УДК 528.7;629.78;630.52:587/588

Е.А.НЕСТЕРЕНКО, *аспирант, eanes@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

E.A.NESTERENKO, *post-graduate student, eanes@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

СПОСОБ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЪЕМОК ОТВАЛОВ И СКЛАДОВ ЛАЗЕРНО-СКАНИРУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ

В процессе производства наземной лазерно-сканирующей съемки возникает необходимость минимизировать число точек стояния прибора для получения в результате сканирования с заданной точностью наиболее полной информации о снимаемом объекте. Представлена методика, учитывающая конфигурацию снимаемого объекта, его геометрические параметры, технические и метрологические параметры сканирующей системы. Методика позволяет заранее принять решение о расположении станций, их количестве и времени съемки.

Ключевые слова: метод съемки, оптимизация, лазерный сканер.

THE METHOD OF PLANNING OF STOCKPILES LASER SCANNER MINE SURVEYING

During the laser scanner surveying necessity of scan position number minimization arises to get complete information about an object. In this article the method is represented, that makes allowance of surveying object configuration, it dimensional characters, technical and metrological characteristics of a laser scanner. This method allows making decision about scan positions arrangement, number of scan positions and time of measurement.

Key words: method of survey, optimization, laser scanner.

В процессе съемки наземная лазерно-сканирующая система набирает информацию с высокой скоростью (до 500 тыс. точек в секунду), что дает значительные объемы в виде облака точек лазерных отражений, достигающего 15-30 млн точек, для каждой из которых лазерным сканером определены координаты X, Y, Z. Для оптимизации съемочного процесса была разработана методика, позволяющая минимизировать количество скан-позиций и, соответственно, исключить избыточную информацию за счет уменьшения количества точек лазерных отражений.

Сущность методики (способа) заключается в следующем. Перед съемкой предполагаемых объектов проводится рекогносцировка на местности на предмет определения конфигурации снимаемых объектов и классификационному отнесению к одной из правильных форм: к полусферической (рис.1, *а*), к призме с трапециидальным сечением, ограниченной с двух сторон усеченными конусами (рис.1, *б*), к Г-образной призме с трапециидальным сечением (рис.1, *в*). В результате снимаемые объекты приобретают конкретные геометрические параметры – форму, радиусы сферических и плоскостных поверхностей R, R_1, R_2, линейные размеры L, L_1, L_2 (рис.1). Классификация получена из анализа опыта съемки карьеров, состоящих из таких техногенных структур как отвалы, уступы, а также съемок в городских условиях зданий, сооружений.

