

DOI: 10.34031/article_5ca1f630af2168.19171746

^{1,*}Кононова М.С., ¹Жерлыкина М.Н., ¹Малышева А.Н.¹Воронежский государственный технический университет

Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14

*E-mail: kniga18@mail.ru

КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ СРАВНЕНИЯ СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ

Аннотация. Системы естественного освещения вносят существенный вклад в энергетический баланс здания. Изменение их геометрических и оптических характеристик влияет не только на освещенность в помещении, но и определяет эксплуатационные расходы, связанные с обслуживанием, теплопоступлениями и теплопотерями через светопрозрачные ограждения. Рассмотрена задача сравнения нескольких систем естественного освещения зданий. Для сравнения предложен комплексный критерий, учитывающий оптические, теплозащитные, эксплуатационные свойства, а также капитальные затраты. Предложенный критерий позволяет убирать несущественные для конкретного здания показатели или добавлять новые в соответствии с требованиями заказчика. Приведены расчетные зависимости по определению численных значений отдельных коэффициентов, входящих в комплексный критерий. Для удобства сравнения все коэффициенты представлены безразмерными. Разработан алгоритм и составлена методика применения предложенного комплексного критерия для сравнения систем естественного освещения.

Ключевые слова: система естественного освещения, энергетический баланс здания, коэффициент естественной освещенности.

Введение. Естественное освещение имеет важное гигиеническое значение для жизни и деятельности человека. Результаты исследований показывают, что правильно организованное освещение влияет не только на производительность труда, но и определяет психологический комфорт человека в помещении [1, 2].

Существует много систем естественного освещения (СЕО), различающихся конструктивными, функциональными и энергетическими параметрами. Помимо традиционных окон в зданиях могут применяться системы верхнего освещения в виде световых фонарей, которые позволяют увеличить равномерность естественного освещения и уменьшить потребление энергии [3]. Хорошими теплозащитными и оптическими свойствами обладает группа отражающих устройств в виде световых полок [4], но они требуют точного соответствия расположения отражающих элементов и планировочной структуры помещения.

Отдельно следует выделить относительно новую группу систем естественного освещения в виде полых трубчатых световодов, позволяющих передавать свет на расстояние нескольких этажей [5, 6].

У каждой из перечисленных систем естественного освещения есть свои достоинства и недостатки, а также ограничения по возможности применения в зданиях различного назначения [7]. Большое различие в оптических, эксплуатационных и теплозащитных свойствах существующих систем естественного освещения обуславливает актуальность задачи выбора их оптимальной конструкции применительно к конкретному зданию [8–11].

Много исследований посвящено оценке экономической эффективности применения дневного света, но при этом чаще всего учитываются энергетические характеристики, связанные с применением систем охлаждения или искусственного освещения здания [12–18].

Некоторые авторы сравнивают различные системы естественного освещения между собой [19–21], но полученные ими результаты представляют частные случаи решения задачи выбора оптимальной конструкции СЕО.

В результате проведенного обзора научных публикаций выявлено, что отсутствует методика сравнения различных СЕО, учитывающая их разнообразные характеристики (оптические, теплозащитные, эксплуатационные).

Описание предлагаемого критерия. Авторами предлагается комплексный критерий η для сравнения различных систем освещения, представленный произведением:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4, \quad (1)$$

где η_1 – показатель оптических характеристик; η_2 – показатель теплозащитных характеристик; η_3 – показатель эксплуатационных характеристик; η_4 – показатель капитальных затрат.

Структура комплексного критерия представлена на рис. 1.

