найчастіше використовуються «твіст» і «супер-твіст» ефекти [2].

У сфері медицини активно розвиваються методи неінвазивної лазерної та фотонної діагностики. Вони потребують вимірювання лазерного випромінювання всередині тканини, це потребує розробки нових методів для вирішення проблем перетворення прямого та зворотного випромінювання [3].

Актуальними є питання світлотехніки у будівництві та архітектурі. Тут розсіювання світла також розглядають з різних точок зору. Так, поряд із питаннями генерації світла, учені почали розробляти питання техніки освітлення. Процес зорового сприйняття став вивчатися з погляду техніки освітлення та впливати на ефективність будівельних робіт та особливостей сприйняття об'єктів будівництва. Сьогодні особливо актуальними є питання економічної результативності від застосування ефекту розсіювання світла.

**Аналіз останніх досліджень**. Вагомий внесок у дослідження ефекту розсіювання світла і його практичного застосування здійснили науковці: Л.І. Мандельштам, Ландсберг, Ч.В. Раман, К.С. Крішнан, Рокар, Кабанн і Дор та інші. Однак, аспекти застосування ефекту світлорозсіювання в різних галузях народного господарства мають свої особливості та потребують уточнень і подальших досліджень в сучасних умовах.

**Метою дослідження** є узагальнення теоретико-прикладних аспектів та класифікація напрямів застосування ефекту розсіювання світла у народногосподарській практиці, виявлення їх особливостей.

**Виклад основного матеріалу.** Розвиток теорії розсіювання світла бере початок з XIX ст. Так, у 1918 р. Л.І. Мандельштам передбачив розщеплення лінії релеївського розсіювання внаслідок розсіювання світла на теплових акустичних хвилях. Починаючи з 1926 р., Мандельштам і Ландсберг розгорнули в Московському державному університеті експериментальне вивчення молекулярного розсіювання світла в кристалах, переслідуючи мету знайти тонку структуру в спектрі розсіювання, викликану модуляцією розсіяного світла пружними тепловими хвилями, частоти яких лежать в акустичному діапазоні (продовження досліджень феномена, нині іменованого розсіюванням Мандельштама-Бріллюена). У результаті цих досліджень 21 лютого 1928 р. Ландсберг і Мандельштам знайшли ефект комбінаційного розсіювання світла (вони зареєстрували нові лінії спектра, що виникли в результаті модуляції розсіяного світла коливаннями атомів в оптичному діапазоні частот).

У тому ж 1928 р. індійські вчені Ч.В. Раман і К.С. Крішнан (в Університеті Калькутти, Індія) шукали комптонову компоненту розсіяного сонячного світла в рідинах і парах, припускаючи, що існує оптичний аналог ефекту Компотна. Зненацька для себе вони знайшли явище комбінаційного розсіювання світла. За словами Рамана: «…лінії спектра нового випромінювання вперше спостерігались 28 лютого 1928 року» [4]. Таким чином, комбінаційне розсіювання світла індійські фізики вперше спостерігали на тиждень пізніше, ніж Ландсберг і Мандельштам.

Французькі фізики Рокар, Кабанн і Дор ще в 1925 році у своїх дослідженнях шукали комбінаційне розсіювання світла в газах, але не знайшли його. Їм тоді не удалося зареєструвати світло малої інтенсивності. Хоча сам Раман не відразу зрозумів, що саме він відкрив, проте він встиг опублікувати свої результати до публікації робіт Мандельштама і Ландсберга. Тому в англомовній літературі розглянутий феномен має назву «ефект Рамана» (Raman effect) чи «раманівське розсіювання» (Raman scattering) [1]. У російськомовній науковій літературі, слідом за класиками молекулярного розсіювання світла Ландсбергом, Мандельштамом, Фабелінським і багатьма іншими вченими, дане явище традиційно називається «комбінаційним розсіюванням світла».

Суть ефекту розсіювання світла проявляється у тому, що при проходження світлового променю через скло, на межі двох середовищ відбуваються явища відбивання, поглинання, пропускання та розсіювання світла (рис. 1). Відповідно до закону збереження енергії, сума коефіцієнтів відбивання, поглинання, пропускання та розсіювання світла становить одиницю.

