УДК 331.422

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТУПЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИЯ

к.т.н., доц. Е.В. Рабич, к.т.н., доц. Р.Я. Линник,
к.т.н., доц. Л.А. Чумак, к.т.н., доц. Л.Н. Лаухина,
к.т.н., доц. В.С. Магала

ГВУЗ «Приднепровская государственная академія строительства и архитектуры»

Актуальность. В настоящее время в проектировании гражданских зданий наметилось приоритетное направление – создание экологически безопасного жилья и помещений для постоянного пребывания людей. Современные технологии позволяют использовать новейшие строительные материалы в ограждающих конструкциях, отвечающие Европейским и международным стандартам.

Существенное влияние на создание благоприятных микроклиматических условий внутри помещений оказывают теплотехнические характеристики этих материалов в ограждающих конструкциях, в том числе и светопрозрачных, формирующих световую среду в помещениях. Баланс поступления световой энергии и обогрева в зимний период позволят не только экономично расходовать энергию на искусственное освещение, но и снизить негативные последствия для человека из-за недостатка света, такие как психические нагрузки, утомления и стрессы, нарушения циркадных ритмов, изменения гормонального баланса, депрессии [1].

Целью работы является разработка математической модели поступления естественного освещения в помещения для проектирования световой среды, обеспечивающей благоприятные условия проживания и трудовой деятельности человека.

Анализ численно-аналитических моделей наружной освещенности в стандартах МКО.

Формирование естественной освещенности происходит в тесной взаимосвязи с параметрами внешней световой среды, так как уровень освещенности внутри помещения напрямую зависит от суммарной наружной освещенности:

$$E_{внутр} = 0{,}01e \cdot E_{нар} \qquad (1)$$

где е - коэффициент естественной освещённости.

Наружная освещенность определяется в соответствии со стандартом на облачное небо МКО (международный комитет по освещению) [2], что дает приблизительные знания о световом распределении природного света. Анализ известных исследований показал, что с учетом изменений светоклиматических условий, основной характеристикой, определяющей ресурсы светового климата, являются: высота солнца, режим облачности и состав приземного слоя воздуха в больших городах.

Другим важнейшим показателем светового климата, который служит исходной величиной определения освещенности в светотехнических расчетах,

является распределение яркости по небосводу. Исследованиями распределения относительной яркости по небу занимались многие ученые, которые предложили ряд моделей стандартного небосвода: стандарт МКО на облачное небо, стандарт МКО на ясное небо, на среднеоблачное небо, на промежуточное небо, на однородное небо, модель небосвода Перодо, всепогодная модель Переца, единая модель стандартного небосвода [3]. На основании этих исследований каждым автором были получены свои зависимости распределения относительной яркости по небосводу от высоты стояния солнца. Однако, для сопоставления результатов расчета естественной освещенности, проводимых разными авторами в различных странах, возникла необходимость выбора одной функциональной зависимости распределения относительной яркости по небосводу. В связи с этим МКО установила стандартные распределения относительной яркости по облачному небу – "облачное небо МКО" и по безоблачному небу – "ясное небо МКО".

Облачность оказывает существенное влияние на годовое количество освещения. Облачность разных ярусов и форм создает сложную картину воздействия на суммарный световой поток, падающий на земную поверхность, которую точно учесть в расчетах невозможно. Для решения практических задач в первом приближении были приняты два состояния небосвода – облачное и ясное небо МКО. В момент, когда солнечный диск закрыт облаками, суммарная освещенность резко уменьшается и в большинстве случаев становится сопоставимой по величине с освещенностью, создаваемой при сплошной облачности. В случае чистого диска солнца, среднестатистическая наиболее вероятная зависимость суммарной освещенности от высоты стояния солнца при различной облачности практически совпадает с зависимостью при безоблачном небе.

Для проектирования и оценки параметров освещения в помещениях предложен метод определения световой эффективности [3], который позволяет рассчитывать характеристики естественной освещенности по результатам измерений солнечной облученности, создаваемым солнечным излучением. Принимая, что наружная освещенность – функция облученности и высоты Солнца, разработан простой метод расчета естественной освещенности по солнечной облученности на основании результатов исследования в рамках Международной службы наблюдения дневного света (IDMP).

