

Ковальчук, В. Будзяк, А. Дорош, С. Кохан, Г. Лоик // Землеустроительный вестник. - 2013. - № 11. - С. 9-13.

7. Masum, F., Groenendijk, E. M. C., Mansberger, R., & Martin, A. (2017). Enhancing the role of surveyors: bridging the gap between demand for and supply of professional education. In Proceedings of FIG working week 2017: Surveying the world of tomorrow: from digitalisation to augmented reality, 29 May - 2 June 2017, Helsinki, Finland Helsinki: International Federation of Surveyors (FIG).

8. Markus, B. (2004). Future Education - FIG Commission 2 Perspectives. Paper presented at the 3rd FIG Regional Conference Jakarta, Indonesia, October 3-7, 2004.

9. Enemark, S., & Cavero, P. (2003). The Surveyor of the XXIst Century. Paper presented at the 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.

10. Bennett, RM & ... [et al.] 2010, "Cadastral futures: building a new vision for the nature and role of cadastres + power-point" FIG Peer Review Journal, pp. 15 p. + 21 slides.

11. Antwi, R., Bennett, R.M., de Vries, W.T., Lemmen, C.H.J. and Meijer, C. (2012) The requirements for point cadastres. In: FIG Working Week 2012, Rome, 6-10 May 2012 - Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. Rome: FIG. 2012. 11 p

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ПЛАНОВ И КАРТ

EVALUATING THE ECONOMIC FEASIBILITY OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES TO CREATE AND UPDATE PLANS AND MAPS

Ольга Писецкая - декан землеустроительного факультета, кандидат технических наук, оцент, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, e-mail: Piseckaja@tut.by

Янина Исаева - старший преподаватель кафедры геодезии и фотограмметрии землеустроительного факультета,

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, e-mail: ianaisaeva88@gmail.com

Olga Pisetskaya - Dean of the Faculty of Land Management, PhD, Associative Professor, Belarusian State Agricultural Academy, e-mail: Piseckaja@tut.by

Yanina Isaeva - Senior Lecturer of the Department of Geodesy and Photogrammetry of the Faculty of Land Management, Belarusian State Agricultural Academy e-mail: ianaisaeva88@gmail.com

Abstract. Having studied the possibilities of using unmanned aerial vehicles for various purposes, including in land management, it is necessary to take into account the economic feasibility of using them to create and update planning and cartographic material.

To determine the economic efficiency of the use of unmanned aerial vehicles, it is necessary to calculate the financial costs, which are defined as the sum of all the costs of the work performed.

It is necessary to perform an assessment of the cost of performing work on objects of various sizes, in order to identify a cost-effective area for the use of unmanned aerial vehicles.

The calculation of the cost of work takes place in three stages: the calculation of the time for shooting; the calculation of the time for processing and the calculation of the actual cost of work.

Key words: the unmanned aerial vehicle, area, economic efficiency, materials aerial photography.

Изучив возможности использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для различных целей, в том числе и в землеустройстве, необходимо учитывать и экономическую целесообразность их использования для создания и обновления планово-картографического материала.

Для определения экономической эффективности использования БПЛА необходимо рассчитать финансовые затраты, которые определяются как совокупность всех затрат на производимые работы:

- 1) затраты на создание планово-высотного обоснования;
- 2) стоимость аэрофотосъемочных работ;
- 3) затраты на перевозку оборудования;
- 4) оплата труда сотрудников.

Расчет затрат на создание планово-высотного обоснования (ПВО). Прежде чем считать непосредственно величину затрат, необходимо определить плотность размещения опознаков. Для этого необходимо произвести расчеты размеров участка съемки:

$$L_x = L_y = R * \sqrt{Mpix} * 1000 \quad (1)$$

где L_x и L_y – размеры области, отображаемой на снимке, при разрешении R снимка;

$Mpix$ – количество мегапикселей в изображении.