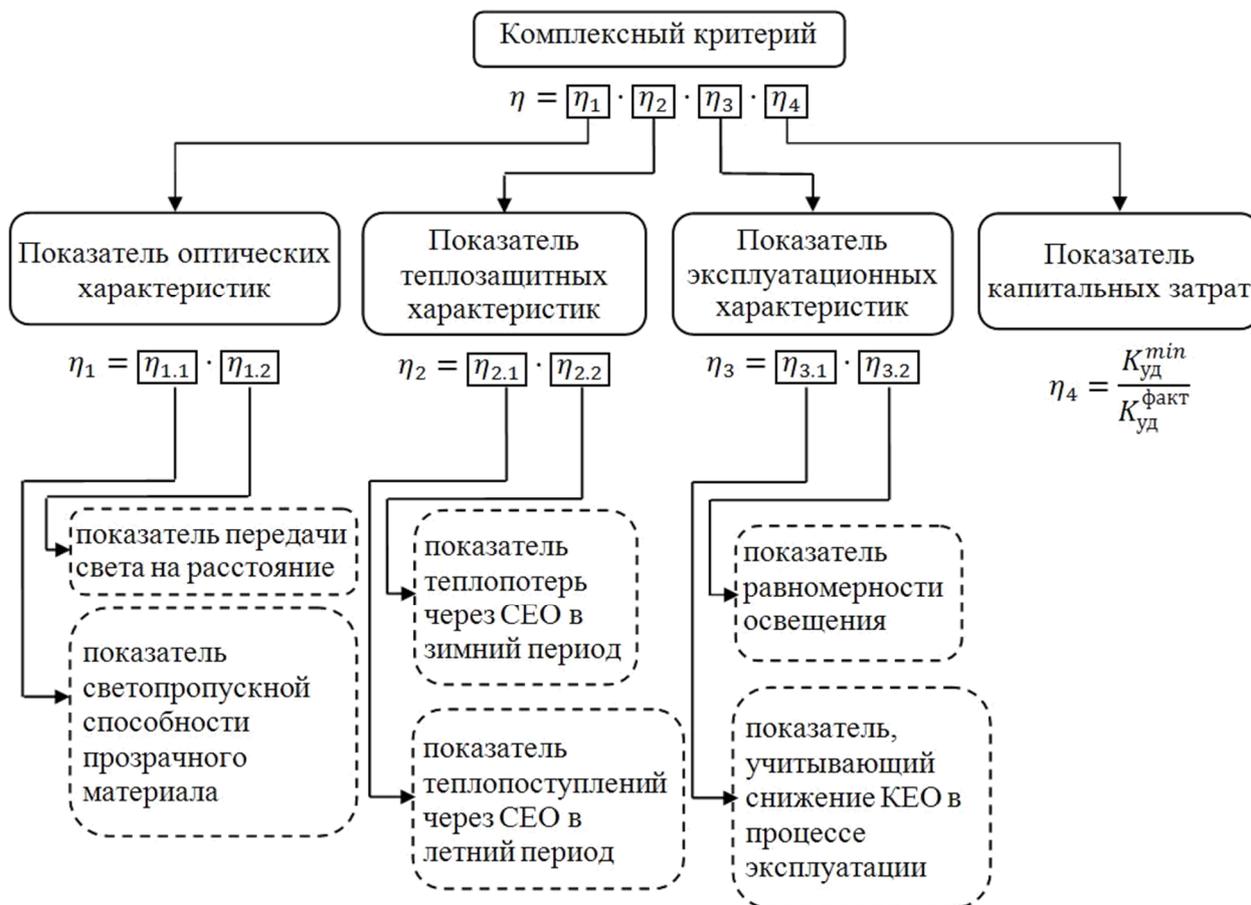


Рис. 1. Структура комплексного критерия для сравнения систем естественного освещения

Одной из основных характеристик является способность СЕО передавать дневной свет в помещение. Эта способность зависит от материала, расположения и конструктивных особенностей СЕО.

Показатель светопередающих характеристик η_1 , предлагается определять по формуле:

$$\eta_1 = \eta_{1.1} \cdot \eta_{1.2}, \quad (2)$$

где $\eta_{1.1}$ – показатель светопропускной способности прозрачного материала; $\eta_{1.2}$ – показатель передачи света на расстояние.

Показатель светопропускной способности прозрачного материала $\eta_{1.1}$ зависит от типа стекла, их толщины, количества, характера поверхности (шероховатость, рубчатость, загрязненность). Значения показателя $\eta_{1.1}$ можно определить по справочной или нормативной литературе, где он носит название коэффициент светопропускания.

Показатель передачи света на расстояние $\eta_{1.2}$ предлагается оценивать по формуле:

$$\eta_{1.2} = E_{int} / E_{ext}, \quad (3)$$

где E_{int} – естественная освещённость внутри помещения на выходе из светопередающего устройства, лк; E_{ext} – естественная освещённость снаружи перед центром светопередающего ограждения, лк.

Показатель передачи света на расстояние является аналогом коэффициента естественной освещенности, отличаясь от него местами расположения точек, в которых определяется освещенность. Так как конструкции СЕО достаточно разнообразны, то предлагается определить стационарные места расположения точек замера в соответствии со схемами, приведенными на рис. 2. Численные значения освещенности E_{int} и E_{ext} могут быть определены путём моделирования или экспериментальной оценки систем естественного освещения [8].

