



Кафедра землеустройства

## **Б1.О.23 ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ФОТОГРАММЕТРИЯ**

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к расчетно-графической работе**

на тему: «Расчет основных параметров аэрофотосъемки участка местности»

Направления подготовки

**2.21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование**

Профили подготовки

Геодезия

Квалификация (степень) выпускника

**Бакалавр**

Уфа 2018

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета природопользования и строительства (протокол № от \_\_\_\_\_ г.)

Составитель: к.с.-х.н., доцент

кафедры землеустройства

Абдульманов Р.И.

Рецензент:

д.с.-х., профессор кафедры КНиГ

Миндибаев Р.А.

Ответственный за выпуск:

зав. кафедрой землеустройства,

к.с.-х.н., доцент

Э.И. Галеев

## **Расчет основных параметров аэрофотосъемки участка местности**

**Задание:** рассчитать основные параметры плановой аэрофотосъемки участка местности, заданного по карте, и составить схему аэрофотосъемки.

**Цель работы:** ознакомиться с плановой аэрофотосъемкой и получить навыки в расчете основных параметров и составлении схемы аэрофотосъемки.

**Материальное обеспечение:** учебная топографическая карта масштаба 1:100000.

### **1 Общие сведения**

Развитие отраслей народного хозяйства страны требуют создания большого количества топографических и специальных карт. Проектирование сооружений, промышленных и сельскохозяйственных комплексов выполняется по крупномасштабным картам.

Наиболее быстрым, экономически выгодным, производительным и достоверным способом создания топографических карт и планов, фотокарт, фотопланов, являющихся основой землеустроительных планов, является топографическая аэрофотосъемка.

При проведении аэрофотосъемки получают аэрофотоснимки местности. Использование аэрофотоснимка позволяет фотограмметрическими и стереофотограмметрическими методами составлять топографические карты и планы. Аэрофотосъемка выполняется с самолета АН-30 для мелкомасштабного фотографирования (от 50000 и мельче), с ИЛ-14 для среднемасштабного фотографирования (от 1:10000 – 1:50000), с АН-2 и вертолета К-26 для крупномасштабного фотографирования (от 1:10000 и крупнее).

Фотографирование местности с самолета производится топографическими аэрофотоаппаратами при отвесном положении оптической оси ( $\alpha < 3^\circ$ ).

Синхронно с аэрофотоаппаратом работает радиовысотомер, измеряющий высоту фотографирования каждого аэроснимка, и статоскоп, регистрирующий колебания самолета по высоте.

Для производства аэрофотосъемочных работ на основании технического задания и договора составляется технический проект, в котором определяются масштабы аэрофотосъемки и создаваемой топографической карты, тип и фокусное расстояние аэрофотоаппарата, применение спецприборов, календарные сроки производства аэрофотосъемки и состояние местности района работ.

Технический проект имеет следующие основные разделы: исходные данные, картограмма объекта, расчет основных параметров аэрофотосъемки, графический проект на карте, пояснительная записка.

Технический проект является основным документом, определяющим экономические показатели: объем работ, затраты летного времени, производительность аэрофотосъемки, потребность в основных материалах, договорная стоимость аэрофотосъемочных работ.

Проект составляется на рабочей карте, масштаб которой в 3-5 раз мельче масштаба аэрофотосъемки. На карту наносят границы съемочного участка и оси маршрутов. Границы съемочного участка должны совпадать с рамками трапеций, а оси маршрутов должны быть параллельны между собой и параллельны или параллелям, или меридианам. Аэрофотосъемку ведут маршрутами максимальной длины, так как в этом случае уменьшается количество зарамочных аэрофотоснимков, число заходов самолета с маршрута на маршрут, а, следовательно, уменьшается съемочное время, объем фотографических, геодезических и фотограмметрических работ.

