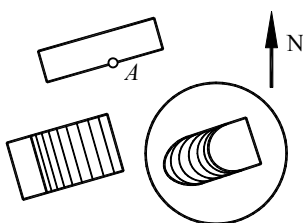
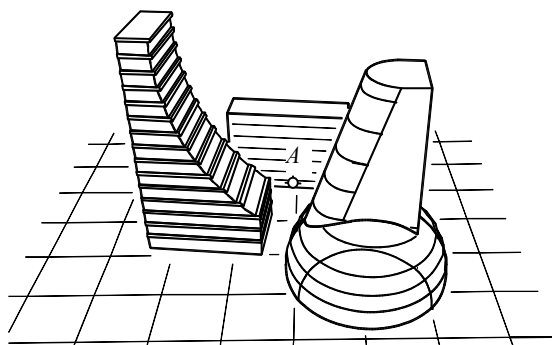


# 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИНСОЛЯЦИИ СРЕДСТВАМИ ПАКЕТА AUTOCAD

А.Л. Хейфец

Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ), Челябинск, Россия



The re are algorithms and examples of calculation of buildings and areas direct sunlighthing duration, based on AutoCAD and Architectural Desktop resources.

**Keywords:** computer graphics, geometrical simulation, insolation, AutoCAD.

## Аннотация

Приведены алгоритмы и примеры расчета продолжительности инсоляции, то есть прямого солнечного освещения зданий и площадей, основанные на возможностях пакетов AutoCAD и Architectural Desktop. Расчет может быть выполнен “в ручном” режиме работы пакета либо на основе программной реализации.

**Ключевые слова:** компьютерная графика, инсоляция, AutoCAD.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В архитектурном проектировании нормируется продолжительность инсоляции, то есть время, в течение которого солнечные лучи поступают внутрь помещения или попадают на площадку. Расчет продолжительности инсоляции для центральной зоны проводится на день равноденствия, то есть на 22 марта или 22 сентября. Расчетный день может быть задан другим в зависимости от широтной зоны. При расчете теплового перегрева этот день назначается в наиболее жаркий период. Погрешность расчета не должна превышать  $\pm 10$  минут [1,2].

Основным методом расчета остается графический, по номограммам – инсоляционным графикам. Трудоемкость этого метода существенно возрастает в задачах уплотнения существующей застройки кварталов, при проектировании зданий сложной пространственной формы.

Учитывая активное внедрение пакетов AutoCAD и Architectural Desktop в практику архитектурного проектирования, разработаны компьютерные алгоритмы расчета инсоляции, основанные на возможностях указанных пакетов.

## 2. СХЕМА РАСЧЕТА

Рассмотрим инсоляцию здания, перед которым создается ансамбль геометрически сложной формы (рис. 1). Модели зданий следует построить как solids-объекты [4]. Не следует воспроизводить второстепенные элементы формы. Расчетная точка А соответствует окну нижнего этажа. Стрелка на плане указывает направление на север.

При расчетах инсоляции принимается, что лучевой поток от солнца представляет собой в общем случае коническую поверхность с вершиной в точке наблюдения. В дни равноденствия лучевой конус вырождается в плоскость, проходящую через точку наблюдения. Ось лучевого конуса параллельна плоскости вида в направлении с запада на восток [2].

Для определения продолжительности инсоляции необходимо построить лучевые сечения, как результат пересечения лучевого конуса или лучевой плоскости с моделями зданий.

## 3. РАСЧЕТ ДЛЯ РАВНОДЕНСТВИЯ

Для расчета на день равноденствия плоскость XOY системы координат необходимо установить вдоль лучевой плоскости  $\gamma$  (рис. 2а). Для этого командой UCS начало координат мировой системы переносят в расчетную точку А, затем плоскость XOY поворачивают относительно оси X на угол  $\alpha = 90 - \varphi$ , где  $\varphi$  – широта местности. Для Москвы и Челябинска  $\varphi = 55^\circ$ ,  $\alpha = 35^\circ$ . Далее переходят на новый слой и командой Section выполняют сечение объектов-зданий плоскостью XOY. Замораживают слои, кроме текущего, и устанавливают вид на плоскость сечения (команда Plan).