Показатель теплозащитных характеристик η_2 предлагается рассчитывать по формуле:

$$\eta_2 = \eta_{2.1} \cdot \eta_{2.2}, \quad (4)$$

где $\eta_{2.1}$ – показатель теплопоступлений через СЕО в летний период; $\eta_{2.2}$ – показатель теплопотерь через СЕО в зимний период.

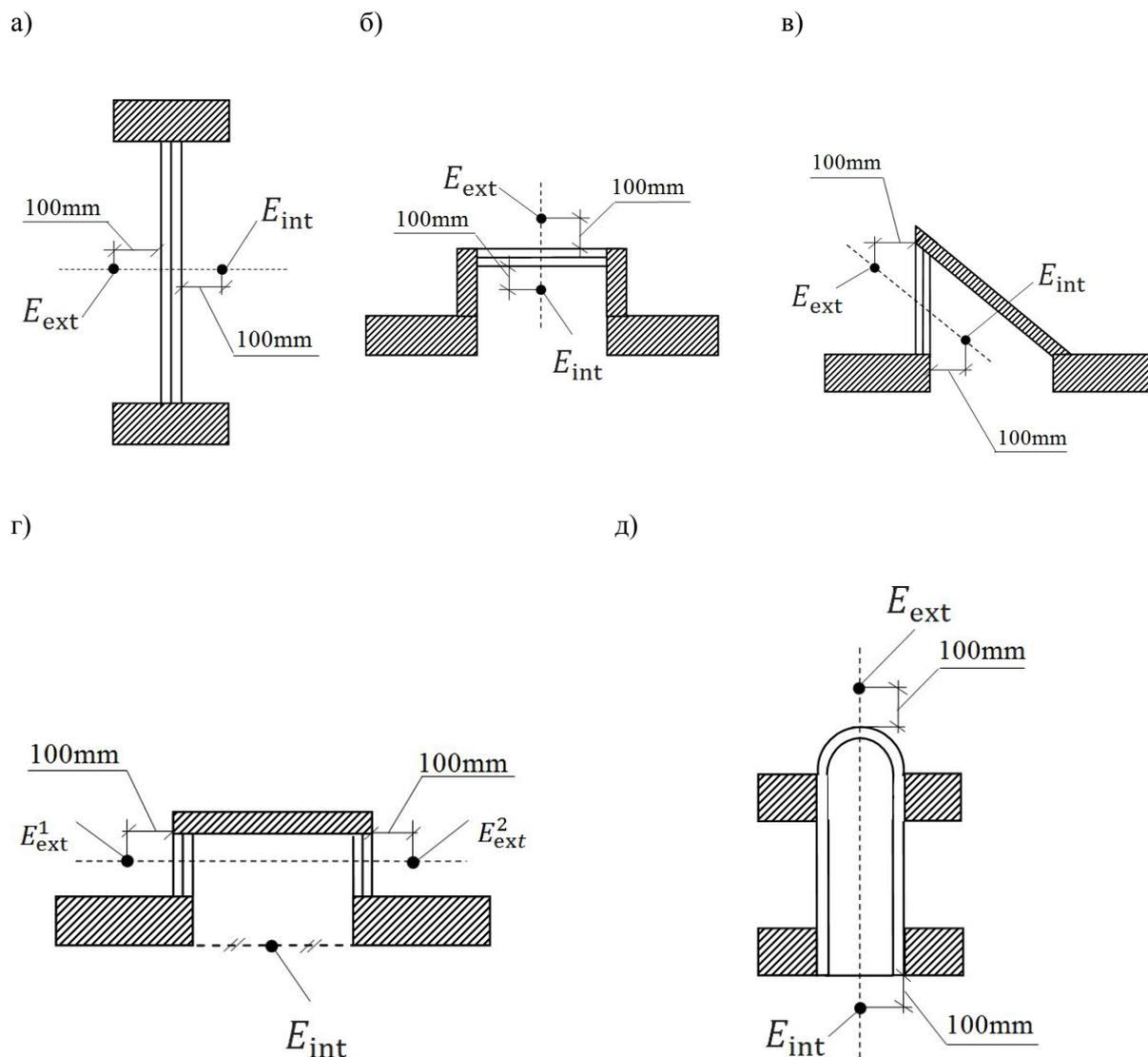


Рис. 2. Схемы расположения точек замера E_{int} и E_{ext} : а – для окна; б – для зенитного фонаря; в – для шедового фонаря; г – для фонаря-надстройки (E_{ext} вычисляется как среднее арифметическое E_{ext}^1 и E_{ext}^2); д – для полого трубчатого световода

