

**МИХАИЛ ДМИТРИЕВИЧ ШЛЕЙ**программист Регионального центра новых информационных технологий, Петрозаводский государственный университет  
*shlei@psu.karelia.ru***АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ БОРИСОВ**научный сотрудник НИИ историко-теоретических проблем народного зодчества, преподаватель кафедры архитектуры строительных конструкций и геотехники строительного факультета, Петрозаводский государственный университет  
*borisoff@psu.karelia.ru*

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИНСОЛЯЦИИ ПОСТРОЕК И ЕЕ КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Статья посвящена описанию разработанной модели, предназначенной для расчета продолжительности инсоляции помещений. Данная модель реализована в программной системе, предназначенной для проведения историко-архитектурного анализа объемно-планировочной структуры традиционных сельских поселений Русского Севера. Цель анализа – выявить тенденцию к южной ориентации застройки.

Ключевые слова: математическая модель, траектория Солнца, солнечная карта, инсоляция, продолжительность освещения, планировка поселения

Одной из особенностей традиционных сельских поселений Русского Севера является их «вписанность» в окружающее природное пространство, которая обеспечивается умелым использованием ландшафтных и климатических особенностей территории при формировании застройки для создания в поселении комфортной, по представлениям и требованиям народной культуры, среды проживания. Специфика таких представлений в культурах различных народов нашла отражение в структуре застройки их поселений, что позволило рассматривать особенности планировочной структуры в качестве этнической характеристики [1]. Выявление этих особенностей имеет большое значение в историко-архитектурных исследованиях и является одной из наиболее приоритетных задач. Для ее решения был предложен ряд методик, оперирующих количественными характеристиками и позволяющими проводить объективный анализ различных параметров объемно-планировочной структуры поселений [2], [3], [4]. Одним из направлений подобного рода исследований является выявление и анализ тенденции к южной ориентации застройки традиционных сельских поселений Русского Севера как этноархитектурной характеристики их планировочной структуры. В соответствии с предложенной методикой указанная тенденция может определяться через оценку ориентации жилых домов, обеспечивающей максимальную инсоляцию (солнечное освещение) помещений в лицевой части дома [5]. Для получения достоверных результатов при оценке планировки и застройки необходимо использование большой базы исследования, выполнение

трудоемкого процесса анализа плана поселения и расчета продолжительности инсоляции различных частей каждой жилой постройки, что требует оперативной сравнительной оценки большого количества планов поселений по разнообразным параметрам и показателям. Автоматизация данной работы существенно повышает ее скорость и обеспечивает более точные результаты.

Предметом описания данной статьи являются результаты разработки математической модели, позволяющей проводить расчет продолжительности освещения различных частей традиционного сельского жилища, имеющих как прагматическое, так и символическое значение, – внутреннее пространство избы, ее красный угол, входные стены и главный фасад дома.

Предлагаемая математическая модель построена на основе метода определения продолжительности инсоляции, предложенного Б. А. Дунаевым [4], сущность которого заключается в совмещении так называемой «солнечной карты» и светотени окна для подсчета количества часов, в течение которых солнечный свет сможет проникать в помещение.

Методика анализа объемно-планировочной структуры поселения по признаку инсоляции застройки основана на учете структуры жилища, включая расположение входа в дом, планировочный тип избы и ее оконность [5]. Схемы домов и изб на каждой территории традиционны, и количество их разновидностей ограничено, поэтому только постановкой дома на местности, той или иной направленностью главного фасада относительно сторон горизонта крестьянин мог влиять на параметры его освещения.

Это позволяет определенным образом унифицировать постройки по характеру режима освещенности, рассматривая для оценки освещения дома внутреннее пространство избы как главное, а во многих случаях и единственное жилое помещение дома. Проведенный анализ планировочных схем жилых частей дома и входящих в их состав изб на примере деревень обследованных территорий выявил три основных возможных планировочных типа избы исходя из условий ее освещения – с односторонним, двусторонним и трехсторонним освещением. Время инсоляции помещений зависит от геометрических размеров световых проемов: различное их количество и положение на фасаде здания не влияет на продолжительность освещения внутреннего пространства [6].