Самолет пролетает по осям маршрутов и через определенные интервалы времени, т.е. через определенные расстояния, производится фотографирование местности (Рис. 1)

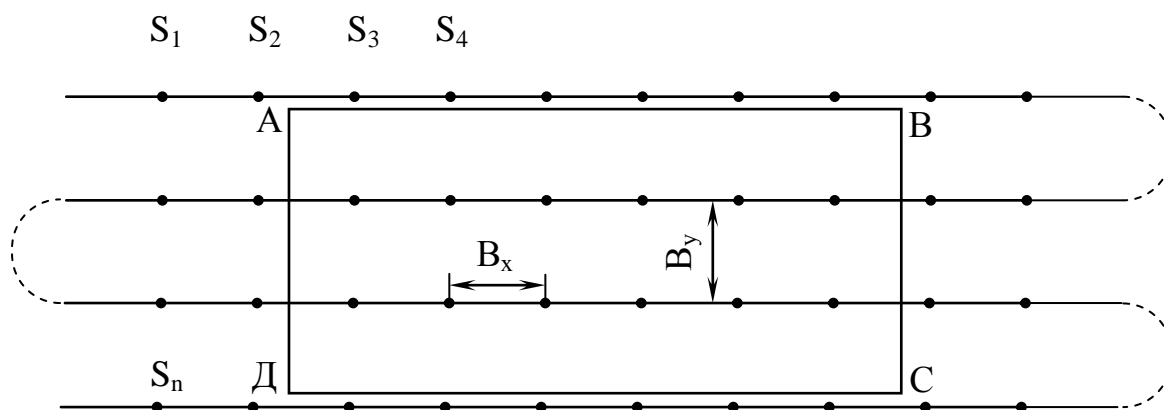


Рис. 1

ABCD – участок аэрофотосъемки;

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  – центры аэрофотоснимков на осях маршрутов;

$B_x$  – расстояние между центрами аэрофотоснимков или базис фотографирования на местности;

$B_y$  – расстояние между осями маршрутов на местности или маршрутное расстояние.

Расстояние между соседними точками фотографирования устанавливается с таким расчетом, чтобы аэрофотоснимки в маршруте получались с перекрытием. Тогда, на каждом последующем аэрофотоснимке частично изобразится площадь, полученная на предыдущем аэрофотоснимке (Рис. 2).

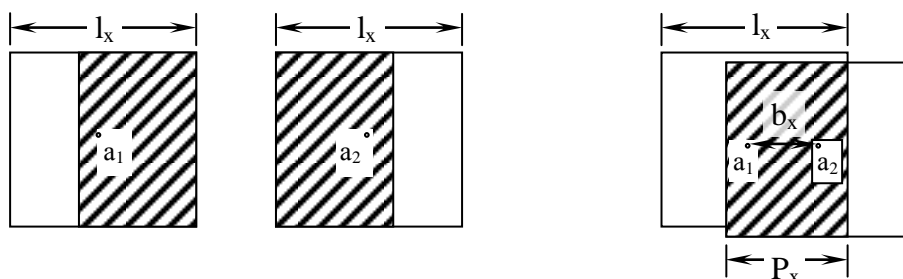


Рис. 2

$b_x$  – базис фотографирования на аэрофотоснимке;

$P_x$  – продольное перекрытие аэрофотоснимков.

Перекрытие смежных по маршруту аэрофотоснимков называется продольным перекрытием и задается в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Продольное перекрытие		
Масштаб аэрофотосъемки	Расчетное	Минимальное
1:10000 – 1:24000	$62+38 \cdot h/H$	56
1:25000 – 1:34000	$80+20 \cdot h/H$	78
1:35000 и мельче	$90+10 \cdot h/H$	89

Расстояние между соседними маршрутами устанавливается так, чтобы между ними тоже получилось перекрытие. Оно называется поперечным (рис. 3) и задается в соответствии с таблицей 3.

