

УДК: 623.646

DOI: 10.53816/23061456_2022_9–10_58

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЭРОСЪЁМКИ
БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ
ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОБНОВЛЕНИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ
ИНФОРМАЦИИ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

**JUSTIFICATION OF AERIAL SURVEY PARAMETERS BY MEANS
OF UNJUSTIFICATION OF AERIAL SURVEY PARAMETERS BY MEANS
OF UNNAMED AERIAL VEHICLE FOR OPERATIONAL UPDATING
GEOSPATIAL INFORMATION ON THE POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS**

*Канд. техн. наук Б.Ю. Никульшин, канд. техн. наук В.В. Волков,
канд. геол.-минерал. наук Ж.С. Кобзарева*

Ph.D. B.Y. Nikulshin, Ph.D. V.V. Volkov, Ph.D. J.S. Kobzareva

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В настоящее время риск возникновения чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах не уменьшается. Поэтому актуальными задачами являются сокращение масштабов и ликвидация влияния негативных последствий. Для их планирования необходим большой объем разнородной информации, которая должна быть получена оперативно.

В статье рассмотрена методика оперативного планирования аэросъемки территории потенциально опасного объекта для беспилотного летательного аппарата, входящего в состав мобильного топогеодезического комплекса. Предлагаемая методика эффективна при различных причинах возникновения чрезвычайных ситуаций: стихийные бедствия, аварии, террористические и военные действия и другие.

Ключевые слова: потенциально опасные объекты, беспилотный летательный аппарат, мобильный топогеодезический комплекс, геопро пространственная информация, аэросъемка, оперативное обновление.

Today the risk of emergency situations on potential dangerous objects is not reduced. That is why the actual tasks are reduction the scope and liquidation the negative influence of accidents. For planning such tasks the wide volume of dissimilar information is need. This kind of information must be quickly received on inaccessible territory.

The article considers the methodology of operating planning aerial survey on the areas of potentially dangerous object for unnamed aerial vehicle as a part of the mobile topographic and geodetic complex. Proposed methodology is effective in different causes of emergence extreme situations such as: natural hazards, accidents, terroristic and military operations and others.

Keywords: potentially dangerous objects, unnamed aerial vehicle, mobile topographic and geodetic complex, geospatial information, aerial survey, operational updating.

Увеличение мощности и сложности объектов энергетической промышленности (ОЭП) и других потенциально опасных объектов (ПОО) приводит к усложнению методов их эксплуатации. Последнее приводит к повышению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). При этом причины возникновения ЧС могут быть различными: стихийные бедствия, аварии, террористические либо военные действия и другие.

Наиболее опасными объектами энергетической промышленности являются:

- атомные электростанции, гидроэлектростанции, теплоэлектроцентрали, теплоэлектростанции;
- объекты газовой и химической промышленности;
- предприятия ядерно-топливного цикла.

Аварии на ОЭП могут вызвать масштабные негативные последствия. К ним относятся:

- химическое и радиоактивное заражение местности;
- разрушение инфраструктуры в результате взрывов газозавоздушных смесей, емкостей высокого давления и объектов ядерно-топливного цикла;
- пожары на объектах и прилегающей территории;
- затопление значительных территорий и другие.

Эти факторы могут сделать район аварии труднодоступным или недоступным для аварийно-спасательных групп и специальной техники, затруднить доставку оборудования и эвакуацию населения из-за низкой проходимости местности, вызванной разрушениями основных магистралей, мостов и переправ; спровоцировать еще большие разрушения и активизировать «цепную реакцию» на соседние элементы оборудования и связанные ОЭП.

Независимо от причин возникновения ЧС, для сокращения масштабов негативных последствий и ликвидации их влияния разрабатываются методы и средства, направленные на защиту населения и окружающей природной среды. Для эффективного планирования и проведения аварийно-спасательных работ при возникновении ЧС на ОЭП необходим значительный объем разнородной информации о разрушении объектов, изменении степени проходимости местности вследствие возможных разрушений и т.д. Эта информация должна быть получена с высокой

оперативностью на труднодоступную или недоступную территорию [1].

В рамках проведенных исследований были обоснованы требования к мобильному комплексу (МК) с беспилотным летательным аппаратом (БЛА) для геоинформационного обеспечения при возникновении чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах [2]. Применение МК с БЛА для оперативного создания и обновления геопространственной информации (ГПИ) об объектах ЧС и прилегающей территории обладает рядом несомненных преимуществ, которые достаточно подробно рассмотрены в работе [2].

