

Адам УЙМА

Ченстоховский политехнический институт

## ВЛИЯНИЕ СВЕТОПРОНИЦАЕМОСТИ ВНЕШНИХ ПРЕГРАД НА УСЛОВИЯ ОСВЕЩЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИКУ ЗДАНИЙ

В статье рассматриваются основные положения и требования относительно окон и естественного освещения помещений. Представлены результаты анализа условий освещения помещения с учетом периодов использования искусственного и естественного освещения. Учитывалась разная светопроницаемость и различная поверхность прозрачной преграды. Результаты расчетов были использованы для оценки времени использования искусственного освещения в анализируемых вариантах использования окон.

**Ключевые слова:** окна, естественное освещение, искусственное освещение

### ВВЕДЕНИЕ

Принятие соответствующих габаритов и конструктивных решений внешней прозрачной преграды, такой как: окна, балконные двери, фонари, стеклянные защитные стены и т.п., было всегда одной из самых трудных задач, какие ставились перед проектировщиками объектов, для обеспечения необходимых условий эксплуатации помещений. В настоящее время, при ответственном подходе с выбором этих конструкций, в ситуации большого разнообразия конструкций данного типа преград, характеризующихся разными техническими параметрами, в том числе, связанными с такими физическими процессами, как теплообмен и интенсивность светового потока для естественного освещения, неоднократно принятие соответствующего решения ещё усложняется.

Эти преграды выполняют многочисленные функции, важнейшие из которых это:

- обеспечение соответствующего освещения дневным (натуральным) светом;
- охрана перед чрезмерными потерями тепла обогреваемых помещений;
- охрана перед вредным влиянием атмосферных условий (дождь, снег, ветер);
- охрана перед шумом снаружи и пыльным воздухом;
- обеспечение притока соответствующего количества воздуха гравитационной вентиляции помещений.

Они должны также обеспечить зрительный контакт людей находившихся в помещениях с окружающей средой, хранить перед перегревом помещений вызванным излишней аккумуляцией тепла от солнечного излучения.

Две первые перечисленные функции, влияющие на ощущение комфортности людей от освещения и тепла в эксплуатируемом помещении, связаны с прониканием через прозрачные преграды солнечного излучения. Принятие соответствующих проектных решений для прозрачных преград, создающих необходимый микроклимат тепла и освещения в помещении является возможным при учёте таких факторов, как:

- хорошее знание процессов теплообмена и проникновения света через преграды;
- хорошее знание физико-технических параметров связанных с обменом тепла и света в используемых (доступных на рынке) конструкциях;
- стимулирование проектного процесса соответствующими строительными нормами.

Избранные свойства и функционирование прозрачных преград обсуждались в частности, в работах [1-4]. В условиях функционирования новых требований, касающихся энергетического сертификата зданий, целесообразно более точно описывать условия функционирования прозрачных преград, с точки зрения их влияния на потребление энергии (тепла - потерь, связанных с отоплением и электроэнергией - для работы искусственного освещения и систем вентиляции и кондиционирования воздуха). Вес этой проблемы становится понятным также в связи со все сильнее выраженную необходимостью повышения энергетической эффективности различных элементов и технических систем зданий. В этом контексте вопрос оптимального подбора прозрачных преград зданий, для обеспечения основных требований с учётом оптимизирования энергетических потребностей, становится очень актуальным. Необходимость совершенствования конструкций прозрачных преград с точки зрения расходования электроэнергии отмечена в работах [5, 6].

## 1. НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРОЗРАЧНЫХ ПРЕГРАД

Требования, касающиеся допустимых поверхностей внешних прозрачных преград помещены в двух различных местах польских строительных требований [7]. Первое требование связано с необходимостью обеспечения соответствующего освещения естественным светом помещений предназначенных для пребывания в них людей. Можно найти там запись о минимальном допустимом поле поверхности окна  $A_{O \min}$ . Это требование является самым главным. Другое относится к группе требований, связанных с необходимостью ограничения потерь тепла зданием, через внешние преграды, и касается максимального допустимого поля поверхности прозрачной преграды  $A_{O \max}$ . Относится оно к окнам и прозрачным преградам, с коэффициентом теплопередачи большим от  $0,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  [8].