Учитывая разнообразие существующих СЕО, обладающих различными характеристиками и размерами, для определения коэффициентов $\eta_{2.1}$ и $\eta_{2.2}$ предлагается использовать алгоритм, приведенный на рис. 3. Для каждой из сравниваемых СЕО рассчитываются теплопоступления в теплый период года $q_{ТПГ,i}$, Вт/м², и теплопотери в холодный период года $q_{ХПГ,i}$, Вт/м². На данном этапе расчетов предполагается использование существующих методик расчета, учитывающих конструктивные особенности светопрозрачных ограждений и климатологические характеристики местности, для которой проводится расчет [20–23].

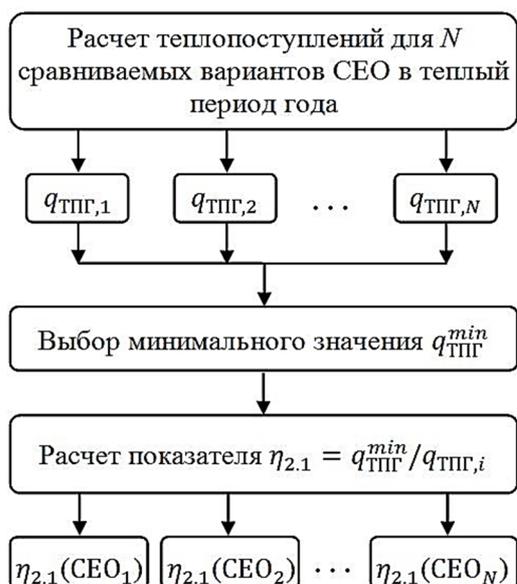
Из вычисленных значений $q_{ТПГ,i}$ (рис. 3, а) и $q_{ХПГ,i}$ (рис. 3, б) выбираются минимальные значения, используемые для получения безразмерных коэффициентов $\eta_{2.1}$ и $\eta_{2.2}$.

Коэффициент $\eta_{2.1}$, учитывающий количество теплопоступлений от солнечной радиации, находится по формуле:

$$\eta_{2.1} = q_{ТПГ,i}^{\min} / q_{ТПГ,i}, \quad (5)$$

где $q_{ТПГ,i}$ – удельное значение теплоты, поступающей через рассматриваемую СЕО от солнечной радиации, Вт/м²; $q_{ТПГ,i}^{\min}$ – минимальное из сравниваемых вариантов удельное значение теплоты, поступающей через СЕО от солнечной радиации, Вт/м².

а)



б)

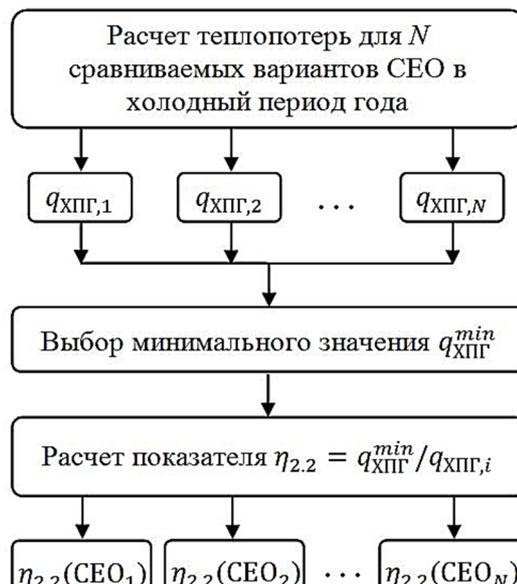


Рис. 3. Алгоритм определения коэффициента, учитывающего тепlopоступления через СЕО $\eta_{2.1}$ (а) и коэффициента, учитывающего тепlopотери через СЕО $\eta_{2.2}$ (б)

Соответственно, коэффициент $\eta_{2.2}$, учитывающий потери теплоты через ограждающие конструкции, найдем по формуле:

$$\eta_{2.2} = q_{ХПГ,i}^{min} / q_{ХПГ,i} \quad (6)$$

где $q_{ХПГ,i}$ – удельное значение потерь теплоты через ограждающие конструкции рассматриваемой СЕО, Вт/м²; $q_{ХПГ,i}^{min}$ – минимальное из сравниваемых вариантов удельное значение потерь теплоты через ограждающие конструкции, Вт/м².