Интервалы инсоляции определяют простановкой угловых размеров с вершиной в расчетной точке. В рассматриваемом примере (рис. 2б) выявлены три интервала инсоляции. Первый интервал ( $14^0$ ) не учитывается, так как не превышает одного часа и не выходит за часовой интервал от восхода (1 час соответствует  $15^0$ ). Третий интервал следует уменьшить на  $8^0$  для учета глубины расположения расчетной точки. Таким образом, в точке А имеет место прерывистая инсоляция, каждый из двух интервалов превышает 1 час. Общая продолжительность соответствует  $52^0$ , что

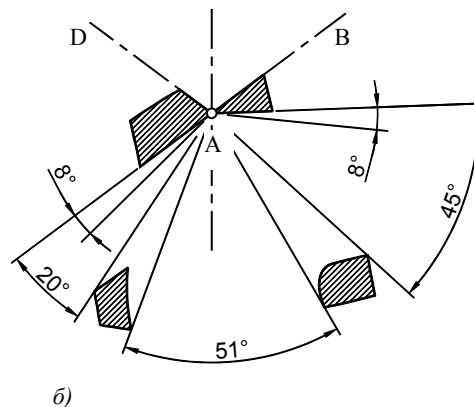
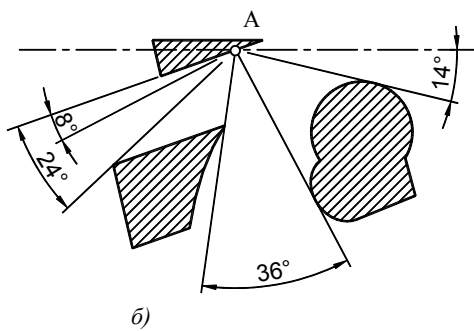
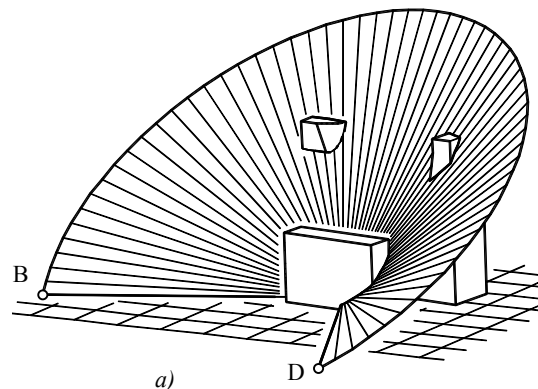
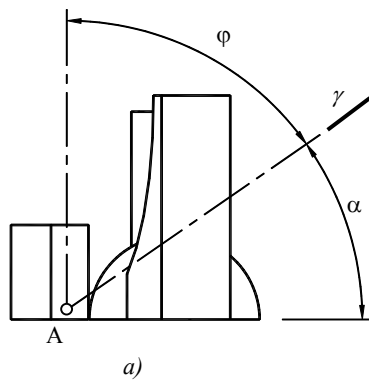


Рис. 2

Рис. 4

составляет 3 часа 28 минут (при допустимом значении прерывистой инсоляции 2.5 часа).