В соответствии с распоряжением [7], касающимся технических условий, каким должны соответствовать здания и их расположение, для помещений,

в которых находятся люди, отношение поверхности окон -  $A_0$ , рассчитанной в проеме оконной рамы к поверхности пола -  $A_p$ , должно иметь соотношение, как минимум 1:8, а для помещений не требующих постоянного дневного освещения, как минимум 1:12.

В распоряжении [8], в дополнении к новым требованиям касающимся тепловой изоляции и связанным с экономией энергии, поверхность окон и других прозрачных преград с коэффициентом теплопередачи больше  $0,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , рассчитанная в соответствии с модулярными размерами, не должна превышать величины  $A_{O \max}$ , рассчитанной по формуле

$$A_{O \max} = 0,15A_z + 0,03A_w \quad (1)$$

где:

$A_z$  - поле части поверхности пола, полосы шириной 5 м вдоль внешней стены с прозрачными внешними преградами;

$A_w$  - поле остальной части пола в отапливаемых помещениях с прозрачными внешними преградами.

Это требование относится к жилым и общественным зданиям. В перечисленных требованиях, касающихся  $A_{O \min}$  и  $A_{O \max}$  (табл. 1), содержится также требование к поверхности окон промышленных зданий, которое зависит от поля поверхности фасада. Для такого типа объектов характерным являются, что находятся там помещения предназначенные для пребывания людей и такие, где дневное освещение не требуется. В таком случае, для этих объектов обязывает двойное требование касающееся  $A_{O \min}$ , как -  $0,125A_p$ , так и -  $0,083A_p$ .

Таблица 1. Сравнение требований, касающихся допустимой поверхности прозрачных преград

Тип помещений	$A_{O \min}$	Тип зданий	$A_{O \max}$
Предназначенные для пребывания людей: – постоянное - > 4 ч/сутки – временное-(2÷4) ч/сутки	$0,125A_p$	Жилые и общественные	$0,15A_z + 0,03A_w$
		Производственный: – одноэтажный – многоэтажный	$0,15A_e$
Дневное освещение не требуется	$0,083A_p$		$0,30A_e$

Обозначения применяемые в таблице 1:

$A_p$  - поле поверхности пола;

$A_z$  - поле полосы поверхности пола, шириной 5 м, вдоль внешней стены;

$A_w$  - поле поверхности внутренней части пола,  $A_w = A_p - A_z$ ;

$A_e$  - поле поверхности фасада, включая поверхность окон.

Характерным является то, что требования касаются поверхности окон и других прозрачных преград, не зависят от типа освещения помещений, т.е. бокового, верхнего или смешенного. Без сомнения, освещение верхнее или смешенное является значительно более эффективным, чем боковое, в связи

с чем требования, касающиеся  $A_{O \min}$  нужно применять прежде всего к последнему типу освещения.

Также теплообмен через прозрачные преграды, находящиеся в плоскости крыши, отличается от теплообмена через вертикальные преграды, что не было отражено в нормативах, касающихся  $A_{O \max}$ .

Разницы в нормах, касающихся различного расположения окон и других прозрачных преград, в том числе расположенных на крыше, появляются в нормах, имеющих отношение к допустимому уровню тепловой изоляции  $U_{(\max)}$  [8].

