



DOI: 10.31643/2019/6445.26
UDC 669.85/.86: 553.3/.4(574)
IRSTI 53.37.35



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

Смарт терезелерге жүргізілген тәжірибелік және теориялық зерттеу жұмыстарына шолу

Аймаганбетов К. П.

Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан

Received: 31 May 2019 / Peer reviewed: 25 July 2019 / Accepted: 15 August 2019

Түйіндемe. Смарт терезелер энергияны үнемдеу мақсатында және ғимараттар ішіндегі температуралық жылулық үшін маңызды рөл атқарады. Смарт-терезелер жылу шығынын және кондиционерлеу мен жарықтандыру шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Жалюзи мен перделерге балама қызмет ретінде пайдаланылады. Сұйық кристалды немесе электрохимиялық смарт-терезелер ультракүлгін сәулесін өткізбейді. Өлшенген бөлшекті смарт-терезесі ультракүлгін сәулесін бұғаттау үшін арнайы құрылғыларды пайдалануды талап етеді. Бұл мақалада смарт терезелерге жүргізілген теориялық және тәжірибелік зерттеулерге шолу жасалынған. Кеңістікте және зертханалық сынақтарда әртүрлі өлшеу әдістерінің көмегімен жүргізілген тәжірибелік зерттеу жұмыстарына шолу жүргізілді. Смарт терезелердің шығыс сипаттамалары мен оңтайлы құрылымын талдау мақсатында, теориялық ғылыми зерттеу әдебиеттеріне және теориялық ғылыми зерттеу модельдерге шолу жүргізілді. Орындалған ғылыми зерттеу жұмысы материалтану және құрылыс материалдары ғылым саласында пайдалы ақпарат көздері ретінде қоладнуға зор ықпалын тигізеді.

Түйін сөздер: смарт терезе, энергияны үнемдеу, тәжірибелік өлшеулер, визуалды жайлылық.

Аймаганбетов Казыбек Пиржанулы – Техникалық ғылымдар магистрі, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан. ORCID ID: 0000-0001-6367-9135, E-mail: kazybek012@gmail.com

Кіріспе

Энергия тиімділігі үнемдеу және қоршаған ортаны ластаушы заттарды азайту, әлемдік ғылыми зерттеу орталықтарының негізгі мақсаты болып табылады. Қазіргі таңда осы бағытта көптеген ғылыми зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Күн сәулесін дұрыс пайдалану - ғимараттарда энергия көзін тұтынуды азайтуға және визуалды жайлылықты арттыруға мүмкіндік береді [1-3]. Аталған талаптарға сай, жаңа технологиялардың бірі болып саналатын смарт терезелер, бөлме ішіндегі жылулық және визуалдылық жағдайларын бақылауда маңызды рөл атқарады [4]. Бұл құрылғының қарапайым шынылардан айырмашылығы, шағын электр өрісін қолдана отырып, оптикалық қасиеттерін өзгертуге мүмкіндік береді. Әдетте, смарт терезелері бес түрлі қабатпен іске асырылады және электр батареясы ретінде де қарастырылуы

мүмкін [5]. Смарт немесе интеллектуалды терезелер – бір қабатты электролиттен (иондық тасымалдағыш қасиеті бар кристалдан), екі металл оксидті қабаттан (катодты және анодты) тұрады және екі мөлдір электр өткізгіштерімен (ITO) қапталады.

Электрохромды (ЭХ) оксидтердің негізгі екі түрі бар: катодты және анодты оксидтер. Қазіргі уақытта ЭХ терезелерінің бірі болып саналатын вольфрам оксиді (WO_3) катодты оксид ретінде смарт терезелер жасау үшін пайдаланады. Көптеген жүргізілген ғылыми зерттеулер жұмыстары, ЭХ-ның жаңа және неғұрлым тиімді материалдарын әзірлеу мақсатында жүргізілсе, ал кейбіреулері бөлмедегі визуалды және жылу жайлылығына, сонымен қатар, олардың ғимараттардағы тұтынатын энергия көзін үнемдеуі және қалай әсер ететінін талдай отырып, смарт терезелерінің негізгі сипаттамаларын анықтады.