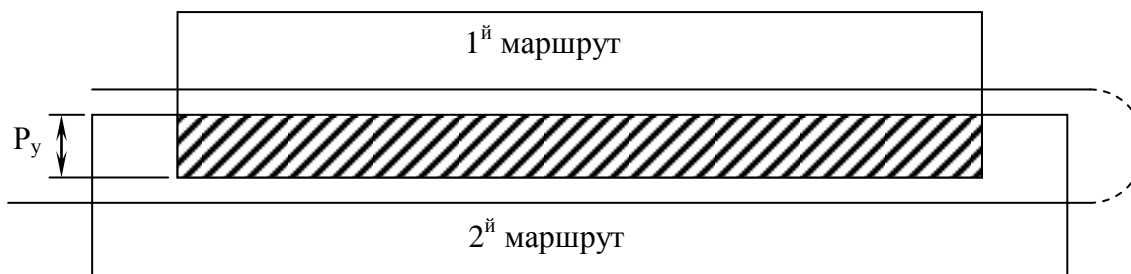


Рис. 3

$P_y$  – поперечное перекрытие

Таблица 3

Масштаб аэрофотосъемки	Поперечное перекрытие		
	расчетное	минимальное	максимальное
мельче 1:25000	$30+70 \cdot h/H$	20	+10
1:25000 – 1:10000	$34+66 \cdot h/H$	20	+15
крупнее 1:10000	$40+60 \cdot h/H$	20	+20

Оси крайних маршрутов намечаются по границам съемочного участка. Расстояние между смежными маршрутами  $V_y$  устанавливается такое, чтобы обеспечить заданное поперечное перекрытие.

Оси маршрутов прокладываются за границы съемочного участка при продольном перекрытии равном 60% не менее, чем на один базис фотографирования.

Расчет аэрофотосъемочных работ начинают после определения границ съемочного участка. Рассчитывают все основные параметры аэрофотосъемки, которым относятся:

- длина участка съемки  $L_x$ ;
- ширина участка съемки  $L_y$ ;
- высота средней плоскости участка  $A_{ср}$ ;
- максимальное превышение над средней плоскостью участка  $h_{max}$ ;
- масштаб аэрофотосъемки  $1/m$ ;
- фокусное расстояние аэрофотоаппарата  $f_k$ ;
- размер (формат) кадра аэрофотоаппарата  $l_x \times l_y$ ;
- высота фотографирования над средней плоскостью участка  $H_{ср}$ , абсолютная высота фотографирования  $H_{абс}$  и высота полета самолета над аэродромом  $H_a$ ;
- продольное и поперечное перекрытия аэрофотоснимков  $P_x$  и  $P_y$ ;

- продольный и поперечный базисы фотографирования в масштабе аэрофотоснимка  $b_x$  и  $b_y$  и на местности  $B_x$  и  $B_y$ ;
- количество аэрофотосъемочных маршрутом  $K$ ;
- количество аэрофотоснимков в одном маршруте  $n$  и на весь участок  $N$ ;
- требуемое количество аэрофотоплёнки  $l$ ;
- интервал между экспозициями  $T$ ;
- максимальная допустимая выдержка  $\tau$ ;
- длина всех маршрутов в километрах  $L$ ;
- расчетное съёмочное время  $T_s$ ;
- площадь местности, покрываемая одним аэрофотоснимком  $S$ ;
- площадь фотографируемого участка местности  $S_{уч}$ .

Масштаб аэрофотосъёмки, размер кадра аэрофотоаппарата, его фокусное расстояние и съёмочная скорость самолета являются исходными параметрами. Остальные параметры определяются по карте и рассчитываются.