Основной функцией сравниваемых СЕО является их способность создать достаточный уровень освещенности. В рассматриваемой комплексном критерии эту функцию предлагается учитывать с помощью показателя эксплуатационных характеристик η_3 , определяемого по формуле:

$$\eta_3 = \eta_{3.1} \cdot \eta_{3.2}, \quad (7)$$

где $\eta_{3.1}$ – показатель, учитывающий снижение коэффициента естественной освещенности (КЕО) в процессе эксплуатации; $\eta_{3.2}$ – показатель равномерности освещения.

Показатель $\eta_{3.1}$, учитывающий снижение КЕО в процессе эксплуатации, найдем из зависимости:

$$\eta_{3.1} = 1 / K_3, \quad (8)$$

где K_3 – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности в из-за загрязнения и старения светопрозрачных заполнений в световых

проемах, а также снижение отражающих свойств поверхностей помещения; принимается по СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».

Показатель равномерности освещения $\eta_{3.2}$ предлагается вычислять по формуле:

$$\eta_{3.2} = E_{min} / E_{max} \quad (9)$$

где E_{min} – наименьшая освещенность на рабочей плоскости помещения, лк; E_{max} – наибольшая освещенность на рабочей плоскости помещения, лк.

Важным фактором при выборе СЕО являются затраты на их устройство. Для определения показателя капитальных затрат η_4 предлагается использовать алгоритм, аналогичный приведенному на рис. 3.

Вначале для сравниваемых систем естественного освещения рассчитываются удельные затраты на единицу коэффициента естественной освещенности $K_{y\partial}$, руб./ед. по формуле:

$$K_{y\partial} = K_i / e_{pi}, \quad (10)$$

где K_i – капитальные затраты на устройство системы естественного освещения, руб.; e_{pi} – расчетное значение коэффициента естественной освещенности/

Из вычисленных значений $K_{y\partial}$ выбирается минимальное значение $K_{y\partial}^{min}$, с использованием которого вычисляется показатель капитальных затрат η_4 по формуле:

$$\eta_4 = K_{yd}^{\min} / K_{yd,i}, \quad (11)$$

где $K_{yd,i}$ – удельные затраты на устройство рассматриваемой СЕО, руб./ед.; K_{yd}^{\min} – минимальные из сравниваемых удельные затраты на повышение естественной освещенности помещения, руб./ед.

Следует отметить, что все показатели, входящие в состав комплексного критерия (формула (1)) являются безразмерными, их значение не превышает единицу. Такая структура критерия

позволяет убирать несущественные для конкретного здания показатели или добавлять новые, в соответствии с требованиями заказчика.

Алгоритм применения комплексного критерия сравнения. Предлагаемый комплексный критерий может быть использован при выборе систем естественного освещения как при новом проектировании, так и при реконструкции с целью увеличения освещенности помещения. Практическое применение комплексного критерия может быть реализовано на основе алгоритма, приведенного на рис. 4.



Рис. 4. Алгоритм выбора системы естественного освещения на основе комплексного критерия

На начальном этапе должны быть сформированы исходные данные, необходимые для разработки конструктивных решений систем естественного освещения: геометрические размеры и назначение помещения, географические координаты района строительства.

При формировании сравниваемых вариантов важным условием является возможность интегрирования СЕО в объемно-планировочную структуру здания, а также должны учитываться конструктивные особенности наружных ограждений. В результате формирования возможных вариантов СЕО должны быть определены их геометрические и конструктивные характеристики и подобраны материалы.

Далее производится расчет коэффициента естественной освещенности для сравниваемых вариантов соответствии с утвержденными методиками свода правил СП 52.13330.2011 или другими авторскими методиками [5, 21]. Для дальнейшего сравнения выбираются такие конструкции систем естественного освещения, которые обеспечивают естественную освещенность не менее нормируемого значения. В случае, если таких вариантов не оказалось, то нужно скорректировать размеры разработанных СЕО или рассмотреть другие варианты.

Далее проводятся вычисления комплексного показателя по формулам (1)–(11) и на основе

сравнения полученных значений выбирается конструкция системы естественного освещения.

Выводы. Предложенный комплексный критерий позволяет учитывать при сравнении разные характеристики систем естественного освещения. Безразмерная форма критерия позволяет добавлять или убирать некоторые из показателей. Например, вместо показателя, учитывающего капитальные затраты, можно ввести показатель, учитывающий приведенные затраты. Это целесообразно в случае, когда предполагается значительная разница в затратах на эксплуатационное обслуживание сравниваемых вариантов систем естественного освещения.