Таблица 2. Планируемое изменение допустимой величины коэффициента теплопередачи  $U_{\max}$  для прозрачных преград в соответствии с строительными требованиями [8]

Тип прозрачной преграды	Коэффициентом теплопередачи $U_{\max}$ [Вт/(м <sup>2</sup> К)]		
	в 2014 г.	в 2017 г.	в 2021 г.
Окна и неоткрываемая прозрачная преграда			
– темп. в помещении $\geq 16^{\circ}\text{C}$	1,3	1,1	0,9
– темп. в помещении $< 16^{\circ}\text{C}$	1,8	1,6	1,4
Окна в крыше			
– темп. в помещении $\geq 16^{\circ}\text{C}$	1,5	1,3	1,1
– темп. в помещении $< 16^{\circ}\text{C}$	1,8	1,6	1,4

С выше представленного сравнения вытекает, что актуальные строительные нормы, касающиеся допустимой величины коэффициента теплопередачи, ставят более высокие требования для прозрачных преград, находящихся на крыше, чем в наружной стене.

Интересным является сравнение двух требований, касающихся экстремального поля поверхности прозрачных преград, т.е.  $A_{O \min}$  и  $A_{O \max}$ . Сравнить между собой можно два критерия, принимая следующие преобразование:

$$\frac{A_{Ooc}}{A_O} \cong \frac{A_p}{A_z + A_w} \quad (2)$$

где:

$A_{Ooc}$  - поле поверхности преграды пропускающей свет, к которой относится требование  $A_{O \min}$ ,

$A_O$  - поле поверхности окна, к которой относится требование  $A_{O \max}$ .

Учитывая показанные допущения, можно сравнить перечисленные выше требования. Это сравнение позволит определить глубину помещения, для которого возможно выполнение двух критерий. С этой целью принят один совместный для двух критерий коэффициент, зависящий от экстремальной величины площади поверхности окна, т.е.  $A_z + A_w = A_p$ .

Тогда требования, касающиеся  $A_{O \min}$  можно выразить следующей формулой:

$$A_{O \min} = 0,125(A_z + A_w) \quad (3)$$

а  $A_{O \max}$  зависимостью (1).

На графике (рис. 1) представлена зависимость  $A_{O \max}$  и  $A_{O \min}$  от ширины полосы пола, т.е. от глубины помещения, измеряемой от вертикальной прозрачной преграды. Обозначенная на графике область представляет допустимый диапазон величины площади окон от глубины помещения, для помещений с условной единичной шириной 1 м. Пунктирная, вертикальная линия показывает допустимую границу глубины помещения, выше которой невозможно одновременное выполнение требований, относящихся к максимальной и минимальной поверхности окон и других прозрачных преград.

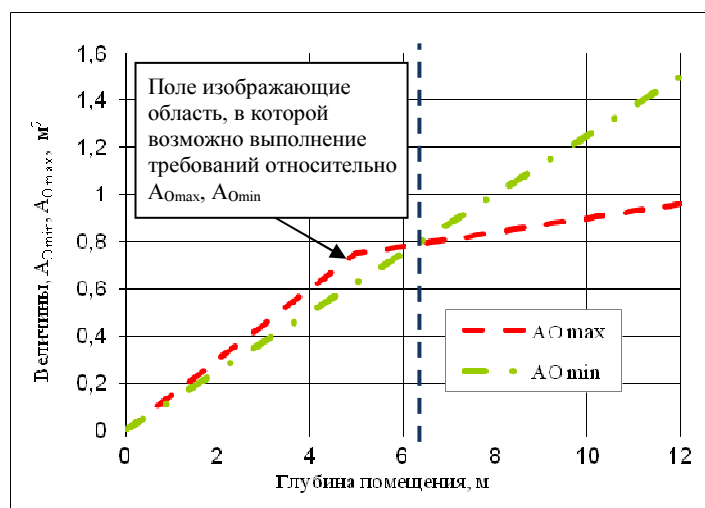


Рис. 1. Зависимость  $A_{O \max}$ ,  $A_{O \min}$  от глубины помещения для полосы пола шириной 1 м

При сравнении двух критериев очевидно, что одновременное их исполнение, т.е.

$$A_{O \max} > A_O > A_{O \min}$$

может произойти только в случае помещений глубиной (т.е. с расстоянием от вертикальной преграды пропускающей дневной свет), достигающей приблизительно 6,4 м. В случае помещения с глубиной превышающей 6,4 м, требование  $A_{O \min}$  будет выполнено, без требования  $A_{O \max}$ , только при применении окон, характеризующихся коэффициентом  $U < 0,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ .

Таким образом в диапазоне допустимой поверхности прозрачных преград в актуальных строительных нормах появляются некоторые неточности.

Не учитывают они также случаев преград, отклоненных от вертикали, в том числе находящихся во внешней преграде, иной, чем внешняя стена, т.е. окна на крыше, светофоны, а также в случае разнообразных параметров прозрачности, отражение и абсорбция солнечного излучения, видимого и полного, характеризующих применяемые в настоящее время окна, комплект окон, перегородки, выполненные с прозрачных пластмасс и т.п.

Потребность знания параметров, связанных с прониканием в здание солнечного излучения, через прозрачную преграду, является особенно важная в случае оценки прибыли тепла. Эта прибыль очень различна в течение года. Во время отопительного сезона поддерживает отопительную систему, снижая потребности на тепло, обогреваемого помещения. За то в летнем периоде, избыток тепла неоднократно является причиной ухудшения микроклимата. Совсем недавно появилась возможность довольно точного определения притоков тепла солнечного излучения, благодаря помещению в распоряжении [9] расчетных сумм месячного полного солнечного излучения,  $S$ , Втч/м<sup>2</sup>, падающего на поверхность с различным наклоном и ориентацией.

Благодаря этим данным, при знании прозрачности прозрачных преград, появилась возможность определения и точного учета прибыли тепла в тепловом балансе, как одного помещения, так и всего здания. Это является особенно пригодным при формировании тепловых условий в отопительном сезоне.

В новом критерии качества энергопотребления здания, комплексным образом характеризуются свойства объекта, учитывая энергию, используемую для отопления и приготовления горячей воды, а также в некоторых зданиях энергию на охлаждение воздуха и искусственное освещение помещений [8]. Также, сертификат энергетической эффективности здания включает в себя все существенные составляющие энергетического баланса здания [9]. Таким образом все более актуальным становится поиск оптимальных решений конструкции прозрачных преград, которые в разном виде и степени влияют на энергетические параметры здания.

## **2. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ОКОН НА УСЛОВИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ДНЕВНЫМ СВЕТОМ**

Анализ условий освещения выполнен был для условного помещения здания, расположенного в Варшаве, при приняти различных характеристик светопропускания прозрачных преград, разной глубины помещения, в различных ориентациях по отношению к поступлению дневного света в помещение и других данных, необходимых для расчета (табл. 3).

Расчеты были полученные с помощью программы DIALux, используемой в первую очередь при проектировании искусственного освещения, но и с учетом интенсивности естественного света, поступающего в помещения через прозрачные преграды. Для расчета предполагается минимальный уровень

интенсивности света на рабочей плоскости, равный  $E_m = 500$  лк, что соответствует работе с деталями средней крупности со средней контрастностью, нр. черчение, чтение, рисование, работа на клавиатуре компьютера, в соответствии с нормативными требованиями [10]. В периоды недостаточной интенсивности естественного света, проникаемого через прозрачные преграды предполагается включать искусственный свет.

Таблица 3. Основные данные используемые в расчете интенсивности света

Погодные условия	переменная облачность
Высота рабочей плоскости	85 см
Коэффициент отражения света от внутренней поверхности:	
• потолок	70%
• стена	50%
• пол	20%
Коэффициент отражения стекла	10%
Принятое рабочее время использования помещения	od 6 <sup>00</sup> do 18 <sup>00</sup>
Требуемое интенсивность света на рабочей плоскости	500 лк

Результаты расчета изменений освещенности на рабочей плоскости в помещении (ширина – 8 м, поле поверхности окна = 12 м<sup>2</sup>, коэффициент светопропускания  $\tau = 0,8$ ), при различной его глубине (рис. 2, 3) показывают, что с увеличением глубины резко ухудшаются средние условия освещенности. Во многих случаях, нельзя обеспечить требуемый уровень интенсивности света 500 лк, что приводит к необходимости включения искусственного освещения.