## 2 Методические указания по расчету аэрофотосъёмки

**Исходные данные.** В данной работе масштаб аэрофотосъёмки задается для каждого студента и рассчитывается по формуле  $1:m=1:(9000+1000*K)$ , где  $K$  – последняя цифра в зачетной книжке. Съёмочная скорость самолета принимается равной 200 км/час, фокусное расстояние аэрофотоаппарата, формат кадра одинаковы для всех вариантов и равны 100 мм, 180×180 мм соответственно.  $P_x$ ,  $P_y$  рассчитываются по формулам,  $L_x$  и  $L_y$  задается по вариантам. Съёмочный участок указывается каждому студенту на выдаваемой топографической карте. Отметка аэродрома  $A_A$ ,  $h$  – снимается с карты.

Номер варианта	$L_x$ , км	$L_y$ , км
1	35	23
2	34	24
3	33	22
4	31	23
5	32	24
6	30	23
7	28	22
8	29	21
9	30	20
10	31	19

## 2.1 Методика расчета

1. На топографической карте обозначают границы участка съемки тушью черного цвета и составляют картограмму объекта синим цветом.

2. На карте находят самую высокую и самую низкую точки участка аэрофотосъемки, определяют их отметки  $A_{\max}$  и  $A_{\min}$  и вычисляют высоту средней плоскости участка (рис. 4):

$$A_{\text{ср.пл.}} = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2}, \quad (1)$$

а также максимальное превышение над средней плоскостью участка:

$$h_{\max} = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2}, \quad (2)$$

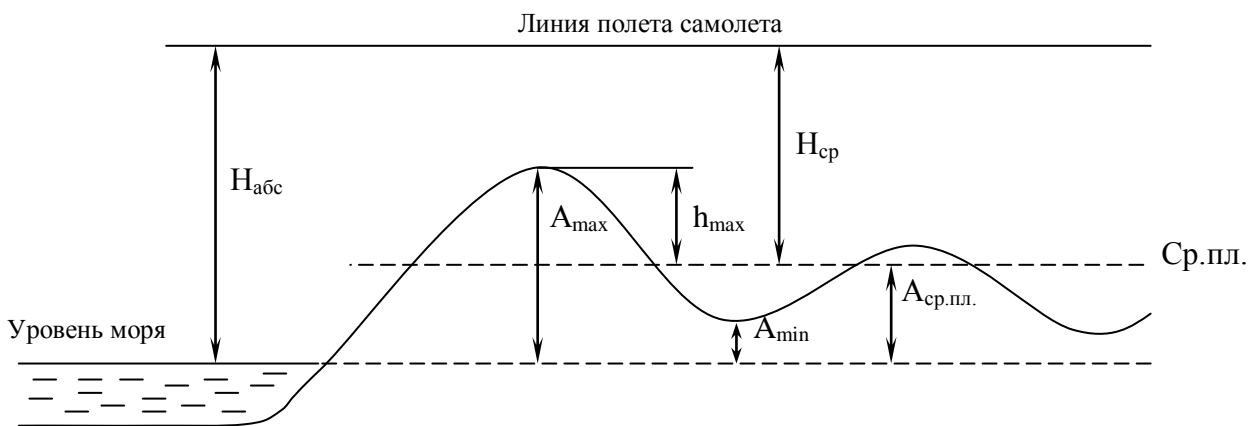


Рис. 4

3. Вычисляют высоту фотографирования над средней плоскостью участка:

$$H_{\text{ср}} = f_k * m, \quad (3)$$

абсолютную высоту фотографирования

$$H_{\text{абс}} = H_{\text{ср}} + A_{\text{ср.пл.}}, \quad (4)$$

высоту полета самолета над аэродромом

$$H_A = H_{\text{абс}} - A_A, \quad \text{где} \quad (5)$$

$A_A$  – отметка аэродрома, которую берут с топографической карты.

4. Рассчитывают продольное и поперечное перекрытия аэрофотоснимков:

$$P_x = 62\% + 38\% \frac{h_{\max}}{H_{\text{ср}}}, \quad (6)$$



$$P_y = 34\% + 66\% \frac{h_{\max}}{H_{\text{ср}}}, \quad (7)$$

Формула продольного и поперечного перекрытия задается в зависимости от масштаба аэрофотосъемки (см. таблицы 2, 3).