Проводятся дальнейшие исследования для стандартизации характеристик неба, чтобы относительные величины заменить абсолютными значениями яркости, функционально связанными с уровнями освещенности для средних и минимальных условий естественного освещения. Получена формула для стандартной суммарной освещенности $S_{evg}(\gamma_s)$, клк, в функции высоты солнца γ_s с учетом коэффициентов корреляции по стандарту на облачное и ясное небо МКО для создания Единой модели небосвода [3]

$$S_{evg}(\gamma_s) = -36{,}78\gamma_s^5 + 188{,}79\gamma_s^4 - 375{,}95\gamma_s^3 + 306{,}20\gamma_s^2 + 15{,}47\gamma_s + 0{,}83 \qquad (2)$$

Суммарная освещенность является наиболее основополагающей характеристикой естественного освещения и расчет ее в единой модели небосвода несложен, что обеспечивает ее эффективное применение.

Особый интерес представляет точность отображения величины суммарной наружной освещенности для использования прогнозирования поступления природного света в зимний период. На основе измерений этой величины, полученных на протяжении более 10 лет [4], получено соотношение их к ЕМСН. Анализ результатов исследования соотношения распределения суммарной наружной освещенности, полученной экспериментально по средним значениям для каждого месяца в зависимости от высоты солнца, и ЕМСН, рассчитанной по формуле (2) позволили определить степень применимости данной модели к реальным условиям (рис.1). Во внимание принимали высоту солнца над горизонтом более 5^0, что соответствует критической наружной освещенности 5000-7500 лк.

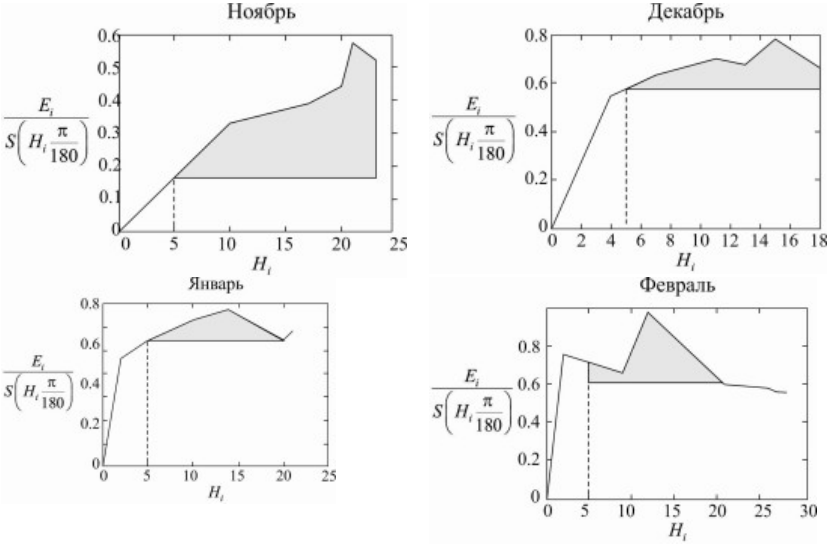

Рис.1. Распределение соотношения суммарной наружной освещенности в осенне-зимний период, полученной экспериментально по средним значениям для каждого месяца и ЕМСН в зависимости от высоты солнца.

Максимальная точность отображения суммарной наружной освещенности в ЕМСН в пределах соотношения $E_{нар}$=(0,78-0,9)S наблюдается в осенне-зимние месяцы (октябрь, январь, февраль) при высоте солнца от $5\text{-}10^0$ до $25\text{-}30^0$. С определенными поправками есть возможность использовать данную модель для прогнозирования поступления природного света в утренние и вечерние часы, что важно для определения «сумеречной световой среды». Наибольшее расхождение $E_{нар}$=(0,57-0,62)S в этот период получено при высоте

солнца более 25-30^0. При этих параметрах, соответствующих полуденному времени, в большей степени на величину суммарной наружной освещенности влияет загрязнение атмосферного воздуха пылью, отработанными газами (по данным некоторых исследований до 25-40%). В распределении соотношения суммарной наружной освещенности в ноябре, полученной и ЕМСН в зависимости от высоты солнца H_i тенденция стабильного расхождения не сохраняется.

Распределение соотношения суммарной наружной освещенности к ЕМСН имеет скачкообразный характер. В диапазоне высоты солнца над горизонтом от 5^0 до 25^0 в октябре, декабре-феврале отслеживаются более спокойные пики приближения к ЕМСН на высоте 13-15^0 в пределах изменения 20%. Преобладание в этот период года сплошной облачности преимущественно нижнего яруса дает довольно однородную картину распределения наружной освещенности. Высокое приближение величины суммарной освещенности к значениям ЕМСН обусловлено, в основном, снежным покровом (увеличивается альбедо подстилающего слоя).

Соотношение суммарной наружной освещенности, полученной экспериментально, по средним значениям для каждого месяца, и ЕМСН показывают, что данная модель отображает поступление естественного освещения приблизительно. Поэтому возникла необходимость разработки математической модели наружной освещенности, которая бы позволила прогнозировать поступление естественного света в помещения для создания качественной световой среды.