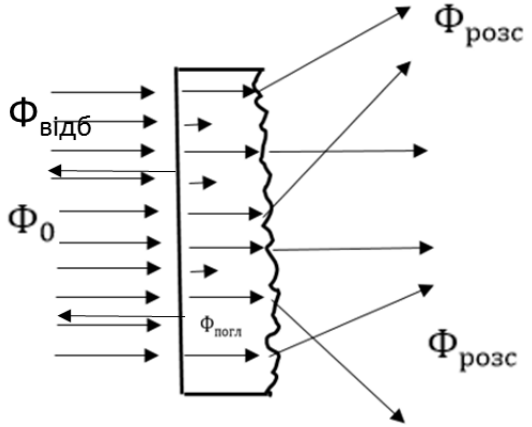



**Рис. 1. Схематичне зображення ефекту розсіювання світла**

Скло характеризується рядом оптичних властивостей. У першу чергу, це відбиття – повернення світла об'єктом без зміни довжини його хвилі. Важливим параметром, який описує відбивну здатність

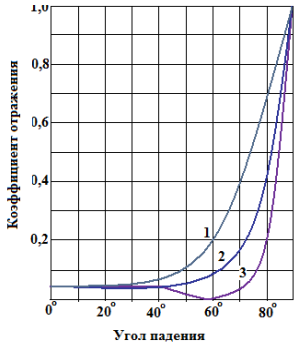
поверхні речовини є коефіцієнт відбиття ($k_{відб}$). Кількісно коефіцієнт відбиття дорівнює співвідношенню потоку випромінювання, відбитого тілом ($Ф_{відб}$), до потоку, який потрапив на тіло ($Ф_о$):

$$k_{відб.} = \frac{Ф_{відб.}}{Ф_0}$$

Для більшості сортів скла:

$$k_{відб.} = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = \left(\frac{1,5-1}{1,5+1}\right)^2 = 0,04$$

Коефіцієнт відбиття характеризується властивостями: 1) суттєво залежить від кута падіння; 2) буває напрямленим, напрямлено-розсіяним, дифузно-розсіяним (рис. 2).



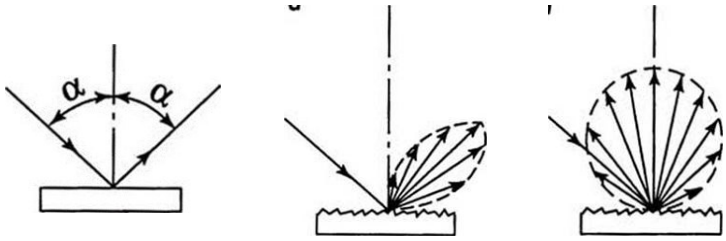




**Рис. 2. Ілюстрація властивостей скла «відбиття»**

Інший важливий параметр скла щодо розсіювання світла – це пропускання – проходження світла крізь середовище без зміни довжини його хвилі. Пропускання може бути направленим, направлено-розсіяним і рівномірно розсіяним (рівномірно дифузним). Коефіцієнт пропускання розраховується як відношення випромінювання, що пройшло через поверхню ($I_{пров}$), до випромінювання, що впало на поверхню ($I_0$).

$$k_{проп} = \frac{Ф_{проп}}{Ф_0} = \frac{I_{проп}}{I_0}$$

Ці властивості покладено в основу ефектів застосування розсіювання світла, які застосовуються в різних галузях економіки і сферах життя суспільства.

Як в Україні, так і за кордоном, останнім часом широко застосовуються різноманітні вироби та сенсори, розроблені на базі мікро- та наноструктурованих матеріалів. Розроблено цілу низку компонентів електронної техніки які є в сотні разів меншими за своїх попередників. До прикладу, в Японії виготовляються конденсатори на основі наноструктурованих матеріалів, які за розмірами в 1000 разів менші від аналогічних за ємністю конденсаторів, виготовлених за традиційними технологіями. В процесі виготовлення таких мініатюрних компонентів електронної техніки необхідно докладно контролювати температуру. Характеристики існуючих засобів вимірювань не цілком задовольняють цим вимогам. Тому, актуальним є пошук нових методів та засобів вимірювання температури мініатюрних об’єктів. Одним із перспективних напрямків для вирішення цієї проблеми є застосування методу комбінаційного розсіювання світла.