5. Вычисляют продольный и поперечный базисы фотографирования в масштабе аэрофотоснимка:

$$b_x = \frac{l_x (100\% - P_x)}{100\%}, \quad (8)$$

$$b_y = \frac{l_y (100\% - P_y)}{100\%}, \quad (9)$$

и на местности

$$B_x = b_x * m, \quad (10)$$

$$B_y = b_y * m, \quad (11)$$

6. Определяют по карте длину участка  $L_x$  и ширину участка  $L_y$ .

7. Вычисляют количество маршрутов на участок:

$$K = \frac{L_y}{B_y} + 1, \quad (12)$$

количество аэрофотоснимков в маршруте

$$n = \frac{L_x}{B_x} + 3, \quad (13)$$

И общее количество аэрофотоснимков на участок

$$N = n * K, \quad (14)$$

При расчетах величин  $K$  и  $n$  полученные результаты округляют до целых чисел.

8. Определяют требуемое количество погонных метров аэрофото пленки принимая расстояние между кадрами 1 см:

$$l = (l_x + 1) * N, \quad \text{где} \quad (15)$$

$l_x$  – размер кадра по оси  $x$ .

На каждую катушку аэропленки предусматривается 4 метра технологических отходов.

9. Вычисляют интервал между экспозициями в секундах:

$$T = \frac{B_x}{W}, \quad (16)$$

10. Определяют максимально допустимую выдержку в секундах:

$$\tau = \frac{\delta * H_{cp}}{f_k * W}, \quad (17)$$

$\delta$  - допустимая величина "смаза" изображения. Для расчета ее принимают равной 0,02 мм.

$W$  – съемочная скорость самолета.

11. Определяют длину всех маршрутов с учетом обеспечения границ:

$$L = K(L_x + 3B_x), \quad (18)$$

12. Определяют расчетное съемочное время:

$$T_s = \frac{L}{W}, \quad (19)$$

Расчетное съемочное время увеличивают, т.к. надо долететь до съемочного участка и обратно, затратить время на заходы с маршрута на маршрут, а также для аэросъемочных промеров.

13. Определяют площадь местности, покрываемую одним аэрофотоснимком:

$$S = l_x * l_y * m^2, \quad (20)$$

14. Определяют площадь всего фотографируемого участка

$$S_{уч} = L_x * L_y, \quad (21)$$

15. На рабочую карту (в нашем примере это топографическая карта масштаба 1:100000) наносят схему аэрофотосъемки участка местности, на которой показывают границы участка аэрофотосъемки черной тушью, оси аэрофотосъемочных маршрутов и центры аэрофотоснимков красной тушью.

Оси крайних маршрутов должны проходить по южной и северной границам съемочного участка. Расстояние между осями маршрутов должно быть равно базису фотографирования на местности. Может оказаться, что оси маршрутов расположатся за границей участка. В таком случае необходимо сделать одинаковое смещение осей относительно границ участка. Внутри участка оси маршрутов показываются сплошной красной линией, а за границей участка пунктиром. Центры аэрофотоснимков наносят по осям маршрутов, располагая их друг от друга на расстоянии базиса фотографирования на местности  $B_x$  и с учетом обеспечения границ участка фотоизображением не менее одного базиса. Если за одну из границ получится более одного базиса, то надо центры аэрофотоснимков одинаково сместить относительно границ участка. Центры

аэрофотоснимков показывают квадратиками 2×2 мм с точкой в центре квадрата.

На схеме накладкой двух смежных аэрофотоснимков вдоль маршрута и между маршрутами показывают продольное и поперечное перекрытия, а также обозначают продольный и поперечный базисы фотографирования. На схеме подписывают масштаб схемы и масштаб аэрофотосъемки.

После того, как схема аэрофотосъемки будет готова, приступают к выполнению аэрофотосъемки.