Важнейшим требованием к МК является высокая оперативность его применения, необходимая для быстрого реагирования на изменяющуюся обстановку при возникновении ЧС. Высокая оперативность применения включает:

- оперативную доставку БЛА к месту старта и проведения аэросъемки (АС);
- оперативный просмотр и предобработку полученных снимков;
- оперативное выявление изменений местности и обновление ГПИ;
- оперативную доставку снимков и выявленных изменений заказчику.

Основными техническими требованиями к комплексу являются мобильность, высокая проходимость, компактность и надежность оборудования, простота эксплуатации, минимальный состав экипажа, ограниченность требований к его квалификации, возможность быстрого ремонта в случае поломки, низкая стоимость материальной части и другие.

В состав комплекса должны входить следующие основные элементы:

- наземный пункт управления, приема и обработки информации (НПУ);
- один или несколько беспилотных летательных аппаратов самолетной схемы с безаэродромным взлетом и посадкой;
- транспортная машина (ТМ).

В качестве НПУ и ТМ могут быть использованы, например, легковой комплекс высокой проходимости на шасси автомобиля «Тигр» или легкой топогеодезический автомобиль повышенной проходимости (ТГА ЛПП) на шасси автомобиля «Патриот» [2]. Оба комплекса должны быть оборудованы аппаратурой управления БЛА, приема, обработки и передачи информации.

В качестве аэросъемочных средств могут быть использованы, например, легкие БЛА малого радиуса действия, БЛА типа «Грифон» или «Орлан» самолетного типа с системой взлета с катапульты и посадкой с помощью парашюта (рис. 1). Такое техническое решение позволяет использовать мобильный комплекс автономно, не привязываясь к аэродромам и специально оборудованным стартовым площадкам.

МК с БЛА может функционировать, например, в составе системы планирования ликвидации последствий ЧС, независимо от причин их возникновения. Его основной задачей является аэрофотосъемка территории ЧС, оперативное обновление ГПИ путем внесения выявленных изменений в имеющуюся ГПИ и оперативная доставка полученной информации заказчику.

Для повышения эффективности применения МК с БЛА необходимо разделять его применение в плановый период (заблаговременное применение) и при возникновении ЧС (оперативное применение). Для применения МК необходимо определить район проведения аэросъемки и получения информации об объектах контроля и местности с целью оперативного создания и обновления ГПИ.

Обновление ГПИ выполняется при устаревании информации о местности вследствие появления новых объектов, разрушения или изменения существующих объектов (зданий, со-

оружий, путепроводов, объектов дорожной и железнодорожной сети, растительности и т.д.). Изменения местности могут фиксироваться непосредственно на территории расположения потенциально опасных объектов либо в районе расположения объектов в радиусе прогнозируемого разрушения (заражения местности) при возникновении ЧС.

Заказчиком также может быть установлен определенный период съемки в том случае, если требуется мониторинг состояния объекта. При плановом обновлении ГПИ могут использоваться как материалы космической съемки, так и материалы традиционной средневысотной аэросъемки или съемки с БЛА. Такая технология обновления применяется при отсутствии требований к оперативности получения информации.

Для повышения точности оперативного получения и обновления ГПИ в районе расположения ОЭП целесообразно планировать и заблаговременно выполнять полевые работы. Целесообразным также является заблаговременное создание крупномасштабных измерительных фотодокументов (фотопланов или фотокарт). Для большинства ПОО площадь таких фотодокументов на местности не будет превышать 10 км². Выбор масштаба фотодокумента будет зависеть от размера отображаемого участка местности и характера задачи, решаемой подразделением по ликвидации последствий, что определяется прежде



Рис. 1. Состав МК с легким БЛА малого радиуса действия «Грифон»

всего типом потенциально опасного объекта и площадью контролируемой территории.

При плановом обновлении небольших территорий наиболее эффективным представляется использование МК с малыми БЛА самолетного типа [2]. Для расчета площади района аэросъемки необходимо спрогнозировать ЧС на заданные условия возникновения аварийной ситуации. Основным объектом аэросъемки при ЧС должен являться район сильных и средних разрушений при взрыве на объекте, а также зона с превышением допустимого уровня заражения (загрязнения) местности.