Также, для определения плотности опознаков необходимо знать базис фотографирования B_x и расстояние между маршрутами B_y . Величина продольного p_x и поперечного перекрытия p_y обычно задается 60 и 30 % соответственно:

$$B_x = \frac{L_x * (100 - p_x)}{100 \%} \quad (2)$$

$$B_y = \frac{L_y * (100 - p_y)}{100 \%} \quad (3)$$

Количество базисов $n_{\text{базис}}$ между высотными опознаками зависит от точности построения стереомодели по высоте m_z и заданной высоты сечения рельефа $h_{\text{сеч}}$:

$$n_{\text{базис}} = \sqrt{\frac{(4 * h_{\text{сеч}}^2)}{(m_z^2)}} - 45 - 1 \quad (4)$$

$$\text{где } m_z = \frac{L_x \cdot \sqrt{2}}{2 \tan \frac{2\beta}{2}} * \frac{0.5}{1000 \cdot \sqrt{Mpix}} * 6$$

(5)

2β – угол поля зрения объектива.

Таким образом, с использованием формул (2), (3), (5) плотность размещения опознаков на квадратный километр съемочного участка n считается по формуле:

$$n = \frac{10^6}{n_{\text{базис}} * B_x * B_y} \quad (6)$$

Зная стоимость определения геодезических координат одного опознака $P_{\text{опознак}}$, плотность опознаков и площадь участка $S_{\text{уч}}$, можно произвести расчет затрат на создание планово-высотного обоснования $ТС_{\text{ПВО}}$:

$$ТС_{\text{ПВО}} = n * p_{\text{опознак}} * S_{\text{уч}} \quad (7)$$

Для расчета затрат на аэрофотосъемочные работы в первую очередь необходимо рассчитать стоимость летного часа беспилотного летательного аппарата. Она находится как сумма стоимости обслуживания и амортизации за использование:

$$P_{\text{лч}} = \left(\frac{P_{\text{АФК}}}{P_{\text{ресАФК}}} \right) + \left(\frac{P_{\text{обсл}}}{T_{\text{обсл}}} \right) \quad (8)$$

где $P_{\text{АФК}}$ – стоимость аэрофотосъемочного комплекса (АФК);

$P_{\text{ресАФК}}$ – ресурс работы АФК;

$P_{\text{обсл}}$ – стоимость обслуживания АФК;

$T_{\text{обсл}}$ – периодичность обслуживания.

Время, необходимое на выполнение аэрофотосъемки, напрямую зависит от площади аэрофотосъемочного участка и производительности БПЛА ($\Pi_{\text{АФК}}$):

$$t_c = \frac{S_{\text{уч}}}{\Pi_{\text{АФК}}} \quad (9)$$

$$\Pi_{\text{АФК}} = \left(\frac{v * B_y}{1000} \right) * K_{\text{эф}} \quad (10)$$

где v – скорость БПЛА;

$K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности производительности БПЛА.

Из-за расстояния $D_{\text{су}}$ между съемочным участком и точкой вылета беспилотного аэрофотосъемочного комплекса (БАФК) летательному аппарату требуется время $t_{\text{п}}$ для прибытия к съемочному участку и возвращения с него $t_{\text{у}}$:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{у}} = \frac{D_{\text{су}}}{v} \quad (11)$$

где $D_{\text{су}}$ – расстояние до съемочного участка.

Для определения общего рабочего времени, затраченного на аэрофотосъемку, необходимо знать количество залетов. Количество залетов непосредственно зависит от полезного времени, который БПЛА может

потратить на аэрофотосъемку. Следовательно, количество залетов «З» рассчитывается по формуле:

$$З = \frac{t_c}{t_{max} - t_n - t_y} \quad (12)$$

Зная стоимость летного часа $P_{лч}$ и общее рабочее время $t_{раб}$, можно рассчитать стоимость аэрофотосъемочных работ $ТС_{АФС}$:

$$t_{раб} = t_c + 3(t_n + t_y) \quad (13)$$

$$ТС_{АФС} = t_{раб} * P_{лч} \quad (14)$$

Затраты на перевозку оборудования зависят от:

- стоимости автомобиля;
- стоимости горючего;
- расстояния.

Тогда затраты на транспортные расходы $ТС_{т/р}$ будут рассчитываться по формуле:

$$ТС_{т/р} = 2s \left(\frac{P_A - P_{б/у}}{P_{ес}} + P_{топ} \right) \quad (15)$$

где P_A – стоимость нового автомобиля;

$P_{б/у}$ – стоимость подержанного автомобиля;

$P_{ес}$ – экономически выгодный ресурс эксплуатации;

$P_{топ}$ – цена за топливо на 1 километр хода;

s – расстояние от места базирования до точки запуска БПЛА или до аэродрома.