Смарт терезелердің беттік ауданы, оның шынылау қасиеттеріне қатты әсер ететіндігіне байланысты болғандықтан, олардың ауқымды шынылауының сипаттамаларын бағалау қажет. Бұл мақалада, сатылымдағы өнімдердің және лабораториялық үлгілердің оптикалық, жылулық және электр тұрғысынан терезелерінің қасиеттерін сипаттайтын негізгі зерттеулер мен талдауларға шолу жүргізілді.

Тәжірибелік ғылыми зерттеулерге шолу

Электрлік, оптикалық және жылулық сипаттамалары тұрғысынан смарт терезелердің сапасын бағалау үшін, кеңістікте және арнайы зертханалық орындарда жүргізілген тәжірибелік ғылыми зерттеу жұмыстарына, шолу жасалынды.

[6] жұмысында, смарт терезе прототиптерінің өнімділігін бағалау үшін кеңселік сынақ стендін пайдалана отырып, тәжірибелік зерттеулер жүргізді. Сынақ стенді жарықтығы реттелетін люминесцентті жарық беру жүйесімен жабдықталған және үш бүйірден тұрды. Стендтің терезесінің ауданы 0,36 м² құрады. Зерттеу стендісінің қалған терезелері (эталондық ретінде пайдаланылған) – көрінетін Күн сәулесінің өткізгіштік мәні, 0,50 (мөлдір) және 0,15 (боялған) тең. Зерттеу нәтижелері келесіні көрсетеді:

1. Жарық деңгейі 89-99% күндізгі жарықпен қамтамасыз етілген;
2. Смарт терезесінің энергия үнемдегіштік қабілетін статикалық терезелермен салыстырғанда 59 % - ға жетуге мүмкін береді.

[7] жұмысының авторлары, смарт шынысын вольфрам оксиді қабаты (WO₃) негізіндегі бекітетін тәжірибелік үлгілеріне (өлшемі 0,40 м * 0,40 м), және вакуумдалған шынылауға зертханалық сынақтар жүргізілді. Зерттеу нәтижелері 0,63 (мөлдір) - тен 0,02-ге дейін (боялған), сондай-ақ ұзақ уақытқа (5000 жұмыс циклынан астам) өзгеріп отыратын процесстің көрінетін Күн сәулесін өткізу мәндерін атап өтті.

[8] - де, смарт шыны құрылысын бөлмедегі климатты салқындату арқылы: жарықтандыруды, смарт шынылардың орналасу бағдарына және ауысу стратегиясына байланысты зерттеулер мен талдаулар жүргізді. Авторлар, ауданы 0,12 м * 0,12 м болатын вольфрам оксиді (WO₃) негізінде смарт шынысының прототипіне тестілеу жүргізді және олардың айтуынша, смарт шынылар Күн радиациясынан қорғау және жылуды басқару үшін пайдалы болуы мүмкін, бірақ дәстүрлі көлеңкелеу жүйелерін қолдануды жоққа шығармайды. Ауысу уақытының ұзақтығының әсерінен күндізгі уақыт флуктуациясын бақылау мүмкін еместігін және көрінетін Күн сәулесінің

өткізгіштік мәндері азайған кезде түс беру индексінің мәні азаятынын анықтады.

[9] - жұмысында, смарт-шынының әр түрі үш түрін салыстыру бойынша негізгі қасиеттерін, артықшылықтары мен кемшіліктерін, сондай-ақ материалдың энергия тиімділігі мен оны тұрмыста пайдалану және жарықтандыруды жақсарту бойынша зерттеу жұмыстары жүргізілді. Смарт-шынының әртүрлі технологияларының келтірілген сипаттамасы негізінде оның артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды және олармен байланысты болған қиындықтары келешекте шешілуі тиіс. Нақты мысалдарда мөлдірлігі басқарылатын смарт шыныны қолдану салалары қарастырылған. Авторлар, зерттеу нәтижесінде, смарт-шыны өндірісінің техникасы мен технологиясының дамуымен қатар, өзіндік құнының азайту кезіндегі оптикалық қасиеттері жақсаратынын және осы материалдың қол жетімділігінің артуына алып келетіндігін жазады. Сонымен қатар, өлшенген бөлшектердегі смарт шынылар – автокөліктердің шынысына орнату үшін аса қолайлы, ал электрохромды қабаты бар смарт шынылар – тұрғын үй және кеңсе бөлмелері үшін аса қолайлы екенін айтады, өйткені ол, мөлдірлікті ұстап тұру үшін үздіксіз кернеу беруді қажет етпейді.