Рассматриваемая математическая модель может быть проиллюстрирована на примере избы с односторонним освещением (рис. 1). Внутреннее пространство избы ограничено стенами, на одной из которых расположено окно. Помещение освещается в том случае, если поток солнечного света находится в границах горизонтального инсоляционного угла окна, значение которого определяется геометрическими размерами оконного проема и толщиной стены. Аналогичным образом определяется вертикальный инсоляционный угол окна, величина которого также зависит от высоты окна и толщины стены. Данный угол в предложенной модели не учитывается, поскольку его значение для традиционных жилых построек достигает  $69^\circ$ , а на рассматриваемой территории (Русский Север – от  $55^\circ$  до  $65^\circ$  с. ш.) солнце не поднимается над горизонтом на угол выше  $50^\circ$ .

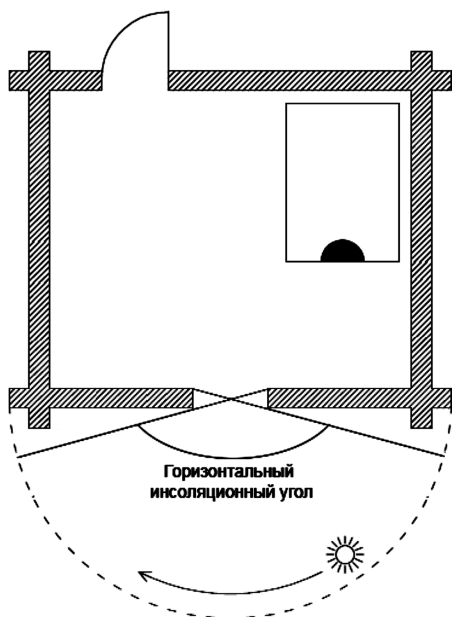


Рис. 1. Изба с односторонним освещением

Основными параметрами, влияющими на продолжительность освещения внутреннего пространства рассматриваемой избы, являются: широта местности, период наблюдения (месяц), азимут дома, определяемый через азимут перпендикуляра к стене главного фасада, и ширина оконного проема.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Построим модель для определения времени инсоляции рассмотренной выше постройки. Основная задача, решаемая при помощи данной модели, – проведение расчета продолжительности освещения внутреннего пространства постройки на основе следующих входных параметров: широта местности, месяц наблюдения, азимут дома, ширина оконного проема.

### Шаг 1. Построение солнечной карты

Для исследуемой постройки солнце описывает на небосводе дугу (рис. 2). При наивысшем положении проекция солнца на горизонтальной плоскости будет лежать на прямой, проходящей через точку О и указывающей направление север – юг. Таким образом, проекция траектории движения солнца в горизонтальной плоскости будет симметрична относительно линии север – юг, а указанное положение солнца соответствует астрономическому времени 12 ч. дня. Разбив траекторию на 24 равных сегмента начиная от наивысшей точки, мы сможем определить положение солнца в различное время суток. Точки, разграничивающие данные сегменты, будут указывать на положение солнца в определенные часы.

Угол между горизонтальной плоскостью и плоскостью, в которой лежит траектория движения солнца, рассчитывается по формуле  $\alpha = 90^\circ - \varphi$ , где  $\varphi$  – широта местности.

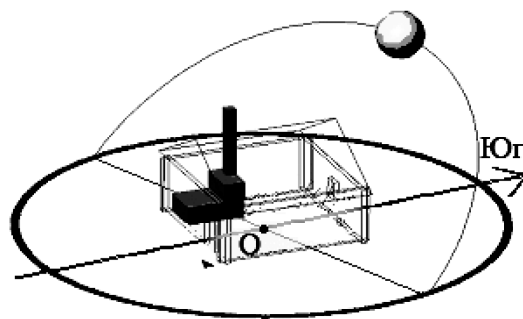


Рис. 2. Траектория движения солнца по небосводу

Для месяцев весеннего и осеннего равноденствия плоскость, содержащая траекторию солнца, будет проходить через точку О (рис. 2). Для других месяцев будет происходить смещение траектории на следующий угол [7] (рис. 3):

$$\delta = 23,5 * \cos\left(\pi * \left(1 - \frac{m}{6}\right)\right),$$

где  $m$  – месяц наблюдения.