Як показує проведений аналіз, у промисловості і медицині найбільшого розвитку та широкого впровадження набувають безконтактні методи вимірювання температури. Вони мають, дуже важливу особливість, чим виділяються з поміж інших методів вимірювання температури – дають можливість вимірювати температуру важкодоступних та віддалених об’єктів. Однак, що стосується безконтактної термометрії, то прогрес фундаментальних наукових досліджень у цій галузі за останні кілька десятиріч є незначним. На сьогоднішні день існує ряд суттєвих невирішених проблем, які не дають можливості підвищити точність та метрологічну надійність безконтактних засобів вимірювання температури. Їх розв’язання, дозволило б підвищити ефективність застосування. На особливу увагу заслуговує метод комбінаційного розсіювання світла, оскільки при його застосуванні в процесі вимірювання температури не потрібно знати коефіцієнт випромінюючої здатності того чи іншого досліджуваного об’єкту.

Зазначені ефекти застосовуються при побудові рідких кристалів. Для цих ефектів характерними є достатньо високе значення контрасту і низькі керуючі напруги. Дослідження холестерико-нематичного переходу є важливим для конструювання ряду приладів. Головною перевагою цього ефекту порівняно з «твіст»-ефектом є відсутність поляризаційної оптики, яка призводить до втрат випромінювання. Низьке значення контрасту приладів на основі сумішей, безпосередньо пов’язане з процесами розсіювання світла, не дає змоги створити конкуренцію приладам на основі «твіст» і «супер-твіст» ефектів. Важливе завдання полягає у визначенні структури розсіювальних світлоцентрів, їх розмірів, залежності останніх від значення прикладеного поля, побудові фізичної моделі зразка індукованого холестерика при накладанні електричного

поля та дослідженні характеру зміни під час зростання поля аж до значень критичного, що відповідає переходу холестеричної структури в нематичну.

Рідкі кристали належать до категорії мутних середовищ, в яких розсіювання світла може мати як молекулярну природу, так і відбуватися на доменній структурі [2]. Крім цього можна спостерігати селективне розсіювання світла на холестеричній спіралі. Цей механізм зумовлений властивостями конфокальної текстури холестеричної фази, в якій вісь спіралі розташована хаотично. Кожна з хаотично розташованих областей є дифракційною ланкою фазового типу. Світло, яке падає на таку ланку, розсіюється за рахунок бреггівської дифракції, причому дифракція буде максимальною, якщо виконується умова λ=nP, де λ – довжина хвилі.

Нами проводилось дослідження маскуючої здатності різних видів скла (рис. 3).