[10] - зерттеу жұмысында смарт терезелері мен жұмысшылар арасындағы өзара әсерді зерттеді. Авторлар, батысқа бағытталған конференц-залда автоматты басқарылатын смарт терезесі мен жаңа тиімді қараңғыланған жарықтандыру жүйесін назарға алды. Тәжірибелік зерттеу кезінде, ғимараттың сыртқы және ішкі жарығының деңгейін, жарықтандыруға жұмсалатын электр энергиясын, жұмысшылардың жұмыс уақытын, смарт терезелерінің екі жағындағы беттік температурасын, терезелердің боялған және мөлдір күйде болатын уақыты, сондай-ақ жолаушылардың смарт терезесін қолмен басқару жиілігі зерттелінді. Қарастырылып отырған бөлменің жыл сайынғы жылытуы, желдетуі, ауаны баптау және жарықтандыру үшін пайдаланылатын энергияны зерттеу үшін Energy Plus бағдарламалық кешені қолданылды. Зерттеудің негізгі нәтижелері:

1. Жұмысшылардың 4% смарт терезесін қолмен басқарды.
2. Конференц - залдың жыл сайынғы тұтыну энергиясы 39% - дан 48% - ға дейін үнемделінді.
3. Электр энергиясының ең жоғары сұранысын 22% - дан 35% - ға дейін азайтуға болатынын анықтады.

[11] - ғылыми зерттеу жұмысында, электрохромизмнің теориялық негіздері,

электрохромды құрылғылардың принципті сұлбасы және оларды жасау үшін пайдаланылуы мүмкін материалдар қарастырылған. WO_3 , V_2O_5 , TiO_2 , Cr_3O_8 , NiO , MO_3 сияқты тотықты материалдарға ең көп көңіл бөлінген. Осы материалдардың сипаттамалары және оларды алуудың ықтимал әдістері көрсетілген. Вакуумды пайдаланбай, жабынды жағуға мүмкіндік беретін ерітінділік әдісті қолдана отырып, никель оксидінің жұқа пленкаларын алу бойынша тәжірибелік деректер келтірілген. Алынған және зерттелген электрохромды материал кернеуді қолдану кезінде жарық өткізуін өзгертеді және ұзақ уақыт қараңғылау және түссіздендіру процестерін циклдей алады. Экстракциялық-пиролитикалық әдіспен электрохромды құрылғы дайындалған, онда никель оксидінің пленкасы $NiO(OH)$ қалпына келтірілген күйден $Ni(OH)_2$ тотықтандырылған күйге – қоңыр түстен мөлдір түске ауысып өтеді. NiO біркелкі электрохромды пленкасын алу үшін 2% концентрациясы бар сығынды ерітіндісін пайдаланыңыз. Термогравиметриялық деректерге сәйкес оксидті пленканың пайда болуы 370-450 $^{\circ}C$ кезінде орын алады.

[12] жұмысында, ИТО ($In_2O_3:Sn$) электрлі өлшенген катодты және анодтық мономерді қолдану арқылы ауданы 0,305 м * 0,305 м смарт органикалық терезесі ұсынылды және зерттелінді. Авторлар, жарық контрастының мәнін анықтау мақсатында, тұрақтылықты, оптикалық өткізгіш қасиетін және ауысу уақытын бағалауға бағытталған зертханалық тестілеу көмегімен электрохимиялық және оптикалық қасиеттерді анықтады. Алынған нәтижелерге сүйенсек, жарық контрастының жоғары мәні (580 нм бағалау кезінде 0,62 және 628 нм бағалау кезінде 0,57), зарядтың циклдік өзгеру тұрақтылығы, ауысу уақыты бояу үшін 12 секунд және мөлдір процесі үшін 5 секундты қамтыды.