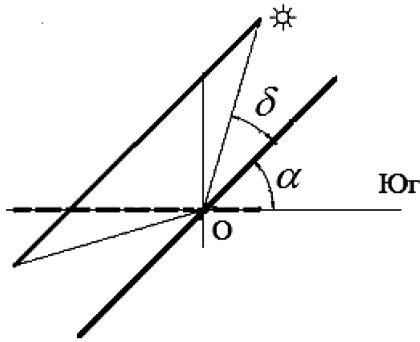
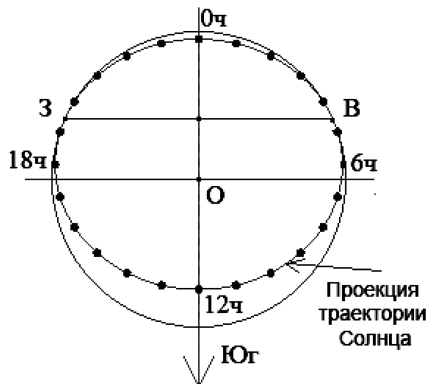


Рис. 3. Смещение траектории солнца

Таким образом, для определенной широты местности и времени наблюдения можно построить проекцию траектории движения солнца на горизонтальную плоскость. Результат построения данной проекции для широты местности  $60^\circ$  и месяца апреля представлен на рис. 4 в виде эллипса. Точками на эллипсе указано положение солнца в определенные часы суток. Обозначим данные точки как  $H_i$ , при этом номера точек будут соответствовать часам. Их координаты можно рассчитать при построении проекции траектории. Точки, в которых траектория солнца пересекает горизонтальную плоскость (точки восхода и заката солнца), обозначены как В и З. Данный график, описывающий движение солнца, называется солнечной картой. С ее помощью можно определить местоположение проекции солнца на горизонтальную плоскость для произвольного времени суток, и наоборот.

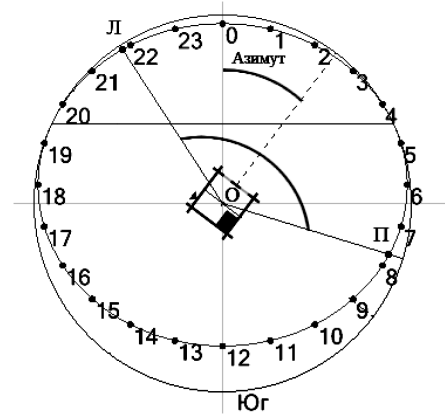
Рис. 4. Солнечная карта для северной широты  $60^\circ$  и месяца апреля

### Шаг 2. Построение светотени окна и совмещение ее с солнечной картой

Зная толщину стен и ширину оконного проема, можно рассчитать горизонтальный инсоляционный угол окна.

Согласно методике Дунаева, данный угол необходимо совместить с построенной солнечной картой. Для этого надо поставить центр окна исследуемой постройки в центр солнечной карты так, чтобы центр инсоляционного угла был направлен на север. Далее необходимо повернуть

инсоляционный угол по часовой стрелке на значение азимута стены, на которой находится окно. На рис. 5 приведен пример данного совмещения для широты местности  $60^\circ$ , месяца апреля и постройки с азимутом направления окна  $30^\circ$ . Лучи ОЛ и ОП являются левой и правой границей светотени соответственно.

Рис. 5. Солнечная карта, совмещенная со светотенью окна, для широты местности  $60^\circ$  и месяца апреля

Зная угол луча ОЛ, можно найти точку пересечения границы светотени с проекцией траектории движения солнца — точку Л, аналогичным образом можно найти точку П.

### Шаг 3. Определение времени нахождения солнца в заданном положении

Как уже было сказано выше, можно определить координаты точек, в которых солнце находится в определенные часы (точки  $H_i$  на проекции траектории). Исходя из этого можно определить время нахождения солнца в любой точке П траектории, зная ее координаты. Для этого необходимо выполнить следующий алгоритм.

1. Найти для точки П ближайшую точку из массива  $H_i$ . Обозначим номер данной точки К.
2. Найти для точки П точку из массива  $H_i$ , расстояние до которой будет больше, чем до точки К, но меньше, чем расстояние до других точек. Обозначим номер данной точки М. Таким образом, мы найдем две точки под номерами К и М, между которыми будет находиться точка П. Числа К и М обозначают целые часы суток, ограничивающие временной отрезок, на котором солнце находится в точке П.
3. Меньшее число из К и М будет указывать час, в который проекция солнца будет находиться в точке П.
4. Если  $K < M$ , то время, в которое солнце будет находиться в точке П, определяется следующим образом:

$$\text{Время} = K + \frac{\text{Расстояние}(K, П)}{\text{Расстояние}(K, М)}$$

$$\text{Иначе: } \text{Время} = M + \frac{\text{Расстояние}(М, П)}{\text{Расстояние}(К, М)}$$