Перед вылетом на аэрофотосъемку бортоператор сверяет по московскому времени часы аэрофотоаппарата и фоторегистраторов и проверяет работу всей аэрофотосъемочной аппаратуры.

Самолет после взлета набирает высоту и направляется на съемочный участок. Пролетая вдоль первого маршрута, бортоператор корректирует высоту полета, определяет требуемые выдержку и диафрагму, включает радиовысотомер и статоскоп, гиросtabilизирующую установку и командный прибор, затем делает пробные аэрофотоснимки, которые отделяются от остальных аэрофотоснимков холостой перемоткой фотопленки и компостером. Штурман-аэрофотосъемщик определяет с помощью бортовых визиров угол сноса и путевую скорость самолета в прямом и обратном направлении по маршруту.

Угол сноса определяется для того, чтобы развернуть самолет против ветра и повернуть аэрофотоаппарат в аэрофотоустановке в обратном направлении, чтобы стороны аэрофотоснимка были параллельны и перпендикулярны направлению маршрута.

Путевую скорость самолета определяют для того, чтобы правильно установить интервал времени между моментами фотографирования на шкале интервалометра. После окончания всех измерений и расчетов в прямом и обратном направлениях самолет выполняет заход на ось первого маршрута.

Бортоператор устанавливает на шкале командного прибора интервал времени между экспозициями, ориентирует аэрофотоаппарат в аэрофотоустановке на угол сноса и по команде штурмана в расчетной точке включает аэрофотоаппарат. В течение полета по маршруту он постоянно контролирует угол сноса и интервал между экспозициями, периодически записывает температуру воздуха за бортом самолета, следит за работой спецприборов. По окончании аэрофотосъемочного маршрута выключает аэрофотоаппарат и перематывает вхолостую один кадр на аэрофотоаппарате и фоторегистраторе радиовысотомера. После разворота и выхода на второй маршрут бортоператор поворачивает аэрофотоаппарат в аэрофотоустановке на угол сноса, а на командном приборе устанавливает интервал, соответствующий обратному направлению полета и вновь по команде штурмана включает аэрофотоаппарат. Аналогично поступают при аэрофотосъемке следующих маршрутов.

## 2.2 По данной расчетно-графической работе студент должен сдать:

1. Расчеты основных параметров аэрофотосъемки.
2. Схему аэрофотосъемки участка местности.

Оформление работы должно быть выполнено в соответствии со стандартом организации «Самостоятельная работа студента. Оформление текста рукописи». СТО 0493582-003-2010.

## 3 Пример расчета плановой аэрофотосъемки.

### Исходные данные:

Номенклатура участка аэрофотосъемки – N-39-48	
Масштаб аэрофотосъемки (1:m)	1: 20000
Фокусное расстояние аэрофотоаппарата ( $f_k$ )	100 мм
Формат кадра аэрофотоаппарата ( $l_x \times l_y$ )	180×180 мм
Нормативное продольное перекрытие ( $P_{x \text{ норм}}$ )	60%
Съемочная скорость самолета (W)	200 км/час