Для расчета радиуса зон поражения от взрывной ударной волны (ВУВ) использовалась методика расчета избыточного давления во фронте ВУВ [3, 4]. Избыточное давление во фронте ВУВ (P_ϕ) аварийного взрыва (АВ) может быть определено по формуле общего вида (при $\Delta P_\phi > 0,05 \text{ кгс/см}^2$):

$$\Delta P_\phi = \frac{5040}{(\bar{R}_{AB})^{2,71}},$$

где $(\bar{R}_{AB})$ — приведенное расстояние от центра АВ до рассматриваемой точки на фронте ВУВ, м [4]:

$$\bar{R}_{AB} = \frac{R_{AB}}{q_{AB}^{\frac{1}{3}}},$$

где R_{AB} — фактическое расстояние от центра АВ до рассматриваемой точки на фронте ВУВ, м; $q_{AB}^{\frac{1}{3}}$ — тротиловый эквивалент взрывчатого вещества.

Пример визуализации такого расчета представлен на рис. 2). Результаты выполненного расчета с выделением зон сильных и средних разрушений нанесены на один из базовых видов ГПИ — цифровую пространственную модель местности (ЦПММ) в специализированной геоинформационной системе военного назначения (ГИС ВН) «Оператор». Необходимо отметить, что при других причинах и другом характере взрыва методика расчета зон поражения может быть иной.

В плановый период по результатам моделирования ЧС рассчитывается полетное задание для БЛА на район аэросъемки. При моделировании ЧС на ОЭП необходимо учитывать типовую для заданного района метеорологическую обстановку, рельеф, растительность и другие факторы [5].

Основными исходными данными для расчета полетного задания БЛА являются: масштаб аэросъемки, который задается исходя из требуемого масштаба фотоплана (фотокарты), координаты границ района аэросъемки и дальность возможного размещения МК с БЛА относительно объекта съемки.

При планировании аэросъемки высота полета БЛА рассчитывается исходя из требуемого масштаба и разрешения аэроснимков. Исходя из заданных параметров поперечного и продольного перекрытия снимков, рассчитываются расстояние между маршрутами, интервал фотографирования и время на выполнение аэросъемки. Полученные параметры сравниваются с допустимыми (например, легкий БЛА



Рис. 2. Зоны сильных и средних разрушений при взрыве на ОЭП

с электрическим двигателем, как правило, может выполнять аэросъемку в заданном районе не более 40–60 минут), а затем принимается решение о возможности выполнения задания на аэросъемку. За основу предлагаемой методики расчета параметров съемки с БЛА взята традиционная методика навигационных расчетов для выполнения средневысотной съемки специально оборудованными самолетами-аэросъемщиками в картографических целях [6–8].

Высота аэросъемки H рассчитывается по следующей формуле:

$$H = \frac{\Delta L n_y}{2 \operatorname{tg} \left(\frac{\varphi_y}{2} \right)},$$

где n_y — физический размер матрицы фотоприемного устройства (ФПУ); φ_y — угол захвата аэрофотографической камеры; ΔL — полоса захвата на местности.

Высота аэросъемки является одним из параметров, ограничивающих применение того или иного БЛА в заданных целях. Верхней границей является максимальная высота полета БЛА или его практический потолок $H_{\max}$, нижней границей — минимально безопасная высота полета $H_{\min}$. Первый параметр определяется тактико-техническими характеристиками БЛА, второй — ландшафтными характеристиками района проведения аэросъемочных работ. Таким образом, при расчете высоты аэросъемки под конкретное воздушное судно, аэросъемочную аппаратуру и решаемую задачу необходимо учитывать ограничение $H_{\min} \leq H \leq H_{\max}$.

При картографировании или мониторинге района расположения ОЭП необходимо выполнять площадную аэросъемку по рассчитанным маршрутам [9]. Количество маршрутов N_m зависит от требуемых продольного и поперечного перекрытия снимков и рассчитывается по следующим формулам:

$$B_y = 2 \operatorname{tg} \left(\frac{\varphi_y}{2} \right) H \frac{100 - P_y}{100},$$

$$N_m = \frac{d}{B_y} + 1,$$

где P_y — требуемое перекрытие между получаемыми снимками; d — размер малой стороны

трапеции района аэросъемки; B_y — базис фотографирования.

Как правило, низкая устойчивость легких БЛА приводит к возникновению достаточно больших углов тангажа, крена и курса. Поэтому, в отличие от авиационной съемки [5], требования к перекрытиям снимков БЛА увеличены: продольное перекрытие обычно составляет не менее 80 %, а поперечное перекрытие — не менее 50 %.

Количество и протяженность маршрутов съемки определяет время проведения аэросъемочных работ (t_a), которое определяется по формуле:

$$t_a = t_d + t_{\text{афс}} + t_v.$$

где: t_d — время полета до объекта аэросъемки; $t_{\text{афс}}$ — время самой аэросъемки; t_v — время возврата в точку посадки.