#### 4. РАСЧЕТ НЕ ДЛЯ РАВНОДЕНСТВИЯ

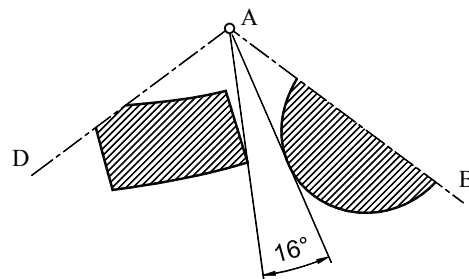
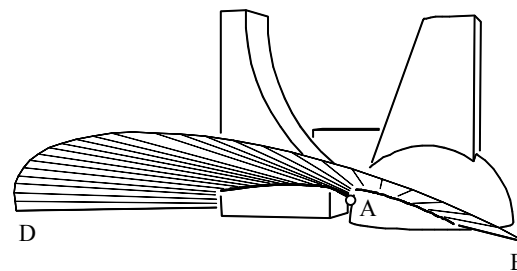
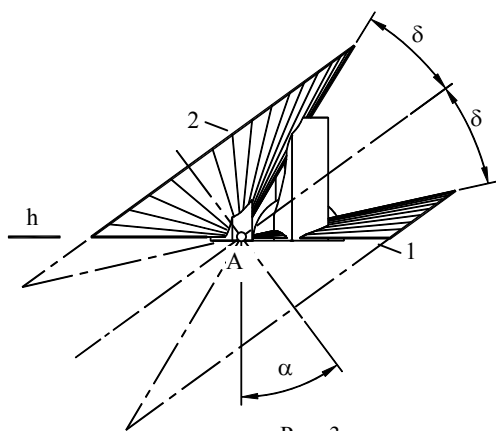


Рис. 3

Рис. 5

Если расчет выполняется не для равноденствия, то строят лучевой конус (рис. 3). Параметры конуса определяются углом  $\delta$  при его основании [1]. Ось конуса перпендикулярна плоскости равноденствия. “Угол склонения”  $\delta$  зависит от месяца  $m$ . Максимальное значение  $\delta = 23.5^\circ$  соответствует июню ( $m=6$ ) и декабрю ( $m=12$ ); для равноденствия (март  $m=3$  и сентябрь  $m=9$ ) угол  $\delta = 0$ , то есть конус вырождается в плоскость. Для других месяцев угол  $\delta$  можно рассчитать по формуле  $\delta = 23.5 \cdot \cos(\pi \cdot (1 - m/6))$ .

Для создания лучевого конуса<sup>1</sup> нужно на плане построить окружность (Circle) основания конуса, окружность должна охватывать все объекты. Командой Extrude выдавить окружность на высоту, приблизительно равную радиусу окружности. Задать угол выдавливания как дополнительный к углу  $\delta$ . Командой Solidedit, опция Shell, создать оболочку конической поверхности толщиной 0.1...0.0001. Установив вид слева (см. рис. 3), повернуть коническую оболочку для осенне-зимнего периода на угол

<sup>1</sup> Алгоритм для Acad 2004 (R16). Для младших версий нужно применить команду Cone.

$\alpha$ , конус 1, для весны и лета – на угол  $(\alpha + 180)^\circ$ , конус 2, где  $\alpha$  – угол наклона плоскости равноденствия (см. выше). Командой Slice удалить нижнюю (ночную) часть конической оболочки. Плоскость среза – плоскость горизонта  $h$  – должна проходить через вершину конуса. Окончательно сегмент конической оболочки нужно переместить (команда Move) так, чтобы вершина конуса совпала с расчетной точкой.

Дальнейшие действия рассмотрим на примере расчета для июня. Командой Interfere, указав в качестве объектов пересечения оболочку конуса и объекты-здания (рис. 4а), получим лучевые сечения как сегменты конической оболочки. Установим систему координат (ПСК) в плоскость равноденствия или в плоскость основания конуса, зададим вид в плане ПСК и командой Solprof получим проекции лучевых сечений и лучевого конуса на эту плоскость (рис. 4б). Срезы лучевого конуса определяют лучи, соответствующие моменту восхода, луч АВ, и заката, луч АД. Углы инсоляции находятся как в предыдущем примере. Для июня суммарный угол инсоляции в точке А за вычетом двух граничных углов по  $8^\circ$  составил  $100^\circ$ , что соответствует 6 час. 40 мин.

На рис. 5 показаны построения для декабря. Продолжительность инсоляции в расчетной точке заметно снизилась и составила  $16^\circ$  или 1 час. 4 мин.

## 5. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Наличие в AutoCAD'е языка программирования AutoLISP позволило автоматизировать расчет продолжительности инсоляции. В основу программы положен алгоритм определения лучевого сечения как линии пересечения

сетевых объектов. Для этого объекты должны быть представлены как сети типа Pface или 3Dmesh. Если объекты были созданы как Solids, то их можно конвертировать в сетевые: экспортировать в 3ds-формат, а затем импортировать 3ds-файл в новый рисунок. Требуемый уровень точности решения достигается повышением дискретности каркаса сетевой представления Solids. Сетевая форма позволяет выполнять расчеты для объектов из других пакетов (3DS MAX, ArchiCAD).