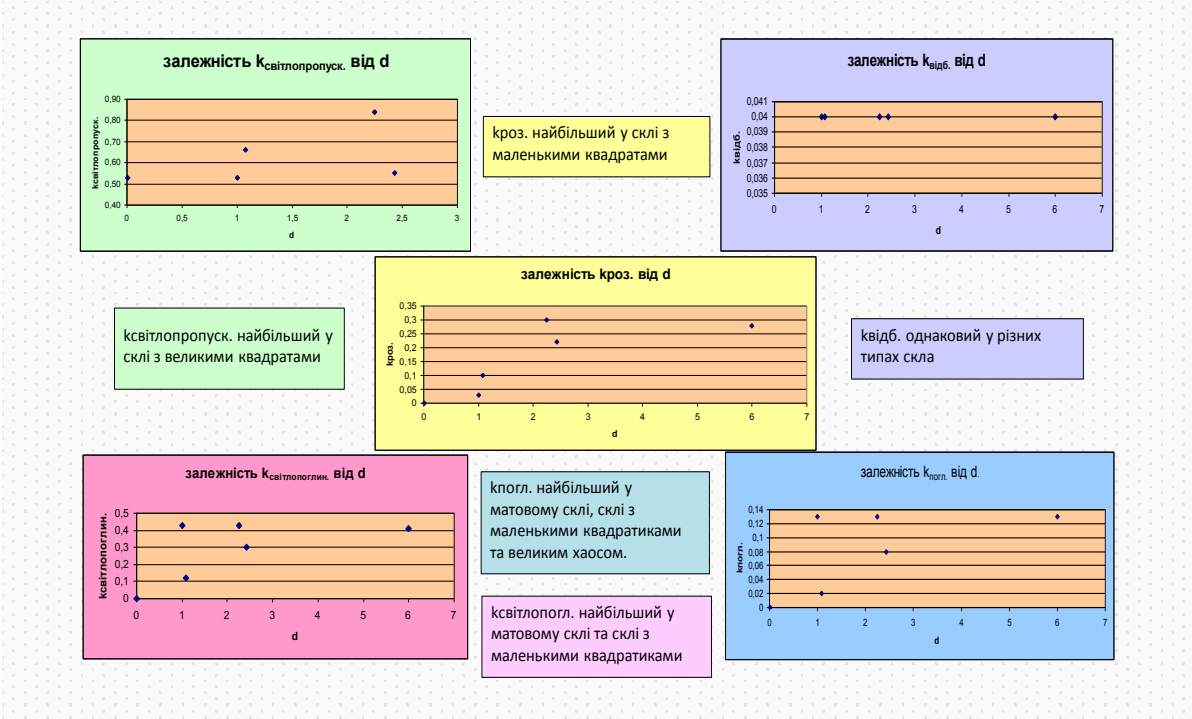



**Рис. 3. Результати дослідження маскуючої здатності видів скла**

Було встановлено залежність між маскуючою здатністю скла та коефіцієнтами відбивання, пропускання, поглинання і розсіювання світла, а також – залежності між розмірами неоднорідностей та розсіювальною здатністю скла. Зроблено висновок про те, що спостерігається найвищий ефект світлопропускання у склі із великими квадратами (рис. 4). Такі властивості скла мають враховуватись при вирішенні дизайнерських задач.

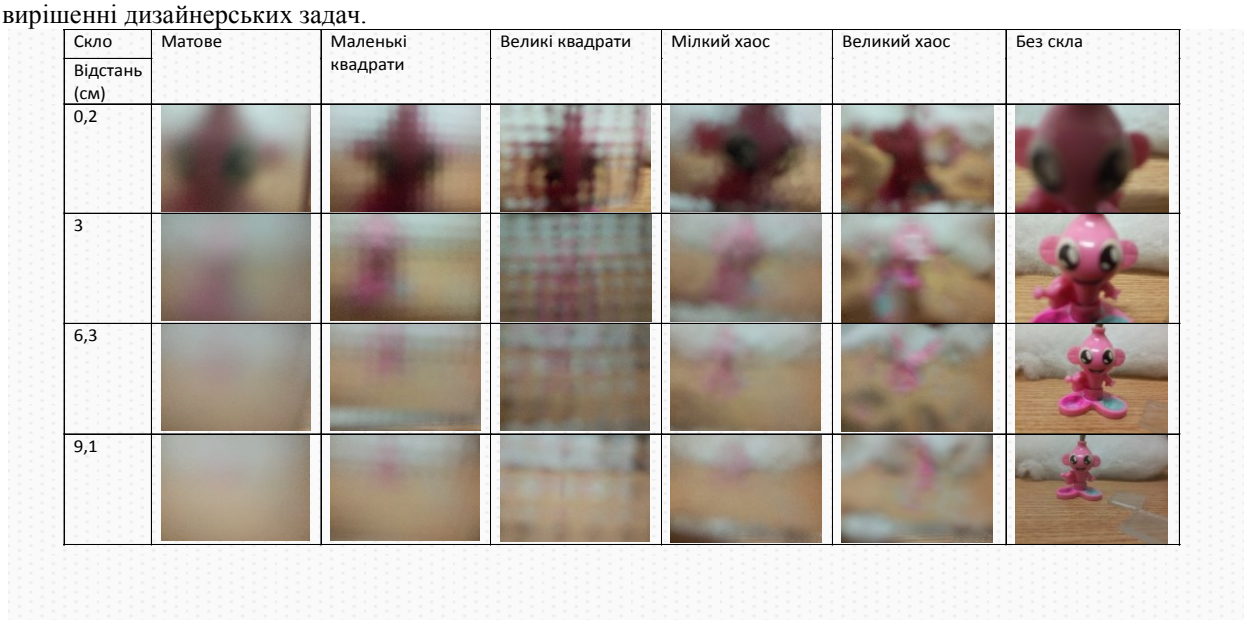



**Рис. 4. Маскуюча здатність різних видів скла**

Так, світлотехніка як технічна наука дає блискучий приклад того, що в її основі лежать духовні й моральні властивості людського розуму. Задачі світлотехніки не можуть бути вирішені без розуміння і врахування не тільки фізіології, але й психології – науки, що досліджує процеси, які протікають у свідомості людини. Саме ці основи світлотехніки виводять її за межі тільки фізичних основ техніки, як однієї з областей природознавства. Архітектура й світлотехніка розглядають подібні проблеми з різних точок зору.