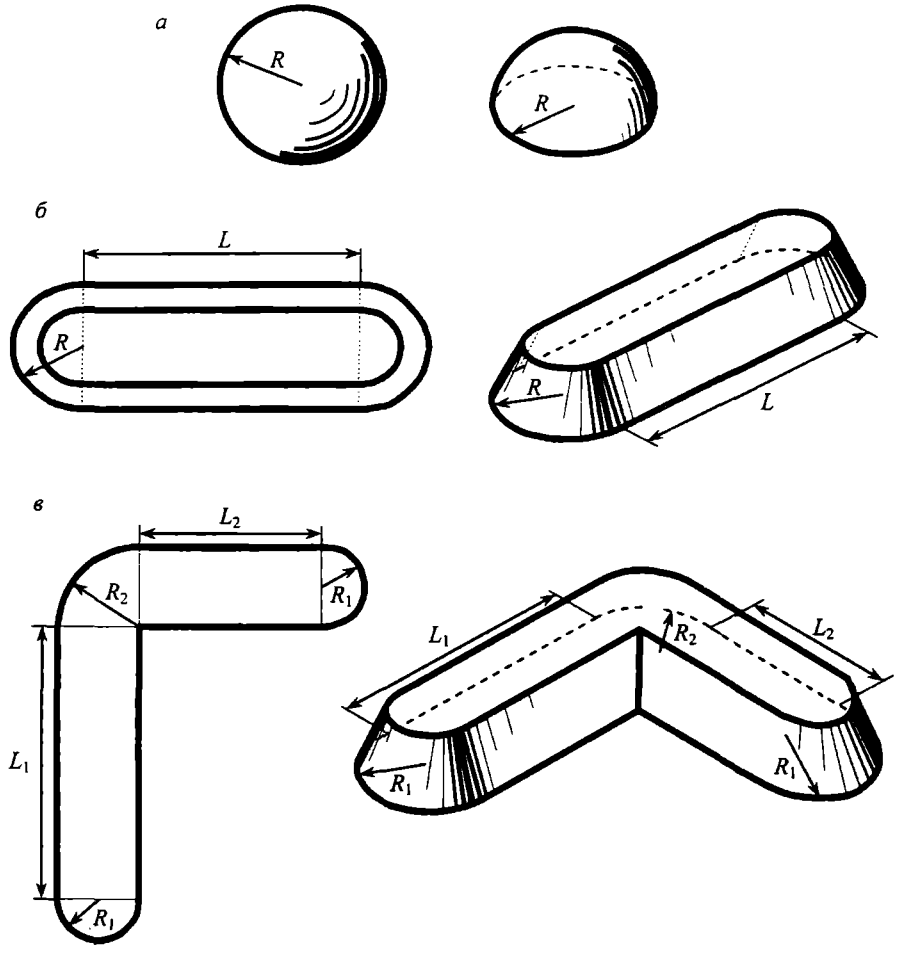


Рис.1. Правильные формы, к которым относят снимаемые объекты

После отнесения снимаемых объектов к одной из упомянутых форм производят на местности измерения обычной или лазерной рулеткой. Если объект является близким к полусферической форме (рис.1, *а*), то рулеточные измерения производят по нижнему контуру для получения периметра P. Отсюда получают параметр полусферы R, считая, что периметр P – это длина окружности: $R = P/2\pi$. Если объект вытянутый и классифицирован как призма с трапециидальным сечением (рис.1, *б*), то измеряют большую сторону объекта, из нее вычитают двойную длину меньшей стороны, получая параметр L. Взяв половину измеренной длины меньшей стороны, получим R. В случае объекта, близкого или совпадающего с Г-образной призмой с трапециидальным сечением (рис.1, *в*), необходимо измерить расстояния S_1 и S_2, D_1, откуда можно получить $R_1 = 0{,}5D_1$ (рис.2). Затем измерить расстояние от края объекта до начала предполагаемого закругления R_2. Используя сделанные измерения, получим значения $L_1 = S_1 - R_1 - R_2$; $L_2 = S_2 - R_1 - R_2$.

Геометрическими параметрами съемки лазерным сканером (ЛС) панорамного типа является радиус сферы r, равный максимальной дальности сканирования определенной модели ЛС (рис.3). Сфера образуется за счет углов поля охвата сканированием 360° в горизонтальной и 320° в вертикальной плоскостях.

На основе данных рулеточных замеров при рекогносцировке и геометрических параметров съемки лазерным сканером в камеральных условиях рассчитывается оптимальное число установок ЛС по соответствующим формулам:

• Полусферическая форма объекта (см. рис.1, *а*)