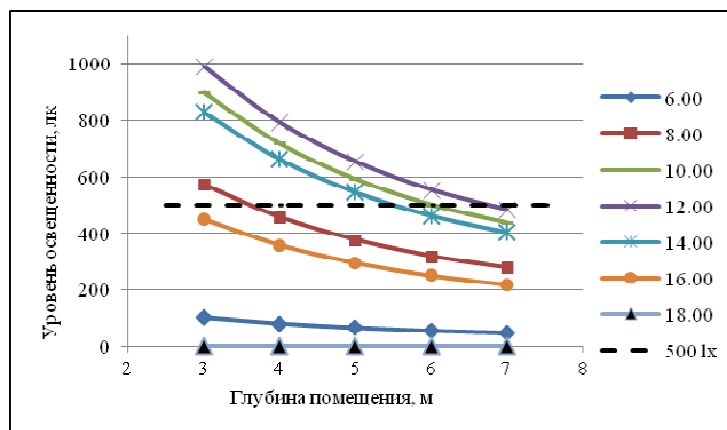


Рис. 2. Зависимость уровня освещенности на рабочей плоскости от глубины помещения

Потому что перегородки имеют различную светопрозрачность и как правило она колеблется в пределе от 40 до 80%, была она принята в расчётах,

чтобы оценить изменения в интенсивности освещённости в комнате - 8x5 м, и поверхности окон - 12 м<sup>2</sup>, ориентация окон южная (рис. 4). Результаты расчетов показывают очень большое изменение условий и в помещении в зависимости от возможности пропускания дневного света, которая также будет влиять на период использования искусственного освещения и потребления электроэнергии.

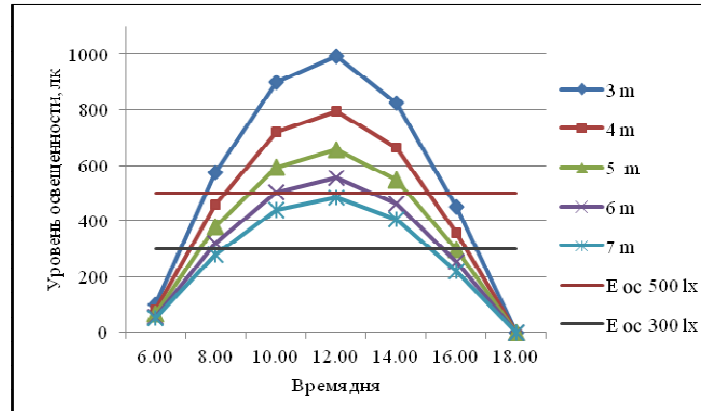


Рис. 3. Зависимость уровня освещенности на рабочей плоскости от глубины помещения в течение дня

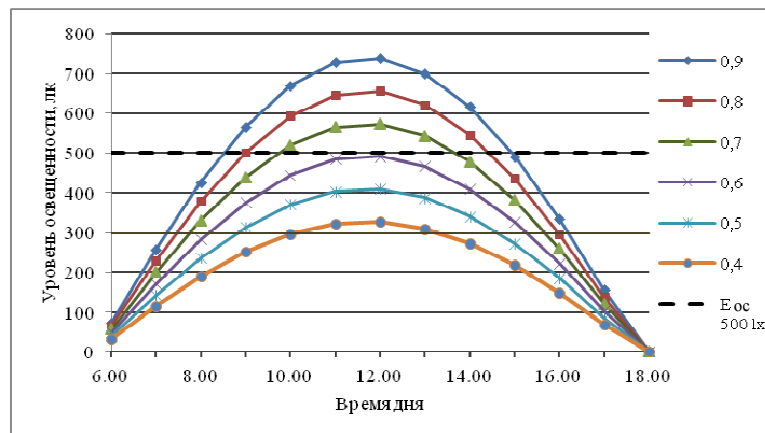


Рис. 4. Зависимость уровня освещенности на рабочей плоскости в течение дня при различных значениях коэффициента светопропускания стекла