В сучасних умовах, поряд із питаннями генерації світла, учені почали розробляти питання техніки освітлення. Процес зорового сприйняття став вивчатися з погляду техніки освітлення. Дослідження фізичних і фізіологічних явищ доповнювалися впливом світла на психіку людини. Фахівці-світлотехніки, спираючись на розроблені Гельмгольцем фізіологічні основи зорового процесу, включили в коло своїх інтересів вивчення природного освітлення. У зв'язку з цими проблемами світлотехніки зіштовхнулися з питаннями архітектури, відбувається інтеграція світлотехніки і досліджень у сфері архітектури.

Важливі аспекти застосування ефекту розсіювання світла з точки зору забезпечення енергоефективності. Науковці, зазвичай пов’язують енергоефективність, із цілим рядом підходів, які дозволяють жити і працювати в більш економних приміщеннях. Результат отримується не лише за рахунок зменшення споживання обсягів різних видів енергії і, таким чином, її здешевлення, але і більш раціонального її використання.

Згідно усереднених статистичних даних, з усієї споживаної в побуті енергії 60% використовується на опалення приміщень, 15% енергії витрачається на приготування їжі, 10% енергії споживає побутова техніка і ще 15% енергії витрачається на освітлення [5]. В умовах зростання тарифів на електроенергію питання її економії, впровадження енергозберігаючих практик у повсякденному житті набуває дедалі більшої актуальності.

Економія електроенергії для освітлення приміщень є досить суттєвою. Так, раціональне встановлення і використання енергозберігаючих ламп для освітлення вартістю 15-20 гривень дозволяє споживати в 5 разів менше електричної енергії, ніж з використанням ламп розжарювання. Термін експлуатації енергозберігаючих ламп в 8-12 разів довший [5]. До прикладу, на побутовому рівні, якщо лампа потужністю 75 Вт в передпокої працює дві години на добу, в туалеті – годину, у ванній – 3 години, на кухні – 5 годин, в кімнаті – 6 годин, за місяць тільки за «світло» набереться 65,2 квт. Якщо ж замінити лампи розжарювання енергозберігаючими (споживають 0,022 кВт *год), місячне споживання «на світло» можна скоротити до 19 кВт*год. Ще більш відчутною може бути економія па підприємствах.

Виявлення необхідного рівня освітленості для тих або інших робочих процесів і вивчення питань правильного розподілу світла й тіні призвели до дослідження доцільного розміщення і розмірів віконних прорізів, при якому забезпечується нормована освітленість приміщення. Дослідження правильного й доцільного штучного освітлення приміщень (уперше проведені в 1925 р.) привели до необхідності вивчення істотного питання – питання енергоекономічності штучного освітлення. Було отримано дані про вирішальний вплив умов освітлення на самопочуття та настрій людини. Розуміння того, що в робочих приміщеннях освітлення може розглядатися як свого роду знаряддя виробництва, привело до дослідження біологічних і технічних основ доцільності освітлення будинків, створення в них оптимального світло-кольорового середовища, «світло-кольорового» клімату.

Подальше вдосконалювання джерел світла і світлових приладів дозволило вдосконалювати техніку освітлення. «Архітектурне освітлення» стає «світловою архітектурою», якщо штучне світло, або точніше освітлення штучним світлом, створює зовсім своєрідні архітектурні ефекти, які виникають з появою світла. «Світлова архітектура», по суті, є закономірним розвитком тих ідей, якими керувалися у своїй творчості великі зодчі античності й середньовіччя, використовуючи природне освітлення. Мається на увазі зоровий образ архітектурного твору, який виникає при свідомо організованому штучному освітленні.