Разработка математической модели поступления естественного освещения в регионе Приднепровья. Прогнозирование поступления суммарной наружной освещенности разрабатывалось для осенне-зимнего периода, когда наблюдается наибольший дефицит естественного света. За основу принята зависимость уровня наружной освещенности от высоты солнца над горизонтом. Поступление естественного света, количественно выраженным уровнем освещенности, *клк*, описано математическими функциями в среднемесячном распределении наружной освещенности в зависимости от высоты солнца над горизонтом. Экспериментальные данные были аппроксимированы степенной и полиноминальной функциями. Наибольшая точность аппроксимации получена при использовании полиноминальной зависимости (рис.2-5).

Анализ сравнения полученных функций с ЕМСН показал, что наиболее точная зависимость величины наружной освещенности от высоты солнца является полиноминальная. Значительное отличие коэффициентов в этих функциях обусловлено климатическими и экологическими особенностями исследуемого региона.

Точность аппроксимации полиноминальной зависимости R^2=0,9972 -1 при прогнозировании поступления суммарной наружной освещенности для осенне-зимнего периода, позволила определить, что и поступление естественного света в среднегодовом распределении, количественно выраженным уровнем освещенности, *клк*, описывается полиноминальной функцией (рис.6) в зависимости от высоты солнца над горизонтом в виде

$$E_{нар} = -20,535h^5 + 76,954h^4 - 118,33h^3 + 68,849h^2 + 45,065h - 1,1538 \qquad (3)$$

где h - высота солнца над горизонтом, рад.

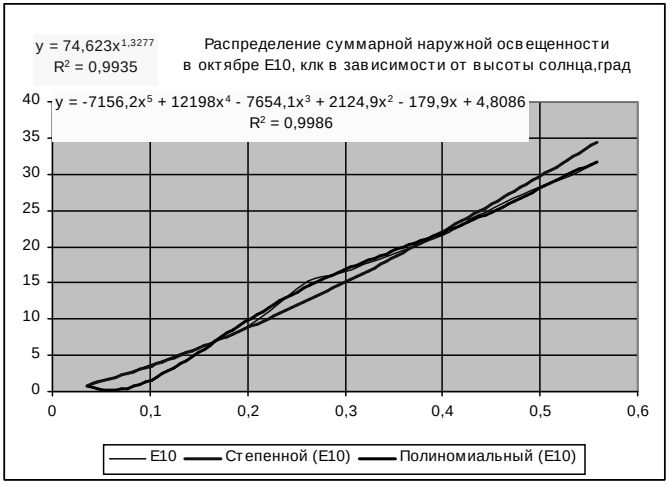

Рис.2. Экспериментальные данные наружной освещенности в степенной и полиноминальной функциях для октября. Точность аппроксимации полиноминальной зависимости R^2=0,9986.

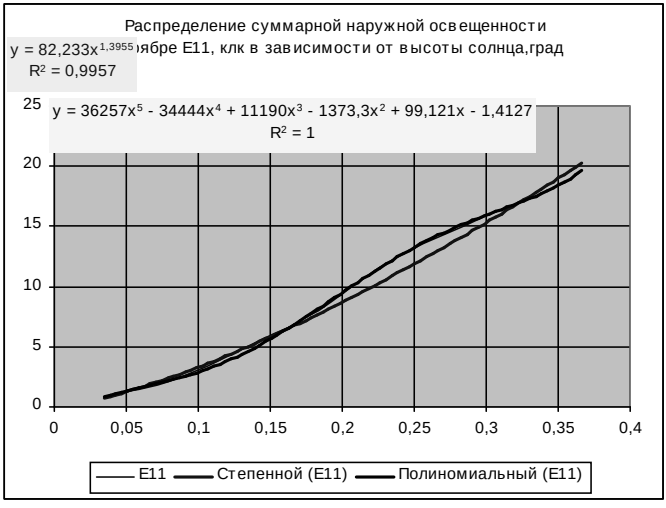

Рис.3. Экспериментальные данные наружной освещенности в степенной и полиноминальной функциях для ноября. Точность аппроксимации полиноминальной зависимости R^2=1.