### Расчет аэрофотосъемочных работ

1.  $A_{\max} = 41,2 \text{ м}, A_{\min} = 29,6 \text{ м}$

$$A_{\text{ср.пл.}} = \frac{41,2 + 29,6}{2} = 35,4 \text{ м}$$

$$h_{\max} = \frac{41,2 - 29,6}{2} = 5,8 \text{ м}$$

2.  $H_{\text{ср}} = 10 \text{ см} * 20000 = 200000 = 2000 \text{ м}$

$$H_{\text{абс}} = 2000 \text{ м} + 35,4 \text{ м} = 2035,4 \text{ м}$$

$$H_a = 2035,4 \text{ м} - 56,7 \text{ м} = 1978,7 \text{ м}$$

3.  $P_x = 62\% + 38\% * \frac{5,8\text{м}}{2000\text{м}} = 62,11 = 62\%$

$$P_y = 35\% + 65\% * \frac{5,8\text{м}}{2000\text{м}} = 35,19 = 35\%$$

4.  $b_x = \frac{180(100 - 62)}{100} = 68,4 \text{ мм}$

$$b_y = \frac{180(100 - 35)}{100} = 117,0 \text{ мм}$$

$$B_x = 6,84 * 20000 = 1368 \text{ м}$$

$$B_y = 11,7 * 20000 = 2340 \text{ м}$$

$$5. L_x = 16,6 \text{ км}$$

$$L_y = 9,3 \text{ км}$$

$$6. K = \frac{9,3}{2,340} + 1 = 3,97 + 1 = 5 \text{ маршр.}$$

$$n = \frac{16,6}{1,368} + 3 = 12,13 + 3 = 16 \text{ кадр.}$$

$$N = 16 * 5 = 80 \text{ кадр.}$$

$$7. l = 0,19 * 80 = 15,2 \text{ м}$$

$$8. T = \frac{1,368 \text{ км}}{200 \text{ км/ч}} = 24,6 \text{ сек.}$$

$$9. \tau = \frac{0,02 \text{ м} * 2 \text{ км}}{100 \text{ м} * 200 \text{ км/ч}} = \frac{1}{138} \text{ ''}$$

$$10. L = 5(16,6 + 3 * 1,368) = 103,52 = 104 \text{ км}$$

$$11. T_S = \frac{104 \text{ км}}{200 \text{ км/ч}} = 31,2 \text{ мин.}$$

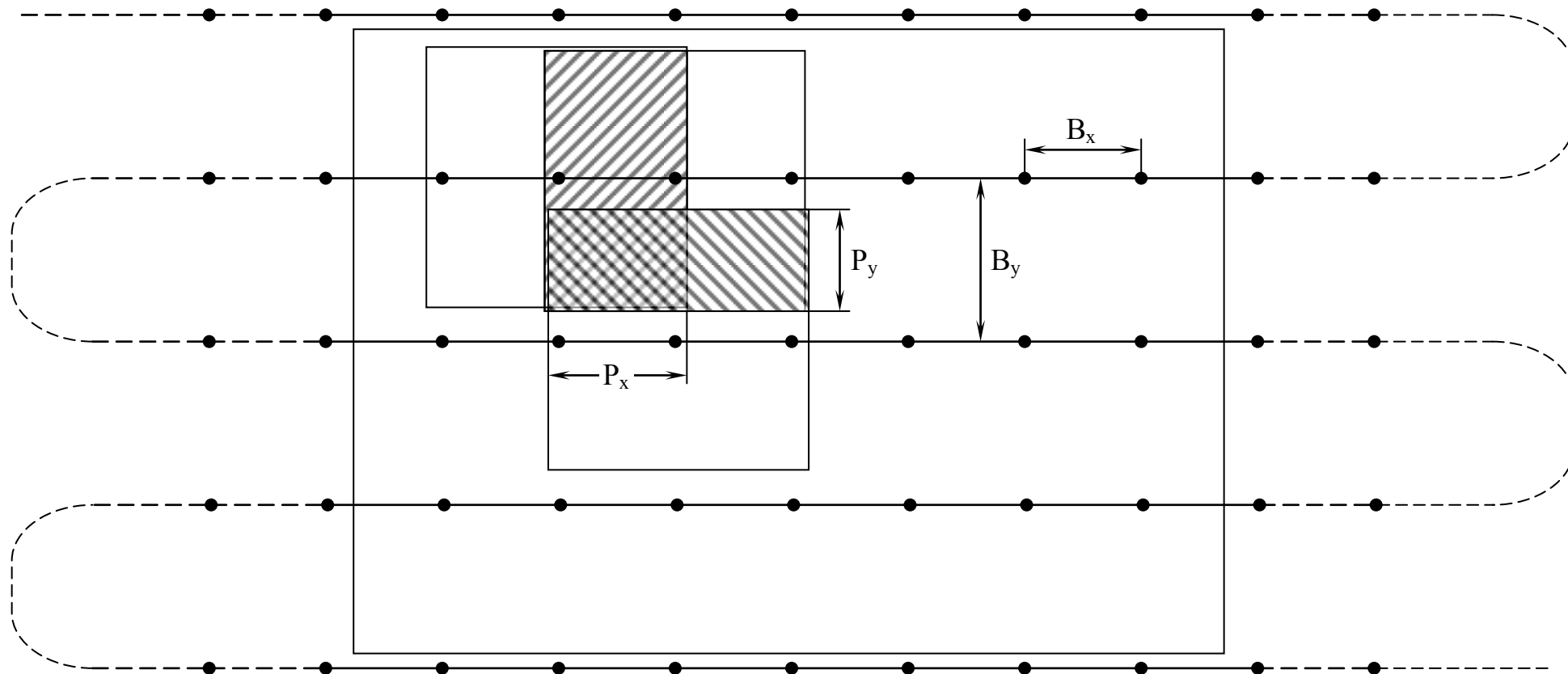
$$12. S = 18^2 \text{ см} * 20000^2 = 12,96 \text{ км}^2$$