Затраты на оплату труда сотрудников $ТС_{зп}$ рассчитываются по формуле:

$$ТС_{зп} = (t_{путь} + t_{раб}) * \frac{Н_v}{171} * Ч \quad (16)$$

где $t_{путь}$ – время, затраченное на путь от места базирования до точки взлета;

$t_{раб}$ – рабочее время;

$Н_v$ – норма выработки на человека в месяц.

$Ч$ – количество человек в бригаде.

Общие затраты на аэрофотосъемочные работы $ТС$ рассчитываются как сумма затрат на создание ПВО, на производство аэрофотосъемочных работ, на транспортные расходы и оплату труда сотрудников:

$$ТС = ТС_{т/р} + ТС_{ПВО} + ТС_{АФС} + ТС_{зп} \quad (17)$$

Для расчета экономической эффективности были использованы материалы планово-экономического отдела Государственного предприятия «БелПСХАГИ».

Необходимо выполнить оценку стоимости выполнения работ на объектах различной площади, для выявления экономически выгодной площади для использования БПЛА.

В качестве объектов исследования выступали материалы аэрофотосъемки садового товарищества «Подлесное» Пуховичского района Минской области (площадь 86 га) и город Кричев Могилевской области (площадь 3890 га).

Расчет стоимости работ проходит в три этапа: это расчет времени на съемку; расчет времени на обработку и расчет стоимости работы.

Первый этап. Основными показателями, от которых будет зависеть стоимость конечной продукции, являются:

- фокусное расстояние;
- размер пикселя;
- разрешение съемки;
- площадь снимаемого участка;
- размер кадра; перекрытие.

Таблица 1 – Основные показатели для расчета стоимости съемки

БПЛА Геоскан 201		Единицы измерения	Сад. тов. «Подлесное»	г. Кричев
Фокус		мм	35	35
Пиксель		мкм	6	6
Разрешение		см	5	5
Площадь		га	86	3890
Кадр		м	300	300
			200	200
Перекрытие	продольное	%	80	80
	поперечное		60	60

Причем перекрытие зависит от объекта съемки:

- если объект поле/пашня/вода перекрытие составит – 70–50%;
- если любой другой – 80–60%.

На основании размера кадра и перекрытия рассчитывается продольный и поперечный базис фотографирования, количество маршрутов и число снимков на маршруте. На основе показателей времени и длины маршрутов рассчитывается количество дней на выполнение аэрофотосъемочных работ.

Таблица 2 – Показатели, определяющие количество дней на съемку

Показатели	Сад.тов. «Подлесное»	г. Кричев
Базис Продольный м	40	40
Базис Поперечный	120	120
Количество маршрутов	10	54

Снимков в маршруте	27	159
Всего снимков	270	8586
Длина маршрутов, м	10800	343440
Время	0,444794974	5,56346164
Количество вылетов	1	4

Второй этап. Основными показателями, характеризующими время обработки, являются:

- вычисление центров фотографирования;
- триангуляция;
- фотограмметрическое сгущение;
- извлечение облака точек;
- фильтрация точек;
- построение ортофотоплана;
- исправление порезов.

Таблица 3 – Показатели, характеризующие время обработки материалов аэрофотосъемки с БПЛА

Показатели	Единицы измерения	Сад.тов. «Подлесное»	г. Кричев
Вычисление центров фотографирования	шт	1	4
Триангуляция	ч	0,405	12,879
Фотограммсгущение	ч	1,5	3
Извлечение облака точек	ч	2,7	85,86
Фильтрация точек	ч	1,08	34,344
Построение ортофотоплана	ч	1,08	34,344
Итого	ч	7,765	174,427
Количество дней на обработку	дни	1	22
Исправление порезов, дней	дни	1	18

Итого общее время необходимое на обработку для объектов занимает:

- Садоводческое товарищество «Подлесное» – 2 дня;
- Город Кричев – 40 дней.

Отобразим графически, показатели, характеризующие время обработки материалов аэрофотосъемки (рис. 1).