[13] -де, смарт шыныларын ғимараттардың терезелері ретінде және үлкен масштабты практикада пайдалануға бола алатынын және қолданысқа кепілдік беретін жоғарғы қажетті мәндерін, сонымен қатар, тиімділік көрсеткіштерін анықтады. Зерттеу нәтижелері келесіні көрсетеді:

1. Ауысу тогының кернеуі (≤ 5 В).
2. Ауысу уақыты (≤ 10 сек -5 мин).
3. Оптикалық жады (2-24 сағ).

4. Күн өткізгіштігінің көрінетін коэффициенттері (ашық климат үшін 60-70%, зерттеулер жүргізілген климат үшін (және) энергия үшін 6-7% және визуалдық жайлылық үшін $< 3\%$).

5. Күн факторы (≥ 0.6 ашық климат үшін және ≤ 0.2 бұлдыр климат үшін).

6. Көрінетін Күн сәулесінің шағылысу коэффициенттері (≤ 0.1 ашық климат үшін және ≥ 0.7 бұлдыр климат үшін).

7. Жылу өткізу (≤ 1.2 В/м²К).

8. Түс беру (≥ 80).

9. Жұмыс температурасы (-30 дан 90 $^{\circ}C$ дейін).

10. Қызмет мерзімі (20-30 жыл, бұл 25 000-50 000 жұмыс циклына сәйкес келеді).

Теориялық ғылыми зерттеулерге шолу

Смарт терезелердің жұмысын және пайдалы қасиетін бағалау үшін сандық және теориялық зерттеу жұмыстарына шолу жүргізілді.

[14] - зерттеу жұмысында, екі түрлі интеллектуалды терезелерін оңтайлы басқару стратегиясын анықтау үшін Integrated Energy Use Simulation (IENUS) кеңейтілген модельдеу бағдарламалық кешені пайдаланылды. Жалпы сыртқы күн сәулесіне байланысты оптикалық және жылу сипаттамаларының мәнін өзгертетін смарт терезесінің құрылымы үлгіленді. Ғимараттың жылыту, салқындату және жарықтандыру үшін қажетті тұтынатын энергия тұрғысынан, мыналарды ескере отырып зерттеу жүргізілді: а) екі басқару стратегиясы (қосу/өшіру және желілік басқару), б) смарт терезенің мөлдірлігін зерттеу үшін қолданылатын Күн сәулесінің әр түрлі мәндері, с) Италияның 3 қаласы, д) терезенің негізгі төрт бағыты және е) ішкі жағдайларды басқаруға екі түрлі тәсіл қажет (энергетикалық тәсілі және көзбен шолу тәсілі).

Модельдеудің негізгі нәтижелері:

1. Энергетикалық тәсіл алғашқы энергияны азғана арттырады.

2. Кейбір жағдайларда, энергиялық тәсіл үшін статикалық терезелер ЭХ қарағанда ең жақсы көрсеткіштерді көрсетеді.

3. Көрінетін Күн сәулесін өткізу мәні ЭХ жағдайын басқару үшін қолданылатын тағайындаманың оңтайлы мәніне қатты әсер етеді.

4. Ені тағайындаманың мәніне әсер етеді.

5. Желілік басқару стратегиясы ең жақсы визуалды жайлылыққа кепілдік береді.

[15] - терезенің жаңа түрінің потенциалын түсіну үшін, қарапайым ЭХ тереземен салыстыра отырып, инфрақызыл диапазонына жақын электрохромды пленкасына теориялық зерттеулер жүргізілді. Инфрақызыл диапазонына жақын электрохромды пленкасының қарапайым ЭХ терезеден айырмашылығы, көрінетін Күн сәулесін өзгеріссіз, инфрақызыл диапазонындағы

жарықтың өту қасиетін 0,8 ден 0 ге дейін өзгертеді.