В свою очередь, на рисунке 5 показаны результаты расчетов интенсивности света в комнате на рабочей плоскости, при южной ориентации, в разное время года. Как следует из расчетов в зимний период, предполагая пасмурное небо в течение дня, часто нужно будет использовать искусственный свет. Весной и осенью в помещениях также надо будет использовать искусственное освещение.



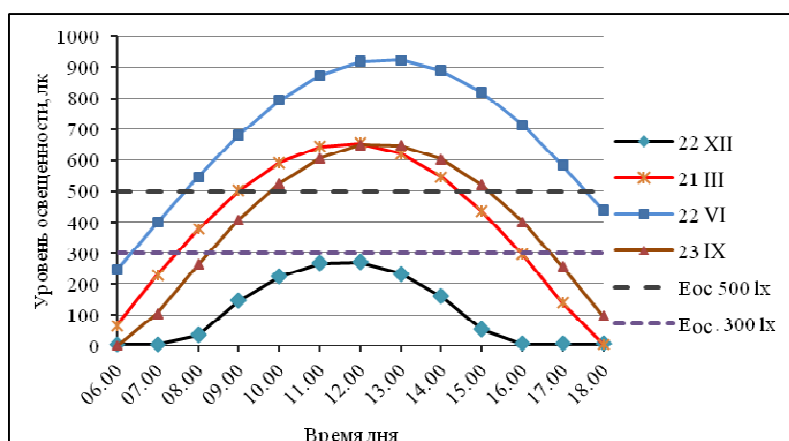


Рис. 5. Зависимость уровня освещенности на рабочей плоскости в определенные дни года в течение дня (самый короткий день, самая длинная ночь)

Было рассчитано время использования искусственного и естественного освещения в анализируемом помещении в день 21 марта, при разных условиях светопрозрачности оконного стекла (табл. 4).

Из этого сопоставления следует, что разница во времени использования искусственного света в рассматриваемом диапазоне коэффициента светопрозрачности оконного стекла достигает 2 часов и 35 минут.

Таблица 4. **Время использования искусственного и естественного освещения при разной величине светопрозрачности оконного стекла**

Время использования искусственного и естественного освещения	Коэффициент светопрозрачности стекла				
	40%	50%	60%	70%	80%
Время включения искусственного освещения	10 <sup>01</sup>	09 <sup>20</sup>	08 <sup>53</sup>	08 <sup>33</sup>	08 <sup>17</sup>
Время отключения искусственного освещения	15 <sup>31</sup>	15 <sup>49</sup>	16 <sup>02</sup>	16 <sup>14</sup>	16 <sup>22</sup>
Минимальный период использования искусственного освещения	6 ч 30 мин	5 ч 31 мин	4 ч 51 мин	4 ч 19 мин	3 ч 55 мин
Период использования естественного освещения	5 ч 30 мин	6 ч 29 мин	7 ч 09 мин	7 ч 41 мин	8 ч 05 мин

Было также рассчитано время использования искусственного и естественного освещения в анализируемом помещении в день 21 марта, при разном соотношении поверхности окна к поверхности пола (табл. 5).