Взаємодія архітектури і досліджень світлотехніки призвели до формування категорії «архітектурної світлології». «Архітектурна світлологія» може розглядатися як частина архітектурної фізики. Ця область загальної світлології, що вивчає закономірності естетичного сприйняття форм і простору (будинків і міст) у конкретному світлокольоровому середовищі, що визначає образ, масштаб, пропорції, ритм, розмір, пластику, фактуру і кольори поверхонь, силует будинків і, нарешті, композиційну єдність будинків, інтер'єрів, міських ансамблів. У творчому методі архітектора ця наука займає одне з провідних місць, тому що визначає щільність і планування міської забудови, орієнтацію, поверховість і розміри світлопрорізів будинків за нормативними параметрами природного освітлення та інсоляції, які забезпечують комфортне світло-кольорово-теплове середовище в приміщеннях. Всі ці фактори безпосередньо пов'язані з економікою та енергоефективністю містобудування.

Сьогодні особливо важливими є наукові дослідження на тему безпеки здоров’я. Так, актуалізуються перевірки впливу нових джерел світла на самопочуття людини. Більше 90% інформації про оточуюче середовище людина отримує через зір і тому світло — дуже важливий фактор життя.

Вплив якості світла на здоров'я і очі людини добре вивчено при використанні класичних моделей сприйняття світла від різних джерел освітлення: сонце, лампи розжарювання, люмінесцентні лампи.

Дослідження впливу світла нових енергозберігаючих джерел на здоров'я людини показують, що освітлення із проблеми суто гігієнічної стало проблемою соціально-економічною. Українські та зарубіжні науковці комплексно вивчали вплив світлодіодного освітлення на дітей і підлітків та працівників різних галузей промисловості, зокрема, транспортної. Світло від світлодіодів сприймається людиною як біле, але в своєму спектрі воно має велику частку синього. Було вивчено вплив на сітківку ока та в цілому на здоров'я людини цього синього світла в загальному спектрі білого світлодіода. Встановлено, що переважний синій спектр світла може призводити до фотохімічного пошкодження сітківки ока. Скловидне тіло дитячого ока більш прозоре, ніж у дорослого і тому на сітківку дитини проникає більше синього світла.

Дослідження американських вчених показали, що щоденний додатковий вплив синього світла на очі підлітків може до тридцятирічного віку викликати дегенерацію сітківки на 10 років раніше, ніж звичайне освітлення, тобто вдвічі збільшує вірогідність стати сліпим. Додаткова і безконтрольна дія синього світла в спектрі світлодіодного освітлення також впливає на гормональну систему людини, що особливо небезпечно для здоров'я дітей і підлітків – зменшується виробництво в центральній частині мозку гормонів мелатоніну (гормон сну) та кортизолу (гормон стресу) з наступними негативними наслідками [6].

Вплив синього світла призводить до процесів деградації в скловидному тілі ока (з'являються «очні мушки»). Такі скарги частіше всього надходили після роботи людей на LCD-моніторах зі світлодіодною RGB-підсвіткою (технологія сумісного розміщення 3-х світловодів: червоного, зеленого і синього, випромінювання яких змішується за допомогою лінзи), що руйнує скловидне тіло. І от, нарешті, за повідомленнями 2017 року науковці фірми OSRAM (Німеччина) розробили світлодіодні лампи без синього світла в загальному спектрі світла.

Вивчається також і вплив на здоров'я людини доз червоного світла (630 нм) в спектрах білих світлодіодів та світлодіодних екранів (моніторів) на скловидне тіло ока. Також дослідження показали, що небезпечно застосовувати світлодіодні світильники (особливо холодно-білого світла) без розсіювачів, а при їх виборі потрібно передбачати дифузне розсіювання (матове, опалове) для зниження осліплюючої дії та подальшого негативного впливу. Вчені рекомендують обмежувати використання світильників холодно-білого світла в дитячих і лікувальних закладах, а також при виконанні робіт у вечірній та нічний час. Спектр світлодіодних джерел світла повинен бути в межах 380–670 нанометрів (нм) та забезпечувати індекс кольоропередачі (CRI) більше 95 (максимальний індекс 100 має сонячне освітлення). В умовах неякісного світлодіодного освітлення потік зорової інформації може суттєво спотворюватись, помилково трактуватися (неправильне сприйняття кольору, переплутування кольорових сигналів тощо).