Как правило, при применении легких БЛА малого и среднего радиуса действия используется способ взлета с катапульты и способ посадки парашютного типа, что сводит время полета до района аэросъемки и возврата в точку посадки к минимуму [10]. Таким образом, основным параметром, определяющим соответствие требованиям оперативности получения информации и возможности применения конкретного типа БЛА для решения поставленной задачи, является время выполнения аэросъемки объекта. В зависимости от протяженности маршрута и их количества время АС определяется следующим образом:

$$t_{\text{афс}} = \left(\frac{D}{v_{\text{пол}}} \cdot N \right) + (t_{\text{раз}} \cdot (N - 1)),$$

где D — протяженность маршрута АС (большой стороны трапеции объекта АС); $v_{\text{пол}}$ — средняя истинная скорость БЛА при АС; $t_{\text{раз}}$ — время, требуемое на разворот и заход на маршрут; N_m — количество маршрутов.

По результатам расчетов проводится анализ возможности проведения аэросъемки конкретным типом БЛА и аппаратурой АФС из условия:

$$\begin{cases} t_a \leq t_{\max}; \\ t_a \leq \tau_d, \end{cases}$$

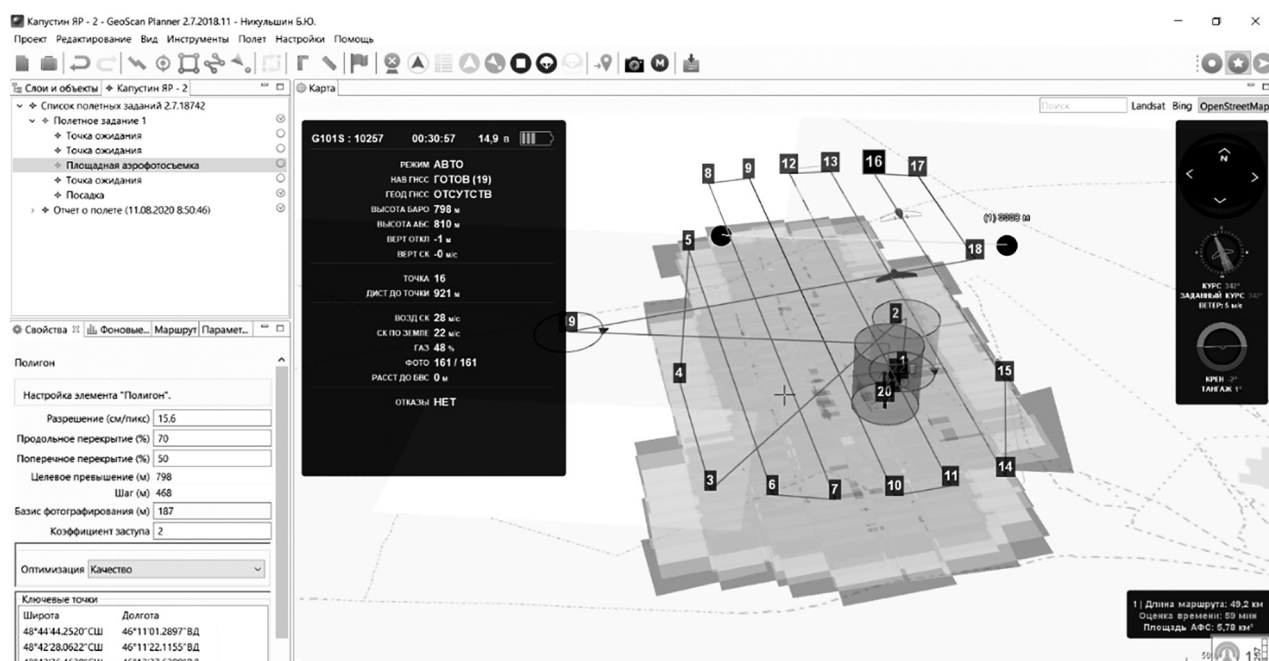


Рис. 3. Пример полетного задания на площадную АФС

где $t_{\max}$ — максимальное время нахождения БЛА в воздухе; τ_d — требование по оперативности получения данных об объекте контроля.

При выполнении этих условий аэрофотосъемки полетное задание закладывается в автоматизированное рабочее место управления и загружается в систему БЛА (рис. 3).

Таким образом, применение мобильного комплекса с БЛА ближнего и среднего радиуса действия для оперативного создания и обновления ГПИ на районы потенциально опасных объектов при возникновении ЧС является эффективным.