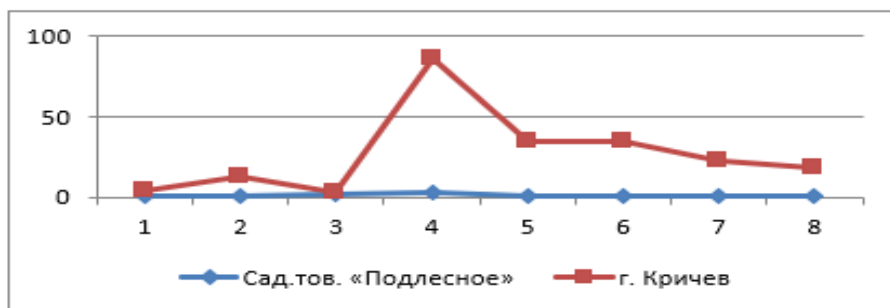


Рисунок 1 – График времени обработки садового товарищества «Подлесное» и г. Кричев

Характеризуя данный график, можно сделать вывод о том, что с увеличением площади, значительное различие по времени, при выполнении обработки материалов уходит на извлечение облака точек. В нашем случае на графике этому показателю соответствует точка 4, и различие по времени составляет более чем в 30 раз.

Третий этап. При расчете стоимости съемки в первую очередь необходимо определиться с затратами связанными с использованием БПЛА, а также смежным расходами такими как: размер суточных на 1 чел. при однодневной командировке; стоимость проживания на 1 чел.; стоимость топлива для автомобиля; стоимость опознаков.

Таблица 4 – Показатели, определяющие затраты при выполнении аэрофотосъемочных работ

№ п/п	Наименование статей расходов	Единицы измерения	Сад.тов. «Подлесное»	г. Кричев
1	Количество рабочих дней в году	кол-во	252	252
2	Плановое количество вылетов в году	ед.	10	10
3	Количество дней для выполнения работ по съемке	кол-во	1	2
4	Количество дней для выполнения работ по обработке	кол-во	2	40
5	Количество человек	кол-во	2	2
6	Количество вылетов	вылет	1	4
7	Удаленность объекта	км	30	360
8	Размер суточных на 1 чел. при однодневной командировке	руб.	15,00	15,00
9	Размер командировочных на 1 чел. при многодневной командировке	руб.	20,00	20,00
10	Стоимость проживания на 1 чел.	руб.	30,00	30,00
11	Стоимость бензина	руб.	1,80	1,80
12	Стоимость опознаков	руб.	0,30	0,30

Помимо показателей, представленных в таблице 4, существует еще ряд показателей, которые необходимо учитывать при оценке стоимости работ: амортизация БПЛА годовая (в т. ч. программное обеспечение(ПО)); страхование БПЛА на год; страхование гражданской ответственности в год; страхование имущественных интересов в год; стоимость техобслуживания в год; амортизация базовой станции Leica в год; амортизация GNSS оборудования SOUTH S82V в год; амортизация автомобиля в год; амортизация ПО обеспечения в год.

Данные показатели не были учтены при расчетах так как их значение является коммерческой тайной и не подлежат разглашению.

Приведем основные статьи расходов при выполнении аэрофотосъемочных работ.

Таблица 5 – Основные статьи расходов при выполнении аэрофотосъемочных работ, руб.

№ п/п	Наименование статей расходов	Сад.тов. «Подлесное»	г. Кричев
1	2	3	4
1	Заработная плата работников	394,66	4 816,17
2	Отчисления в целевые бюджетные и внебюджетные фонды от средств на оплату труда научно-производственного персонала (ФСЗН 34 % + обязательное страхование 0,5%)	136,16	1 661,58
3	Материалы, покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия	2,25	9,00
4	Прочие производственные расходы	0,00	0,00
5	Командировочные расходы	49,80	298,60
6	Услуги сторонних организаций РУП бел геодезия	170,00	620,00
7	Накладные расходы	620,88	7 576,80
8	Итого себестоимость	1 373,75	14 982,15
9	Плановая прибыль (25%)	343,44	3 745,54
10	Всего стоимость	1 717,19	18 727,69

Таким образом исследования показали, что затраты на выполнение аэрофотосъемочных работ на площади в 1 га при общей площади в 86 га составляют – 0,05 рублей. При площади аэрофотосъемки, в 3890 га – 0,21 рублей.

Для расчета оптимального размера площади по выполнению аэрофотосъемки с использованием БПЛА примем равными условия выполнения аэрофотосъемки на данных объектах и рассчитаем стоимость выполнения работ по сводным показателям (таблица 6).