Достоинством предлагаемого комплексного критерия является возможность использования при вычислении входящих в него показателей различных методик расчетов, учитывающих конструктивные особенности светопередающих устройств. Возможно также использование результатов расчетов отдельных характеристик, полученных другими авторами, что позволит сократить трудоёмкость вычисления критерия сравнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковальковская Н.О. Энергетическое и санитарно-гигиеническое значение естественного освещения рабочей зоны // Техносферная безопасность: материалы второй межвузовской научно-технической конференции с международным участием (Омск, 28 апреля 2015 г.), Омск: Изд-во ОГТУ, 2015. С. 90–92.
2. Gou Z., Lau S., Qian F. Comparison of mood and task performance in naturally-lit and artificially-lit environments // *Indoor and built environment*. 2015. Vol. 24. Issue 1. Pp. 27–36.
3. Djenadic D. M., Manic M. T., Riznic D.T. The impact of clerestory lights on energy efficiency of buildings // *Thermal science*. 2015. Vol. 19. Issue 3. Pp. 893–904.
4. Kontadakis A., Tsangrassoulis A., Doulos L. An active sunlight redirection system for daylight enhancement beyond the perimeter zone // *Building and environment*. 2017. Vol. 113. Pp. 267–279.
5. Стецкий С.В. Световые колодцы как фактор повышения качества световой среды в многоэтажных зданиях // *Научное обозрение*. 2016. № 15. С. 59–64.
6. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н. Технология Solatube: перспективы в архитектуре и строительстве в России // *Светотехника*. 2016. №1. С. 36–41.
7. Малышева А.Н., Кононова М.С., Воробьева Ю.А. Анализ применимости различных систем естественного освещения для зданий гражданского назначения // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. 2018. № 2(5). С. 9–17.
8. Spacek A.D., Neto J.M., Bilessimo L.D. Proposal for an Experimental Methodology for Evaluation of Natural Lighting Systems Applied in Buildings // *Energies*. 2017. Vol. 10. Issue 7. Article number 1014.
9. Zambrano P., Prado L. Simulation of Natural lighting in offices: comparison of light levels according to season, orientation, color and time: Implications for visual efficiency // *Estoa-revista de la facultad de arquitectura y urbanismo de la universidad de cuenca*. 2016. Vol. 5. Issue 8. Pp. 37–50.
10. Ёрс П.Ф., Казанасмаз Т. Расчётное сравнение современных систем естественного освещения в целях улучшения уровня и равномерности освещённости // *Светотехника*. 2015. № 1. С. 28–35.
11. Lewis A. The mathematisation of daylighting: a history of British architects' use of the daylight factor // *Journal of architecture*. 2017. Vol. 22. Issue 7. Pp. 1155–1177.
12. Krarti M., Erickson P.M., Hillman T.C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting // *Building and environment*. 2005. Vol. 40. Issue 6. Pp. 747–754.
13. Lam J.C., Li D. An analysis of daylighting and solar heat for cooling-dominated office buildings // *Solar energy*. 1999. Vol. 65. Issue 4. Pp. 251–262.
14. Shishegar N., Boubekri M. Quantifying electrical energy savings in offices through installing daylight responsive control systems in hot climates // *Energy and buildings*. 2017. Vol.153. Pp. 87–98.
15. Коржнева Т.Г., Ушаков В.Я., Овчаров А.Т. Учет ресурса естественного света при оптимизации энергозатрат помещения // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 3. С. 156–164.
16. Nemri A., Krarti M. Analysis of electrical energy savings from daylighting through skylights // *International Solar Energy Conference: collection of reports(Orlando 2017, Aug 08-09)*. 2006. Pp. 51–57.
17. Al-Ashwal N.T., Hassan A.S. The Integration of Daylighting with Artificial Lighting to Enhance Building Energy Performance // *Proceedings of the international conference of global network for innovative technology and awam international conference in civil engineering (IGNITE-AICCE'17): Sustainable technology and practice for infrastructure and community resilience : AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1892. Article number UNSP 160010-1.
18. Демина А.В., Редина Е.В. Сравнительный анализ естественного и искусственного освещения в жилом секторе // *Экология, окружающая среда и здоровье человека: XXI век: сборник статей по материалам II международной научно-*

практической конференции. (Красноярск, 12-15 ноября 2016 г.), Красноярск: Изд-во КГАУ, 2016. С. 261–265.