[16] - жұмыста, TRNSYS динамикалық моделдеуді бағдарламасымен әзірленген смарт терезесінің теориялық моделін тексеру үшін, сынақ ұяшығының көмегімен алынған тәжірибелік деректерді пайдаланған. Эксперименттік сынақтар барысында сынақ ұяшықтарының бетінің ішкі және сыртқы температуралары, қоршаған ортаның температурасы, жел жылдамдығы, ішкі ауаның температурасы, диффузиялық және көлденең сәулелену, оңтүстік жазықтықтағы жаһандық сәулелену, ішкі жарықтандыру, сыртқы жаһандық және диффузиялық көлденең жарықтандыру, сондай-ақ шынылаудың ішкі және сыртқы бетінің температурасы алынды. Терезелердің теориялық моделін үлгілеу барысында болжанатын ішкі ауа температурасының өлшенген мәндерін салыстыру арқылы тексерілді. Зерттеудің негізгі нәтижелері сыртқы жағдайларға байланысты ЭХ терезесінің сипаттамаларын басқару ең жақсы стратегия болып табылатынын көрсетті.

[17] авторлары, аз энергия жұмсалынатын, кеңсе ішіндегі жарықтықты белгілі бір мәнде ұстап тұратын, ЭХ терезесінің оңтайлы басқару стратегиясын зерттеді. Жасанды жарықтандыру үшін де, ЭХ терезелері үшін де басқарудың екі стратегиясы қарастырылды: i) қосу / өшіру басқару стратегиясы және ii) желілік басқару стратегиясы. Модельдеу келесілерді есепке ала отырып жүргізілді: 1) ЭХ терезелерінің әртүрлі типтері, 2) көрінетін Күн сәулесін өткізу қасиеті бар, көлеңкеленетін моторланған құрылғылары бар типтік терезелер, 3) әр түрлі 3 қала және 4) терезелердің екі бағдары (оңтүстік және солтүстік).

[18] өз жұмысында, вольфрам оксиді (WO_3) негізінде ЭХ прототипінің (0,12 м x 0,12 м) эксперименталды сипаттамасынан бастады. Сынақ ұяшығының көмегімен ЭХ прототипінің жазғы маусымдағы нақты ауа райында өтетін жарықтың әсерімен, күн факторын және ішкі температураны бақылау қабілеті талданды. Сынақтар оңтүстік және батыс бағыт үшін ЭХ прототипін басқарудың екі стратегиясын (статикалық және динамикалық) ескере отырып жүргізілді. Эксперименттік деректер негізінде сынақ ұяшығының өтпелі жылу тәртібін сипаттай алатын теориялық модель әзірленді және сынақтан өткізілді. Ішкі ауа температурасының эксперименталды мәндерін модельденген үлгімен салыстырған, 3% құрады. Зерттеу нәтижелері, ЭХ терезесі динамикалық стратегияға сәйкес бақыланғанда, жылу жүктемесін шамамен 31% - ға төмендетуге болды

және төмен сәулелену коэффициенті бар екі әйнектелген терезенің көмегімен алуға болатынын көрсетті.

[19] авторлары, ыстық және құрғақ климаттағы күн сәулесінен қызып кетуді бақыланатын сыртқы көлеңкеленудің қарапайым жүйелерімен салыстыру үшін ЭХ терезелерінің тиімділігін зерттеуге арналған Design Builder модельдеу бағдарламалық кешенімен офистік ғимаратты модельдеді. Зерттеу нәтижелер келесіні көрсетті: (1) ЭХ терезелері талданғандар арасында ең жақсы шешім болып табылады және (2) ЭХ терезелері көлеңкеленбеген шыны пакеттермен салыстырғанда күн жылуының өсуін ай сайын 53% - дан 59% - ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді.

[20] жұмыстың авторлары, ЭХ терезесінің көмегімен жарықтың үнемделуін бағалау үшін имитациялық зерттеу жүргізді. Зерттеу объектісі ЭХ екі терезесі бар оңтүстік бағдармен жеке кеңсе болды. Модельдеу үшін арналған Radiance бағдарламалық кешенінің көмегімен жарықтық пен жарықтандырудың ішкі мәндері жыл бойы және бір сағат уақыт қадамымен алынды. Модельдеу нәтижелері негізгі жұмыс жазықтығын жарықтандырумен қамтамасыз ету мақсатында ЭХ терезесінің конфигурациясын және жасанды жарықтандыру салымын анықтау үшін оңтайландыру алгоритмі қолданылды. Зерттеу нәтижелері ЭХ терезелері энергия үнемдеу мақсатында оңтүстік бетте пайдалануға тиімді екенін көрсетті және мөлдір әйнекпен салыстырғанда ЭХ терезесі энергия көзін 48% үнемдеуге мүмкіндік берді.