Таблица 6 – Сводные показатели по выполнению АФС работ

Площадь, га	Количество снимков	Длина маршрутов, м	Количество вылетов	Количество опознаков	Количество дней на обработку	Количество дней на исправление порезов	Всего стоимость	Стоимость одного га
12,5	60	2400	1	5	1	1	1 717,19	0,0073
25,0	112	4480	1	5	1	1	1 717,19	0,0146
50,0	168	6720	1	5	1	1	1 717,19	0,0291
100,0	319	12760	1	5	2	1	2 125,22	0,0471
200,0	546	21840	1	10	2	2	2 723,57	0,0734
400,0	1026	41040	1	10	3	3	3 539,61	0,1130
800,0	1924	76960	1	10	6	4	5 171,71	0,1547
1600,0	3744	149760	2	15	10	8	8 626,26	0,1855
3200,0	7250	290000	3	20	19	15	16 131,04	0,1984
6400,0	14076	563040	6	40	36	29	30 239,69	0,2116
12800,0	27742	1109680	11	60	70	56	57 986,20	0,2207

Выполним построение графика зависимости стоимости выполнения комплекса аэрофотосъемочных работ в расчете на 1 гектар от площади аэрофотосъемки (рис 2).



Рисунок 2 – График зависимости стоимости 1 га от площади участка

Характеризуя данный график, можно сделать вывод о том, что, при площади аэрофотосъемки более 100 га начинает возрастать стоимость выполнения аэрофотосъемочных работ.

Установим оптимальное соотношение цены и площади при выполнении аэрофотосъемочных работ (табл. 7)

Таблица 7 – Расчет стоимости аэрофотосъемочных работ

Площадь, га	Стоимость, руб.	
	Сад. тов. «Подлесное»	г. Кричев
1,0	0,05	0,21
12,5	0,625	2,625
25,0	1,25	5,25
50,0	2,50	10,50
100,0	5,00	21,00
200,0	10,00	42,00
400,0	20,00	84,00
800,0	40,00	168,00
1600,0	80,00	336,00
3200,0	160,00	672,00
6400,0	320,00	1344,00
12800,0	640,00	2688,00

Для определения оптимального соотношения, отобразим приведенные расчеты на графике (рис. 3).

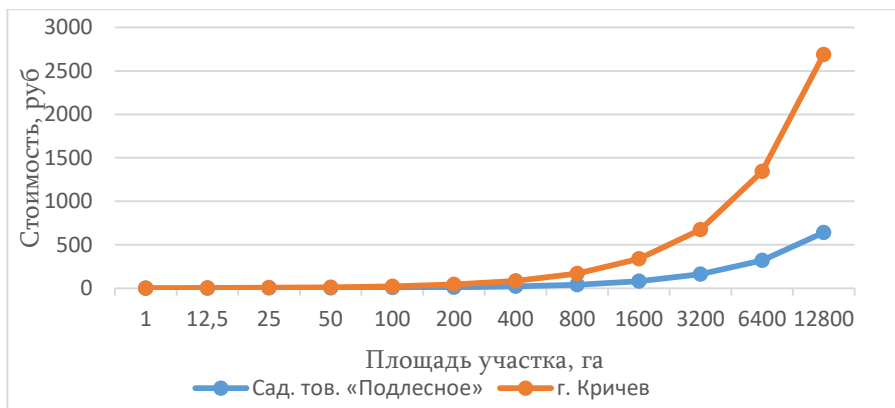


Рисунок 3 – График зависимости стоимости от площади для садоводческого товарищества «Подлесное», г. Кричев

Анализируя данный график, можно сделать вывод о том, что до 300 га стоимость выполнения аэрофотосъемочных работ, не зависимо от стоимости за 1 гектар, практически не возрастает.

Заключение. Использование беспилотных летательных аппаратов находит широкое применение во многих сферах деятельности, в том числе и при создании и обновлении планово-картографических материалов. Но их использование ограничено техническими возможностями. Поэтому возникает необходимость определения оптимального размера объекта съемки с целью экономической эффективности использования материалов аэрофотосъемки.

По результатам проведенных исследований выявлено, что для создания и обновления планово-картографических материалов, экономически целесообразно выполнять аэрофотосъемочные работы с использованием БПЛА на площади до 300,0 га.