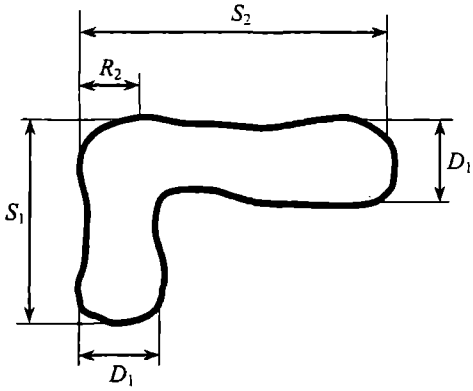


Рис.2. Замеры параметров снимаемого объекта

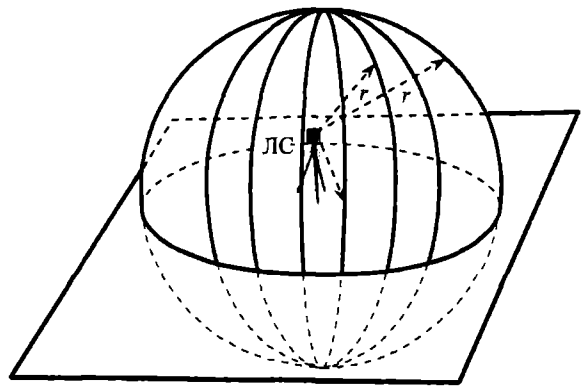


Рис.3. Геометрические параметры сканирования

$$n = \frac{\pi}{\arccos\dfrac{R^2 + (R+l)^2 - r^2}{2R(R+l)}}; \qquad (1)$$

где n – число станций; r – радиус сканирования; R – радиус объекта; l – расстояние между нижней границей объекта и точкой стояния сканера.

• Вытянутый объект в форме призмы с трапецеидальным сечением, ограниченной с двух сторон усеченным конусом (см. рис.1, *б*)

$$n = \frac{L}{\sqrt{r^2 - l^2}} + \frac{\pi}{\arccos\dfrac{R^2 + (R+l)^2 - r^2}{2R(R+l)}}, \qquad (2)$$

где R – радиус усеченного конуса; L – длина прямоугольной части объекта.

• Объект в виде Г-образной призмы с трапециидальным сечением (см. рис.1, *в*)

$$n = \frac{L_1}{\sqrt{r^2 - l^2}} + \frac{L_2}{\sqrt{r^2 - l^2}} + \frac{\pi}{4\arccos\dfrac{R_2^2 + (R_2+l)^2 - r^2}{2R_2(R_2+l)}} + \frac{\pi}{\arccos\dfrac{R_1^2 + (R_1+l)^2 - r^2}{2R_1(R_1+l)}}, \qquad (3)$$

где R_1 – радиус усеченного конуса; R_2 – радиус поворота; L_1 – длина большей прямоугольной части объекта; L_2 – длина меньшей прямоугольной части объекта.

В формулах (1)-(3) в качестве радиуса зоны охвата съемкой ЛС подставляется либо максимальная дальность прибора, либо дальность, соответствующая определенной погрешности съемки. Величина средней квадратической ошибки (или погрешности) съемки находится в степенной зависимости от дальности действия сканера и свойств отражающей поверхности, которая сканируется ЛС. Чем больше радиус сканирования, тем больше погрешность съемки, и чем отражающая способность больше, тем меньше погрешность съемки. Используя эту зависимость, можно априори на стадии планирования задавать требуемую точность съемки, подставляя в формулы (1)-(3) соответствующий заданной точности радиус зоны охвата съемкой лазерным сканером.

На рис.4 представлен график зависимости погрешности съемки $m_{ЛС}$ от дальности сканирования r и отражающей способности поверхности сканирования (10 % – «черная» поверхность, 20 % «темно-серая», 100 % – «белая»). График взят из технического паспорта лазерно-сканирующей системы Imager 5006. В реальности при рекогносцировке местности решается вопрос, какой кривой графика воспользоваться, чтобы задать требуемую точность лазерно-сканирующей съемки. Так, при планировании съемки карьеров чаще всего требуемая точность съемки устанавливается по графику кривой, соответствующего «темно-серой» поверхности (отражающая способность 20 %), при планировании съемок в городских условиях снимаемые объекты мо-