Названі процеси є новими ризиками, які вимагають додаткового вивчення і наступного нормування для гігієнічної оцінки спектрів нових енергозберігаючих джерел світла.

Розглядаючи прикладні аспекти застосування ефекту розсіювання світла в медицині, важливо наголосити, що останнім часом широкого розповсюдження отримали методи неінвазивної лазерної та фотонної діагностики. У першу чергу великий інтерес представляють собою прості математичні моделі розповсюдження випромінювання у біологічних середовищах, особливістю яких являється те, що вони повинні описувати розповсюдження випромінювання в умовах сильного багатократного розсіювання, що домінує над поглинанням. Пошарове вимірювання лазерного випромінювання всередині тканини, що використовується в оптичній томографії та спектроскопії біологічних об'єктів потребувало розробки нових методів для вирішення проблем перетворення прямого та зворотного випромінювання [6].

До неінвазивних оптичних методів діагностування периферійного кровообігу відноситься фотоплетизмографічний метод. Саме цей метод дозволяє підвищити достовірність контролю і діагностики стану локального периферійного кровообігу при діагностиці ранніх форм атеросклерозу, тромбофлебіту, порушень мікроциркуляції та ін. Крім того, метод має допоміжне діагностичне і прогностичне значення при вивченні багатьох судинних і нервових захворювань, що є зараз найчастішою причиною смерті і інвалідності у молодому віці. Застосування методу Монте-Карло для аналізу розповсюдження оптичного випромінювання в біотканині є досить перспективним. Метод оснований на числовій імітації фотонного перетворення у розсіювальному середовищі. Проста імітація зображення, що використовується у методі Монте-Карло, має ряд переваги і отримує застосування для отримання експериментальних результатів та безпосередньо – лікування хвороб.

**Висновки.** Таким чином, дослідження ефекту поглинання та розсіювання світла є перспективним напрямом розвитку не лише науки фізики, але має прикладний характер, результати якого застосовуються в різних сферах життя і галузях народногосподарського комплексу.

**Література**

1. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/
2. Беляков В.А. Оптика холестерических жидких кристаллов [Електронний ресурс] / Беляков В.А., Сонин А.С. – М., 1983. – Режим доступу : http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/11441/1/13.pdf
3. Фотоплетизмографічні технології контролю серцево-судинної системи : [монографія / С.В.Павлов, В.П. Кожем'яко, В.Г. Петрук, П.Ф. Колісник]. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 254 с.
4. Кузьмич В.В. Основные принципы и особенности транскутанной "отражательной" оксиметрии // В.В. Кузьмич // Мед. техника. – 1993. – № 3. – С. 36–42.
5. Енергозбереження в побуті [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://bashtanka.org.ua/energozberezhennya-v-pobuti.html
6. Якість світла та його вплив на здоров'я [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://oppb.com.ua/articles/svitlodiody-chastyna-2-yakist-svitla-ta-yogo-vplyv-na-zdorovya

**References**

1. Vikipediia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://uk.wikipedia.org/wiki/
2. Beljakov V.A. Optika holestericheskih zhidkih kristallov [Elektronnij resurs] / Beljakov V.A., Sonin A.S. – M., 1983. – Rezhim dostupu : http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/11441/1/13.pdf
3. Fotopletyzmohrafichni tekhnolohii kontroliu sertsevo-sudynnoi systemy : [monohrafiia / S.V.Pavlov, V.P. Kozhemiako, V.H. Petruk, P.F. Kolisnyk]. – Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia, 2007. – 254 s.
4. Kuz'mich V.V. Osnovnye principy i osobennosti transkutannoj "otrazhatel'noj" oksimetrii // V.V. Kuz'mich // Med. tehnika. – 1993. – № 3. – S. 36–42.
5. Enerhozberezhennia v pobuti [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://bashtanka.org.ua/energozberezhennya-v-pobuti.html
6. Yakist svitla ta yoho vplyv na zdorovia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://oppb.com.ua/articles/svitlodiody-chastyna-2-yakist-svitla-ta-yogo-vplyv-na-zdorovya

Рецензія/Peerreview : 03.10.2018 Надрукована/Printed : 31.10.2018
Рецензент: д. е. н., проф. Войнаренко М. П.