Параметры сетевых объектов программно извлекаются из базы данных рисунка [4]. Формируются списки, содержащие координаты вершин каждой грани объекта, лучевой конус также представляется в виде списка треугольных граней.

Для равноденствия определяются линии пересечения треугольных граней с плоскостью равноденствия. Алгоритм нахождения этой линии достаточно прост и известен. По каждой линии находится создаваемый гранью угловой сектор затенения. Суммирование линий дает лучевое сечение объекта, суммирование секторов затенения от всех граней дает сектор затенения, создаваемый объектом. Вычитание секторов затенения из полного светового дня дает искомую продолжительность инсоляции.

Расчет для общего случая, то есть для неравноденствия, выполняется по алгоритму нахождения линии пересечения конуса и треугольника на основе их центрального проецирования [3] на плоскость, перпендикулярную оси конуса (рис. 6а). Конус проецируется в окружность  $m$ , треугольная грань 1-2-3 проецируется в треугольник 1'-2'-3'. Дуга 4-5 окружности  $m$  является центральной проекцией линии пересечения  $n$  треугольника и конуса. Определение точек 4 и 5 как точек пересечения треугольника 1'-2'-3' с окружностью  $m$ , дает сектор затенения  $\beta$ , создаваемый треугольником 1-2-3. Расчет выполняется по проекции на плоскость равноденствия (рис. 6б).

Полное решение задачи для неравноденствия требует нахождения линий  $n$  пересечения треугольных граней и конуса. Для этого тем же методом центрального проецирования рассматривается пересечение всех треугольных граней объектов со всеми треугольными сегментами лучевого конуса, то есть решение сводится к многократному повторению задачи о нахождении линии пересечения двух треугольников.

## 6. ИНСОЛЯЦИЯ ПЛОЩАДИ

Программа позволяет рассчитать инсоляцию площадки и определить ее соответствие нормам. Это может быть поверхность земли или стены. Площадка представляется сеткой с заданной дискретностью, по узлам сетки перемещается расчетная точка инсоляции. В каждой точке определяется продолжительности инсоляции. Для получения наглядного результата точки маркируются, причем тип и цвет маркера зависит от уровня инсоляции.

На рис. 7 приведен результат расчета инсоляции для площадки некоторого микрорайона, Расчет является нормативным, то есть выполнен на день равноденствия. Несмотря на простую форму зданий, картина инсоляции окружающей площади весьма сложна. Темная область соответствует инсоляции менее одного часа, светлая штриховка – инсоляции до двух часов. В заштрихованных областях не допускается размещение других объектов (зданий, детских площадок...).