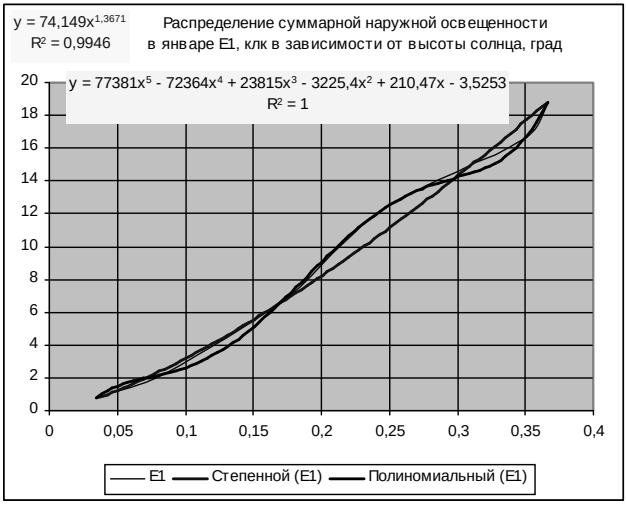

Рис.4. Экспериментальные данные наружной освещенности в степенной и полиноминальной функциях для января. Точность аппроксимации полиноминальной зависимости R^2=1.

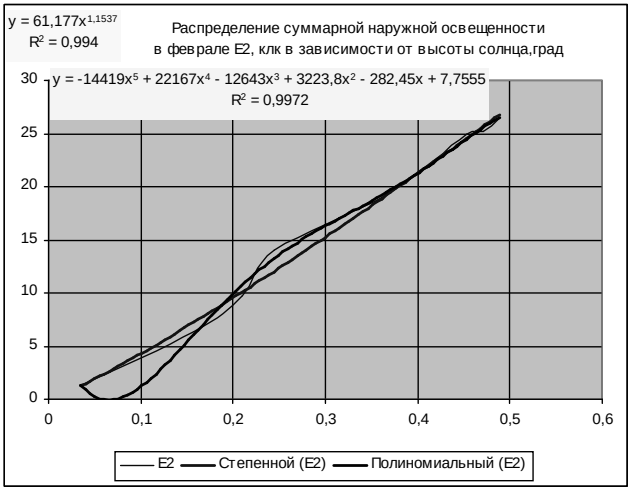

Рис.5. Экспериментальные данные наружной освещенности в степенной и полиноминальной функциях для ноября. Точность аппроксимации полиноминальной зависимости R^2=0,9972.

На основании анализа существующих моделей и экпериментальных данных получена математическая модель поступления естественного освещения в регионе Приднепровья.

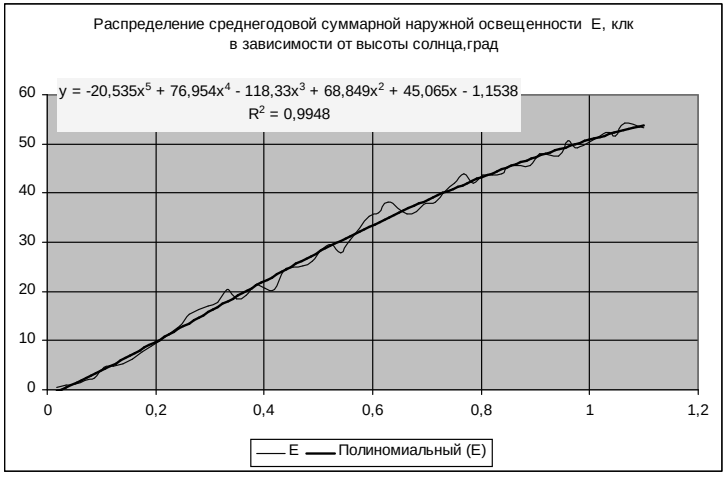

Рис.6. Экспериментальные данные среднегодовой наружной освещенности в полиноминальной функции. Точность аппроксимации полиноминальной зависимости R^2=0,9948.

Выводы

Математическая модель поступления естественного освещения в годовом распределении, в зависимости от высоты солнца над горизонтом, климатических и экологических особенностей места строительства увеличит возможности создания новых проектных решений световой среды, необходимой экспозиции природного светового потока и его распределения с учетом незрительного, биологического воздействия света на организм человека.

Открываются возможности для реализации «офисных помещений будущего», в которых работа будет личностно ориентирована, включая изменения природы зрительных задач и для создания качественной световой среды жизнедеятельности человека.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. К. Бартенбах. «Свет и здоровье» // Светотехника №2, 2009 – С.4 – 10.
2. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення // Державні будівельні норми України. –Київ - Мінбуд України, 2006 – 76с.
3. Игава Н., Мацузава Т., Накамура Х. Единая модель стандартного небосвода // Светотехника. – 2000. - №4. – С. 5-12.
4. Рабич Е.В. Улучшение условий труда на постоянных рабочих местах по фактору освещения // Дис. на соиск. ученой степени к. т. н. Днепропетровск, 2004. – 175с.