Таблица 5. **Время использования искусственного и естественного освещения при разном соотношении поверхности окна к поверхности пола**

Время использования искусственного и естественного освещения	Соотношение поверхности окна к поверхности пола					
	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
Время включения искусственного освещения	09 <sup>38</sup>	09 <sup>17</sup>	08 <sup>48</sup>	08 <sup>33</sup>	08 <sup>21</sup>	08 <sup>11</sup>
Время отключения искусственного освещения	15 <sup>42</sup>	15 <sup>55</sup>	16 <sup>05</sup>	16 <sup>14</sup>	16 <sup>20</sup>	16 <sup>26</sup>
Минимальный период использования искусственного освещения	5 ч 56 мин	5 ч 22 мин	4 ч 43 мин	4 ч 19 мин	4 ч 01 мин	3 ч 45 мин
Период использования естественного освещения	6 ч 04 мин	6 ч 38 мин	7 ч 17 мин	7 ч 41 мин	7 ч 59 мин	8 ч 15 мин

## ВЫВОДЫ

1. Прозрачные внешние преграды могут оказывать существенное влияние на общую стоимость эксплуатации объектов и энергетические показатели здания. В данном случае играет роль коэффициент теплопередачи, коэффициент теплопередачи от солнечной радиации, коэффициент светопропускания естественного света. При рассмотрении энергетического показателя здания, в целях поиска оптимальных решений с точки зрения энергии, необходимо учитывать влияние факторов не только связанных с использованием тепла, но и электроэнергии.
2. Естественный уровень пропускания света в значительной степени определяет время включения и выключения искусственного освещения, которое переводится непосредственно в стоимость использования электроэнергии в системах освещения.
3. Глубина помещения играет важную роль в формировании условий освещения и времени использования искусственного освещения, что непосредственно влияет на стоимость использования энергии в системах освещения.
4. Коэффициент светопропускания оконного стекла в значительной степени определяет время включения и выключения освещения. В рассматриваемых случаях время использования искусственного света с различной светопропускной способностью окон колеблется от ок. 4 до 6,5 часов.
5. Аналогичным образом, размер отверстий окон существенно влияет на время включения и выключения освещения. В рассматриваемых случаях время использования искусственного освещения при различном соотношении поверхности прозрачной преграды к площади пола составляет от ок. 3,75 до 6 часов, что непосредственно влияет на стоимость использования энергии в системах освещения.

## LITERATURA

- [1] Ujma A., Parametry fizyczne przegród przezroczystych i ich wpływ na zużycie energii w budynku, [w:] Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, pod red. T. Bobki, J. Rajczyka, Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007, 375-384.
- [2] Respondek Z., Parametry techniczne nowoczesnych przegród szklanych, Cz. 2. Rodzaje szkła budowlanego. Parametry izolacyjności cieplnej, Świat Szkła 2007, 11, 34-38.
- [3] Respondek Z., Parametry techniczne nowoczesnych przegród szklanych, Cz. 3. Parametry przepływu promieniowania, Świat Szkła 2007, 12, 26-31.
- [4] Ujma A., Grund A., Właściwości izolacyjne i przepuszczalność świetlna przegród przezroczystych, Świat Szkła 2006, 5, 61-65.
- [5] Heim D., Matusiak B., Projektowanie energooszczędnych systemów oświetlenia dziennego - półki świetlne, Energia i Budynek 2007, 03, 28-31.
- [6] Heim D., Szczepańska E., Światło dzienne a energooszczędność oświetlenia uzupełniającego, Energia i Budynek 2008, 02, 48-52.
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002, Nr 75, poz. 690 z póź. zm.
- [8] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 05.07.2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. poz. 926.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej, Dz.U. 2008, Nr 201, poz. 1240.
- [10] PN-EN 12464-1:2004 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.

## THE INFLUENCE OF LIGHT TRANSMISSION OF EXTERNAL BARRIERS ON THE LIGHTING CONDITIONS AND ENERGY BUILDINGS

**The article discusses basic regulations and demands for windows and natural lighting. It presents results of analyzed of lighting the chosen interior space taking into consideration periods of exploitation the artificial and natural illumination. The employment of glass of different light permeability and different size of transparent surfaces were taken into consideration. Results of calculations were used for time of usage needed for artificial lighting in analyzed variants of natural light systems.**

**Keywords:** windows, natural lighting, artificial lighting