$$S_{\text{уч}} = 16,6 * 9,3 = 154,38 \text{ км}^2$$

# Бланк технического проекта

Обозначение параметров	Величина параметров	Единицы измерения
1:m	1:20000	сантиметры
$f_k$	100	миллиметры
$l_x \times l_y$	180×180	миллиметры
$P_x$ норм	60	проценты
W	200	км/час
$L_x$	16,6	километры
$L_y$	9,3	километры
$A_{ср. пл.}$	35,4	метры
$h_{max}$	5,8	метры
$H_{ср}$	2000	метры
$H_{абс}$	2035,4	метры
$H_a$	1978,7	метры
$P_x$	62	проценты
$P_y$	35	проценты
$b_x$	68,4	миллиметры
$b_y$	117,0	миллиметры
$B_x$	1368	метры
$B_y$	2340	метры
K	5	маршруты
n	16	кадры
N	80	кадры
l	15,2	метры
T	24,6	секунды
$\tau$	1/138	секунды
L	104	километры
$T_S$	31,2	минуты
S	12,96	км <sup>2</sup>
$S_{уч}$	154,38	км <sup>2</sup>

СХЕМА  
аэрофотосъемки участка местности У-39-88  
в масштабе залета 1:20000



1:100000

Выполнил студент гр. ЗУ-301  
Петров А.П.

## Библиографический список

Наименование	Наличие в библиотеке, экз.
<b>а) основная литература</b>	
1. Федотов Г.А. Инженерная геодезия: учебник / Г.А. Федотов. – 6-е изд. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 479 с.	0
2. Вершинин В.И. Априорная оценка точности координатных определений по космическим снимкам / В.И. Вершинин - М: Типография «Новости», 2011. – 250 с.	0
3. Владимиров, В.М. Дистанционное зондирование Земли: учеб. пособие / В.М. Владимиров, Д.Д. Дмитриев, О.А. Дубровская – Красноярск: сиб. федер. Ун-т, 2014. – 196 с.	0
<b>а) дополнительная литература</b>	
1. Обиралов, А.И. Фотограмметрия [Текст]: учебник / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова. - М.: КолосС, 2006. – 240 с.	124
2. Данилин И.М. Лазерная локация земли и леса.: учеб. пособие / И.М. Данилин, Е.М. Медведев, С.Р. Мельников. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005	21

Лицензия РБ на издательскую деятельность №0261 от 10 апреля 1998 г.

Подписано в печать.....2011 г. Формат 60х84. Бумага  
 типографическая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л.0,75 Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ № .....  
 Издательство Башкирского государственного аграрного университета  
 Типография Башкирского государственного аграрного университета  
 Адрес издательства и типографии: г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34