Қорытынды

Смарт терезелер қарапайым статикалық мөлдір тереземен салыстырғанда бірнеше артықшылықтары бар. Эксперименталды және теориялық зерттеулер нәтижесі бойынша смарт терезелерінің тиімді түрі ретінде, энергияны үнемдейтін, визуалды жайлылық пен Күн радиациясын бақылауға арналған автоматты басқарылатын құралдарын пайдалануды ұсынды. Дегенмен, бір жағынан смарт құрылғыларын пайдалану энергия көзін 39% - дан 59% - ға дейінгі диапазонда үнемдеуге мүмкіндік берсе, онда екінші жағынан смарт терезелердің орналасу бағдары, басқару стратегиясы және климаттық жағдайы нақты қолданыста пайдалану үшін қатты әсер етеді. Зерттеу жұмыстарына шолу жасау барысында смарт терезелердің солтүстікте орналасу бағдарына қатысты аз ғана артықшылығы байқалды және қарапайым стандартты мөлдір тереземен салыстырғанда

энергияны үнемдеуі және визуалдық жайлылығы жағынанан артта қалатынын көрсетті. Сонымен қатар, смарт терезелерінің ұзақ ауысу уақыты (7-20 минут) нақты ауа райы жағдайларын бақылауға мүмкіндік бермейді.

Ауданы әртүрлі смарт терезелердің физикалық сипаттамаларын түсінуге және эксплуатациялық шарттарының нақты пайдасын анықтау үшін одан әрі тәжірибелік және теориялық зерттеулер жүргізуді қажет етеді.

Осы мақалаға сілтеме: Аймаганбетов К. П. Смарт терезелерге жүргізілген тәжірибелік және теориялық зерттеу жұмыстарына шолу: *Комплексное Испол'зование Mineral'ного Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)* – 2019. – №3 (310). – Б. 34-40. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.26>

Review of experimental and theoretical research works of smart windows

Aimaganbetov K. P.

Abstract. Smart windows play an important role in a energy saving and for thermal heat inside buildings. Smart windows allow you to reduce heat consumption and air conditioning and lighting costs. It is used as an alternative to blinds and curtains. Liquid crystal or electrochemical smart windows do not transmit ultraviolet light. The measured-value smartphone requires the use of special devices to block ultraviolet light. This article provides an overview of the theoretical and experimental research in the field of smart windows. A review of experimental studies performed using various methods of measurement in space and in laboratory studies. A review of theoretical research literature and theoretical research models was conducted to analyze the output characteristics and the optimal structure of smart windows. Conducted research have a great influence in the field of materials science and construction materials as a useful source of information.

Key words: smart windows, energy saving, experimental measurements, visual comfort.

Обзор экспериментальных и теоретических исследовательских работ смарт окон

Аймаганбетов К. П.

Аннотация. Смарт окна играют важную роль в энергосбережении и для температурного тепла внутри зданий. В этой статье сделан обзор на теоретические и экспериментальные исследования в области смарт окон. Смарт окна позволяют снизить потребление тепла, а также расходы на кондиционирование и освещение. Используется как альтернатива жалюзи и шторам. Жидкокристаллические или электрохимические смарт окна не пропускают ультрафиолетовый свет. Смарт окна с измеренными значениями требует использования специальных устройств для блокировки ультрафиолетового света. Сделан обзор экспериментальных исследований, выполненных с помощью различных методов измерения в космосе и в лабораторных исследованиях. Обзор теоретической исследовательской литературы и теоретических исследовательских моделей был проведен для анализа выходных характеристик и оптимальной структуры смарт окон. Проведенные научные исследования оказывают большое влияние в области науки материаловедение и конструкционные материалы как полезный источник информации.

Ключевые слова: смарт окна, энергосбережение, экспериментальные измерения, визуальный комфорт.

ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Rosato A., Scorpio M., Sibilio S. Use of a scale model under artificial sky for daylighting design. // *Heritage Architecture Landesign focus on Conservation Regeneration Innovation Le vic dei Mercanti XI Forum Internazionale di Studi, Aversa/Capri, Italy*, - 2013. - P. 1245-1252
- [2] Ciampi G., Rosato A., Scorpio M., Sibilio S. Retrofitting solutions for energy saving in a historical building lighting system // *Energy Procedia*. 2015. – V. 78. – P. 2669–2674, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.343>
- [3] Sibilio S., Rosato A., Scorpio M., Daylighting design in a low energy building. // *LUX EUROPA 2013 - 12th European Lighting Conference Lux Europa. Krakow, Poland*. 2013. – P. 251-256
- [4] Bange K., Gambke T. // *Advanced Materials*. 1990. - V. 2. - P. 10-16.
- [5] Granqvist G., Electrochromics for smart windows: Oxide-based thin films and devices // *Thin Solid Films*. 2014. - V. 564. - P. 1–38, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2014.02.002>

- [6] Lee E. S., Dibartolomeo D. L., Selkowitz S. E. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window: Field study results // *Energy Build.* 2006. - V. 38. P. 30–44, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.009>
- [7] Papaefthimiou S., Leftheriotis G., Yianoulis P., Hyde T. J., Eames P. C., Fang Y., Pennarun P. Y., Jannasch P. Development of electrochromic evacuated advanced glazing // *Energy and Buildings.* 2006. - V. 38. - P. 1455 – 1467, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.029>
- [8] Piccolo A., Pennisi A., Simone F. Daylighting performance of an electrochromic window in a small scale test-cell // *Solar Energy.* 2009. - V. 83. - P. 832–844, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.11.013>
- [9] Донцова А.Е., Калинина А.В. Стекло с управляемой прозрачностью (smart window) в гражданском строительстве // *Alfabuild.* 2018. №4 (6). - С. 74-82
- [10] Lee E.S., Claybaugh E. S., LaFrance M. End user impacts of automated electrochromic windows in a pilot retrofit application // *Energy and Buildings.* 2012. -V. 47. - P. 267–284, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.003>
- [11] Белоусов А. Л., Патрушева Т. Н.. Электрохромные оксидные материалы // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 2.* 2014 (7). - С. 154-166
- [12] Kim S., Kong X., Taya M. Electrochromic windows based on anodic electrochromic poly(mesitylenes) containing 9H-carbazole-9-ethanol moieties. // *Solar Energy Materials and Solar Cells.* 2013. - V. 117. - P. 183–188, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.04.030>
- [13] Piccolo A., Simone F. Performance requirements for electrochromic smart window. // *Journal of Building Engineering.* 2015. - V. 3. - P. 94–103, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.07.002>
- [14] Gugliermetti F., Bisegna F. Visual and energy management of electrochromic windows in Mediterranean climate. // *Building and Environment.* 2003. - V. 38. - I. 3. - P. 479-492, [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00124-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00124-5)
- [15] DeForest N., Shehabi A., Garcia G., Greenblatt J., Masanet E., Lee E.S., Selkowitz S., Milliron D.J. Regional performance targets for transparent near-infrared switching electrochromic window glazings. // *Building and Environment.* 2013. - V. 61. - P. 160-168.
- [16] Assimakopoulos M. N., Tsangrassoulis A., Guarracino G., Santamouris M. Integrated energetic approach for a controllable electrochromic device. // *Energy and Buildings.* 2004. - V. 36. - I. 5. - P. 415-422, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.040>
- [17] Gugliermetti F., Bisegna F. A model study of light control systems operating with Electrochromic Windows. // *Lighting Research & Technology.* 2005. - V. 37. - N. 1. - P. 320, <https://doi.org/10.1191/1365782805li123oa>
- [18] Piccolo A. Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell. // *Energy and Buildings.* 2010. - V. 42. - I. 9. - P. 1409-1417, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.010>
- [19] Aldawoud A. Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing system in hot, dry climate. // *Energy and Buildings.* 2013. - V. 59. - P. 104-110, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.031>
- [20] Fernandes L. L., Lee E. S., Ward G. Lighting energy savings potential of split-pane electrochromic windows controlled for daylighting with visual comfort. // *Energy and Buildings.* 2013. - V. 61. - P. 8-20, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.057>