19. Соловьев А.К., Туснина О.А. Сравнительный теплотехнический расчет систем верхнего естественного освещения (зенитные фонари и полые трубчатые световоды) // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 2(46). С. 24–35.

20. Коржнева Т.Г., Ушаков В.Я., Овчаров А.Т. Анализ теплопотерь помещений через системы естественного освещения // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322. № 4. С. 56–60.

21. Палагин А.В., Стерхов А.И., Корепанов Е.В. Сравнение систем естественного освещения

зданий по функционально-энергетическим факторам // Интеллектуальные системы в производстве. 2014. № 2 (24). С. 191–194.

22. Кононова М.С., Сороченкова Е.Ю., Смирнова Н.Н. Оценка потенциальной экономии энергоресурсов на отопление зданий за счет тепlopоступлений от солнечной радиации // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. № 1(22). С. 35–41.

23. Park J.J., Kim Y., Chung K. Infiltration and Heating Load Analysis of an Apartment with Respect to Window Type, Window Location, and Lock Operation // Ashrae transactions. 2017. Vol. 123. Pp. 201–214.

Информация об авторах

Кононова Марина Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: kniga18@mail.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, д. 14.

Жерлыкина Мария Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: zherlykina@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, д. 14.

Малышева Анастасия Николаевна, магистрант кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: malysheva-a2013@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, д. 14.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Кононова М.С., Жерлыкина М.Н., Малышева А.Н., 2019

^{1,*}Kononova M.S., ¹Zherlykina M.N., ¹Malysheva A.N.

¹Voronezh State Technical University

Russian, 394026, Voronezh, Moscow Avenue, 14

*E-mail: kniga18@mail.ru

A COMPREHENSIVE COMPARISON CRITERION OF NATURAL LIGHTING SYSTEMS FOR BUILDINGS

Abstract. Natural lighting systems make a significant contribution to the energy balance of the building. Changing its geometric and optical characteristics affects the illumination in the room and determines the operating costs associated with maintenance, heat and heat losses through translucent fences. The problem of comparison several systems of natural lighting of buildings is considered. For comparison, a complex criterion is proposed that takes into account optical, thermal, operational properties, as well as capital costs. The proposed criterion allows to remove irrelevant indicators for a particular building or add new ones according to customer requirements. The calculated dependences to determine the numerical values of the individual coefficients included in the complex criterion are given. The calculated dependences to determine the numerical values of the individual coefficients included in the complex criterion are presented. The algorithm and the method of application the proposed complex criterion for comparison of natural light systems are developed.

Keywords: natural lighting system, energy balance of the building, natural light factor.

REFERENCES

1. Kowalkowska N.O. Energy and sanitary-hygienic significance of natural lighting of working area. Technosphere safety: proceedings of the second inter-University scientific and technical conference with international participation (Omsk, April 28,

2015), Omsk: publishing house of the OSTU, 2015. pp. 90–92.

2. Gou Z., Lau S., Qian F. Comparison of mood and task performance in naturally-lit and artificially-lit environments. Indoor and built environment, 2015, vol. 24, issue 1, pp. 27–36.

3. Djenadic D.M., Manic M.T., Riznic D.T. The

impact of clerestory lights on energy efficiency of buildings. *Thermal science*, 2015, vol. 19, Issue 3, pp. 893–904.

4. Kontadakis A., Tsangrassoulis A., Doulos L. An active sunlight redirection system for daylight enhancement beyond the perimeter zone. *Uilding and environment*, 2017, vol.113, pp. 267–279.

5. Stetsky S.V. Light tubes as a factor of light environment quality increase in high-rise buildings. *Scientific review*, 2016, no. 15, pp. 59–64.

6. Ovcharov A.T., Selyanin Yu.N. Solatube technology: perspectives in architecture and construction in Russia. *Lighting engineering*, 2016, no. 1, pp. 36–41.

7. Malysheva A.N., Kononova M.S., Vorob'eva Y.A. Analysis of applicability of various natural lighting systems for civil design buildings. *Housing and utilities infrastructure*, 2018, no. 2(5), pp. 9–17.

8. Spacek A.D., Neto J.M., Bilessimo L.D. Proposal for an Experimental Methodology for Evaluation of Natural Lighting Systems Applied in Buildings. *Energies*, 2017, vol. 10, issue 7, article number 1014.