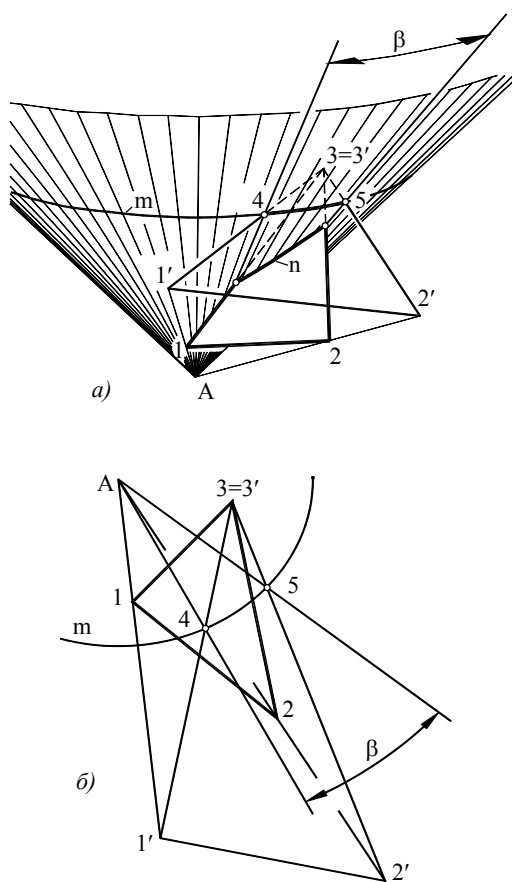


Рис. 6

На рис. 8а показан результат нормативного расчета инсоляции площади вокруг ансамбля сложной формы (см. рис. 1). Заштрихованная область соответствует продолжительности инсоляции до двух часов включительно. На рис. 8б показано, что на стене “старого” дома вследствие размещения новых зданий возникла небольшая область  $s$  недопустимо низкой инсоляции.

Имеющиеся в AutoCAD’е средства фотореалистичной визуализации в сочетании с возможностью программного управления источниками света позволяют в рамках разработанного программного приложения моделировать дневное движение тени и создавать анимации.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

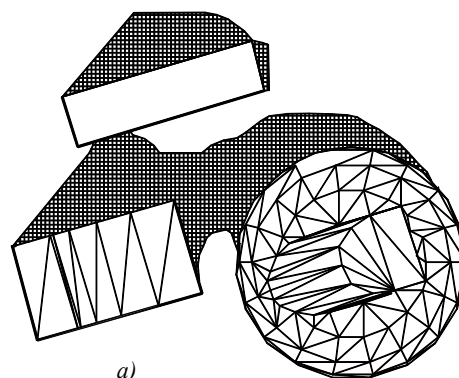
1. Архитектурная физика / Под ред. Н.В. Оболенского. М., Стройиздат. 1998. – 448 с.
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 "Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий".
3. Фролов С.А. Начертательная геометрия. М., Машиностроение. 1978 – 239 с.
4. Хейфец А.Л. Инженерная компьютерная графика. AutoCAD. Опыт преподавания и широта взгляда. М., Диалог МИФИ. 2002 – 432 с.

## Об авторе

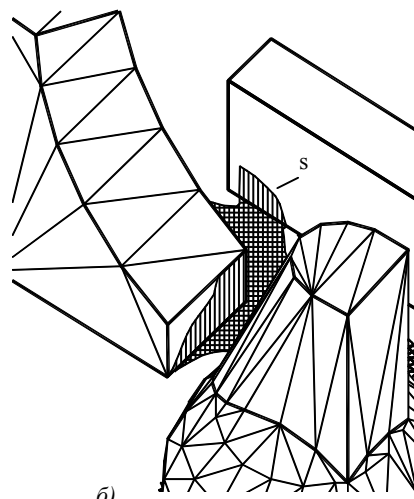
Alexander L. Kheyfets, Candidate of Technical Sciences, Professor.

E-mail: heifets@yandex.ru

Russia, 454080, Chelyabinsk, Prospekt Lenina, 76, South Ural State University, Graphics Department.



а)



б)

Рис. 8

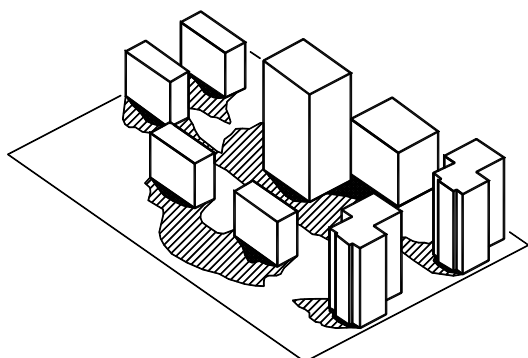
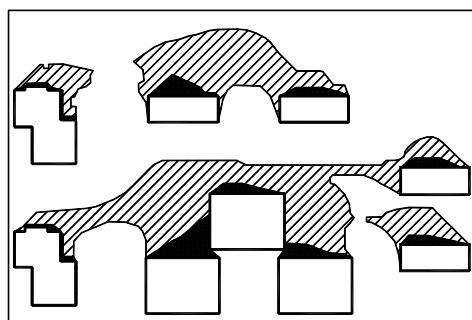


Рис.7