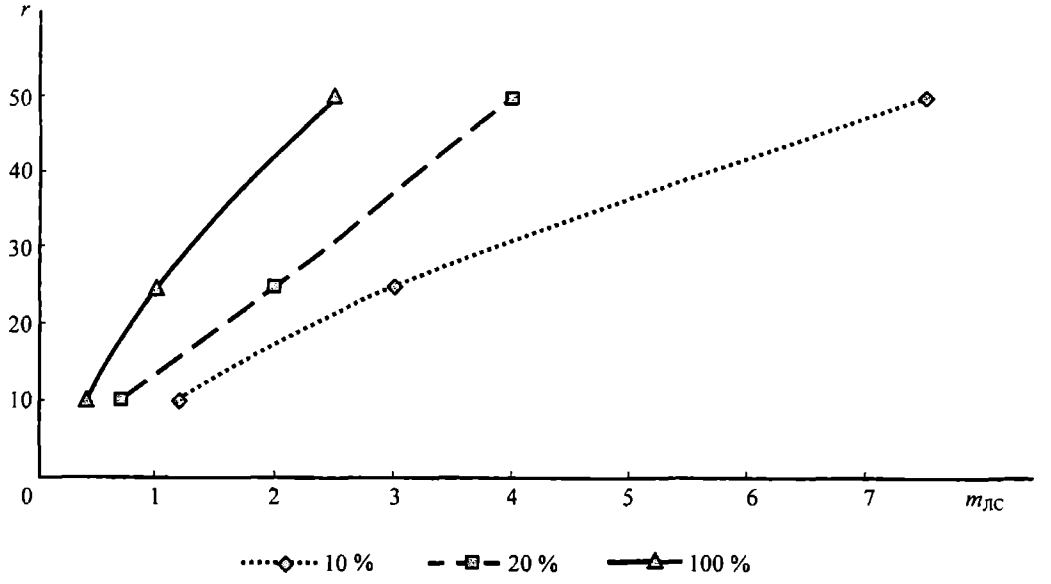


Рис.4. Графики зависимости величины погрешности от дальности действия сканера и свойств отражающей поверхности

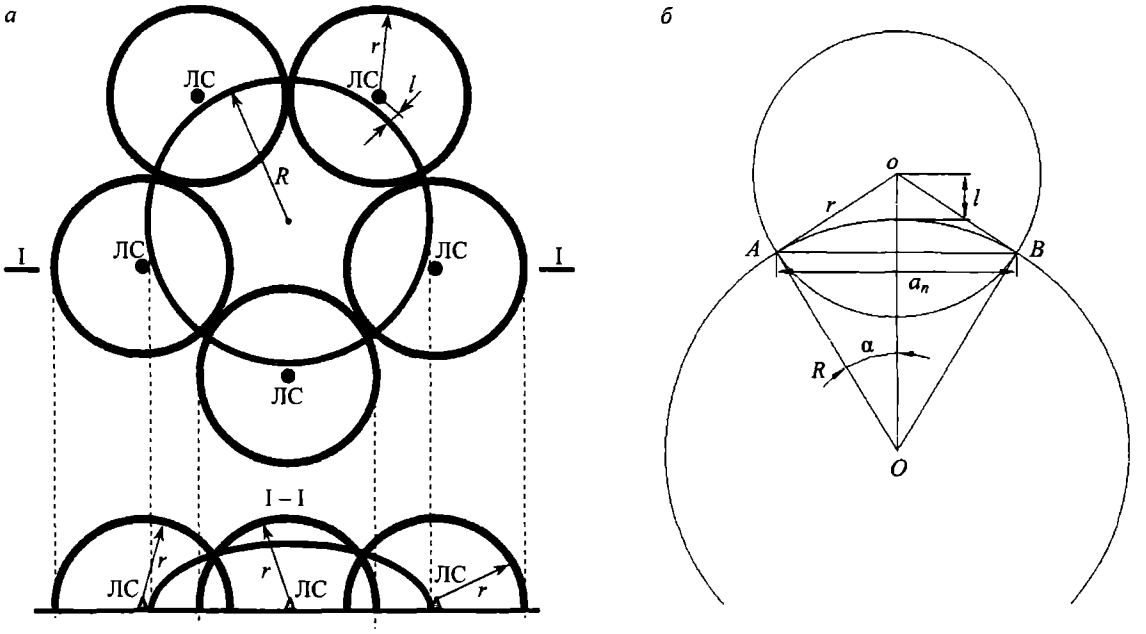


Рис.5. Расстановка сканерных станций вокруг объекта (*а*) и их взаимное расположение (*б*)