9. Zambrano P., Prado L. Simulation of Natural lighting in offices: comparison of light levels according to season, orientation, color and time: Implications for visual efficiency. *Estoa-revista de la facultad de arquitectura y urbanismo de la universidad de Cuenca*, 2016, vol. 5, issue 8, pp. 37–50.

10. Ers P.F. Kazanasmaz T. Calculated comparison of modern systems of natural lighting in order to improve the level and uniformity of illumination. *Lighting engineering*, 2015, no.1, pp. 28–35.

11. Lewis A. The mathematisation of daylighting: a history of British architects' use of the daylight factor. *Journal of architecture*, 2017, vol.22, issue7, pp. 1155–1177.

12. Krarti M., Erickson P.M., Hillman T.C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Building and environment*, 2005, vol. 40, issue 6, pp. 747–754.

13. Lam J.C., Li D. An analysis of daylighting and solar heat for cooling-dominated office buildings. *Solar energy*, 1999, vol. 65, issue 4. pp. 251–262.

14. Shishegar N., Boubekri M. Quantifying electrical energy savings in offices through installing daylight responsive control systems in hot climates. *Energy and buildings*, 2017, vol. 153, pp. 87–98.

15. Korzhneva T.G., Ushakov V.Y., Ovcharov A.T. Aylight resourses accounting of energy cost optimization. *Bulletin of Tomsk state University of architecture and construction*, 2013, no. 3, pp. 156–164.

16. Nemri A., Krarti M. Analysis of electrical energy savings from daylighting through skylights. *International Solar Energy Conference: collection of reports. (Orlando 2017, Aug 08-09)*, 2006, pp. 51–57.

17. Al-Ashwal N. T., Hassan A. S. The Integration of Daylighting with Artificial Lighting to Enhance Building Energy Performance. *Proceedings of the international conference of global network for innovative technology and awam international conference in civil engineering (IGNITE-AICCE'17): Sustainable technology and practice for infrastructure and community resilience*, 2017, vol. 1892, article number UNSP 160010-1.

18. Demina A.V., Redina E.V. Comparative analysis of lighting in residential sector. *Ecology, environment and human health: XXI vek century. Collection of articles on the materials of the II international scientific-practical conference. (Krasnoyarsk 12-15 November 2016)*, Krasnoyarsk: publishing house of KSAU, 2016, pp. 261–265.

19. Soloviev A.K., Tushina O.A. Comparative thermotechnical calculation of systems of upper natural illumination (zenith lanterns and hollow tubular light guides). *Magazine of Civil Engineering*, 2014, no. 2(46), pp. 24–35.

20. Korzhneva T.G., Ushakov V.YA., Ovcharov A.T. Analysis of heat loss of premises through natural lighting systems. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no. 4. pp. 56–60.

21. Palagin A.V., Sterkhov A.I., Korepanov E.V. Comparison of the systems of natural lighting of buildings by functional-energy factors. *Intellectual systems in production*, 2014, no. 2 (24), pp. 191–194.

22. Kononova M.S., Sorochenkova E.Yu., Smirnova N.N. Estimation of potential energy savings for heating of buildings due to heat input from solar radiation. *Science Magazine. Engineering systems and facilities*, 2016, no. 1(22), pp. 35–41.

23. Park J.J., Kim Y., Chung K. Infiltration and Heating Load Analysis of an Apartment with Respect to Window Type, Window Location, and Lock Operation. *Ashrae transactions*, 2017, vol. 123, pp. 201–214.

Information about the authors

Kononova, Marina S. PhD, Assistant professor. E-mail: kniga18@mail.ru. Voronezh State Technical University. Russian, 394026, Voronezh, Moscow Avenue, 14.

Zherlykina, Mariya N. PhD, Assistant professor. E-mail: zherlykina@yandex.ru. Voronezh State Technical University, Russian, 394026, Voronezh, Moscow Avenue, 14.

Malysheva, Anastasiya N. Master. E-mail: malysheva-a2013@yandex.ru. Voronezh State Technical University, Russian, 394026, Voronezh, Moscow Avenue, 14.

Received in November 2018

Для цитирования:

Кононова М.С., Жерлыкина М.Н., Малышева А.Н. Комплексный критерий сравнения систем естественного освещения зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 35–43. DOI: 10.34031/article_5ca1f630af2168.19171746

For citation:

Kononova M.S., Zherlykina M.N., Malysheva A.N. A comprehensive comparison criterion of natural lighting systems for buildings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 3, pp. 35–43. DOI: 10.34031/article_5ca1f630af2168.19171746