REFERENCES

- [1] Rosato A., Scorpio M., Sibilio S. Use of a scale model under artificial sky for daylighting design (Heritage Architecture Landesign focus on Conservation Regeneration Innovation Le vie dei Mercanti XI Forum Internazionale di Studi) Aversa/Capri, Italy. **2013.** 1245-1252 (in Eng.).
- [2] Ciampi G., Rosato A., Scorpio M., Sibilio S. Retrofitting solutions for energy saving in a historical building lighting system. *Energy Procedia.* **2015.** 78, 2669–2674, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.343>
- [3] Sibilio S., Rosato A., Scorpio M., Daylighting design in a low energy building. // *LUX EUROPA 2013 - 12th European Lighting Conference Lux Europa.* Krakow, Poland. **2013.** 251-256 (in Eng.).
- [4] Bange K., Gambke T. // *Advanced Materials.* **1990.** 2, 10-16.
- [5] Granqvist G., Electrochromics for smart windows: Oxide-based thin films and devices // *Thin Solid Films.* **2014.** 564, 1–38, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2014.02.002>
- [6] Lee E. S., Dibartolomeo D. L., Selkowitz S. E. Daylighting control performance of a thin-film ceramic electrochromic window: Field study results // *Energy Build.* **2006.** 38, 30–44, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.009>
- [7] Papaefthimiou S., Leftheriotis G., Yianoulis P., Hyde T. J., Eames P. C., Fang Y., Pennarun P. Y., Jannasch P. Development of electrochromic evacuated advanced glazing // *Energy and Buildings.* **2006.** 38, 1455 – 1467, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.029>
- [8] Piccolo A., Pennisi A., Simone F. Daylighting performance of an electrochromic window in a small scale test-cell // *Solar Energy.* **2009.** 83, 832–844, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.11.013>
- [9] Dontsova A.E., Kalinina A.V. Steklo s upravlyayemoy prozrachnostyu (smart window) v grazhdanskom stroitelstve // *Alfabuild.* **2018.** 4 (6), 74-82 (in Russ.).
- [10] Lee E.S., Claybaugh E. S., LaFrance M. End user impacts of automated electrochromic windows in a pilot retrofit application // *Energy and Buildings.* **2012.** 47, 267–284, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.003>

- [11] Belousov A. L., Patrusheva T. N.. Elektrokromnyye oksidnyye materialy // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 2. **2014** (7). 154-166 (in Russ.).
- [12] Kim S., Kong X., Taya M. Electrochromic windows based on anodic electrochromic poly(mesitylenes) containing 9H-carbazole-9-ethanol moieties. // Solar Energy Materials and Solar Cells. **2013**. 117, 183–188, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.04.030>
- [13] Piccolo A., Simone F. Performance requirements for electrochromic smart window. // Journal of Building Engineering. **2015**. 3, 94–103, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.jobc.2015.07.002>
- [14] Gugliermetti F., Bisegna F. Visual and energy management of electrochromic windows in Mediterranean climate. // Building and Environment. **2003**. 38. 3, 479-492, (in Eng.). [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00124-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00124-5)
- [15] DeForest N., Shehabi A., Garcia G., Greenblatt J., Masanet E., Lee E.S., Selkowitz S., Milliron D.J. Regional performance targets for transparent near-infrared switching electrochromic window glazings. // Building and Environment. **2013**. 61, 160-168. (in Eng.).
- [16] Assimakopoulos M. N., Tsangrassoulis A., Guarracino G., Santamouris M. Integrated energetic approach for a controllable electrochromic device. // Energy and Buildings. **2004**. 36. 5, 415-422, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.040>
- [17] Gugliermetti F., Bisegna F. A model study of light control systems operating with Electrochromic Windows. // Lighting Research & Technology. **2005**. 37. 1, 320, (in Eng.). <https://doi.org/10.1191/1365782805li123oa>
- [18] Piccolo A. Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell. // Energy and Buildings. **2010**. 42. 9, 1409-1417, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.010>
- [19] Aldawoud A. Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing system in hot, dry climate. // Energy and Buildings. **2013**. 59, 104-110, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.031>
- [20] Fernandes L. L., Lee E. S., Ward G. Lighting energy savings potential of split-pane electrochromic windows controlled for daylighting with visual comfort. // Energy and Buildings. **2013**. 61, 8-20, (in Eng.). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.057>