гут быть либо с «черной», либо с «темно-серой», либо с «белой» поверхностями, либо с сочетанием этих поверхностей. В случае сочетания поверхностей с различными отражающими способностями требуемая точность съемки, по которой устанавливается радиус сканирования, устанавливается путем интерполяции между соответствующими кривыми графика, представленного на рис.4.

Формула (1) для определения оптимального количества установок ЛС была получена следующим образом. На рис.5, *а* показана схема взаимного расположения объекта съемки (в виде формы, близкой к полусфере) и зон охвата в точках установки лазерного сканера на расстоянии *l*. Местоположение точек установки ЛС определялось, исходя из того, чтобы дальности съемки

(окружности радиуса r) полностью перекрывали границу объекта, т.е. окружность радиуса R. И уже отсюда определялось количество точек установок ЛС относительно контура снимаемого объекта.

Геометрическая взаимосвязь между параметрами снимаемого объекта R, зоной охвата съемкой лазерным сканером r и расстоянием точки установки ЛС l показана на рис.5, *б*. На этой схеме a_n – общая хорда для окружности $O(R)$, являющейся снимаемым объектом, и окружности $o(r)$, обозначающей дальность действия ЛС, кроме того, это сторона многоугольника, вписанного в окружность $O(R)$. Такая геометрическая связь между параметрами снимаемого объекта и зоны съемки ЛС через общую хорду будет на каждой стороне вписанного многоугольника и таким образом будет охвачен съемкой весь объект по его периметру без разрывов. Так как a_n – сторона многоугольника, вписанного в окружность $O(R)$, то число сторон

$$n = \frac{2\pi}{2\alpha} = \frac{\pi}{\alpha}, \qquad (4)$$

где 2α – центральный угол вписанного многоугольника (опирается на сторону a_n).

Из треугольника oOA по теореме косинусов имеем:

$$r^2 = R^2 + (R+l)^2 - 2R(R+l)\cos\alpha, \qquad (5)$$

откуда

$$\alpha = \arccos\frac{R^2 + (R+l)^2 - r^2}{2R(R+l)}. \qquad (6)$$

При подстановке формулы (6) в формулу (4) получаем искомое выражение (1), определяющее оптимальное количество установок лазерного сканера относительно снимаемого объекта, близкого по форме к полусфере.

Таким образом, получаем число станций, необходимое для того, чтобы объект при сканировании был полностью отснят по нижней границе.

Формула (2) для определения оптимального количества установок ЛС (n) для охвата съемкой объекта, имеющего форму, близкую к призме с трапециидальным сечением, ограниченной с двух сторон усеченными конусами (см. рис.1, *а*), выведена, исходя из тех же принципов, что и формула (1); геометрически нижняя граница данного тела имеет вид прямоугольника и двух полуокружностей. По аналогии с формулой (2) была выведена формула (3), только здесь во внимание брались прямоугольник с наибольшей стороной L_1, прямоугольник с наибольшей стороной L_2, две половины окружности радиуса R_1 и четверть окружности радиуса R_2 (см. рис.1, *в*).

Главным результатом изложенного способа планирования лазерно-сканирующей съемки является сведение к минимуму объема съемочных работ при полном охвате съемкой объекта. Такая оптимизация имеет более высокую степень объективности по сравнению с применяемыми в настоящее время способами планирования съемок. Это достигается за счет учета таких факторов, как геометрические параметры объекта съемки, технические и метрологические параметры сканирующей системы. При этом учет метрологии лазерно-сканирующей системы в общей схеме оптимизации позволяет запланировать съемку с заранее заданной погрешностью.