В данной работе рассмотрены предложения по составу мобильного комплекса с БЛА, общие требования к комплексу. Представлена методика проведения расчетов параметров аэрофотосъемки для планирования применения БЛА в районе потенциально опасного объекта, включающая прогноз последствий при возникновении ЧС на ПОО, выполнение навигационных расчетов АФС с применением БЛА, с учетом требований к получаемой геопространственной информации, и оценкой возможности выполнения заданных аэрофотосъемочных работ.

В следующей работе планируется обосновать технология применения мобильного комплекса с БЛА для геоинформационного обеспечения районов потенциально опасных объектов, которая включает технологию оперативного создания или

обновления ГПИ на район расположения ПОО в плановом режиме и при возникновении ЧС.

В дальнейшем планируется исследование вопросов обоснования параметров получаемой геопространственной информации с применением представленного МК, разработки единого банка данных ГПИ на районы расположения ПОО и разработки требований к периодичности планового обновления ГПИ для таких районов.

Литература

1. Никульшин Б.Ю., Волков В.В., Волков А.В., Дмитриев Д.В. Комплексное применение средств космического, воздушного и наземного мониторинга потенциально опасных объектов // Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 2 (56). С. 36–42.
2. Никульшин Б.Ю., Волков В.В., Дмитриев Д.В. Обоснование состава мобильного топогеодезического комплекса ближнего действия для геоинформационного обеспечения при возникновении чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах // Астраханский вестник экологического образования. 2022. № 1. С. 56–65.
3. Сурин Д.В. Специальные фортификационные сооружения. — Санкт-Петербург: МО, 2009. 447 с.

4. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. — Москва: Издательский центр «Академия», 2003. 512 с.

5. Патент № 2351950 Российская Федерация, МПК В02С 19/16 (2009.01). Никульшин Б.Ю. Способ дистанционного обнаружения радиоактивных выбросов в атмосферу и устройство для его осуществления: заявл. 01.01.2001: опубл. 01.01.2001 / Дикарев В.И., Доронин А.П., Никульшин Б.Ю. 8 с.

6. Руководство по аэрофотосъемке в картографических целях (РАФ-89). — М.: РИО, 1989. 106 с.

7. Руководство по фототопографическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 1. Создание и обновление топографических карт масштабов 1:25000, 1:50000, 1:100000. Полевые работы (РФР-1). — М.: РИО ВТС, 1981. 134 с.

8. Руководство по фототопографическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 3. Создание оригиналов специальных карт и фотодокументов о местности (РФР-3). — М.: РИО ВТС, 1983. 94 с.

9. Волков В.В., Дуда П.И., Фурса А.И. Определение координат точек по крупномасштабным снимкам, получаемым малогабаритными летательными аппаратами // Новые методы производства геодезических и маркшейдерских работ. Межвузовский сборник научных трудов. — СПб.: СПбГИ, 1997. С. 48–52.

10. Бодрова А.С., Безденежных С.И. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Материалы конф., г. Коломна. 2016. С. 106–113.

References

1. Nikul'shin B.Yu., Volkov V.V., Volkov A.V., Dmitriev D.V. Integrated use of satellite, air and ground monitoring of potentially dangerous objects // Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya. 2020. № 2 (56). Pp. 36–42.

2. Nikul'shin B.Yu., Volkov V.V., Dmitriev D.V. Justification of the mobile topographic and geodetic complex for geoinformation support in case of emergency situations on potentially dangerous objects. // Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya. 2022. № 1. Pp. 56–65.

3. Surin D.V. Specialized fortification constructions. — SPb: MO, 2009. 447 p.

4. Belov P.G. System analysis and modeling of hazardous processes in the technosphere. — Moscow: Izdatel'skii tsentr «Akademiya», 2003. 512 p.

5. Patent № 2351950 Russian Federation, MPK V02S 19/16 (2009.01). Nikul'shin B.Yu. Sposob distantsionnogo obnaruzheniya radioaktivnykh vybrosov v atmosferu i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya: zayavl. 01.01.2001: opubl. 01.01.2001 / Dikarev V.I., Doronin A.P., Nikul'shin B.Yu. 8 p.

6. Rukovodstvo po aerofotos'emke v kartograficheskikh tselyakh (RAF-89). — М.: RIO, 1989. 106 p.

7. Rukovodstvo po fototopograficheskim rabotam pri topogeodezicheskom obespechenii voisk. Part 1. Sozdanie i obnovlenie topograficheskikh kart masshtabov 1:25000, 1:50000, 1:100000. Polevye raboty (RFR-1). — М.: RIO VTS, 1981. 134 p.

8. Rukovodstvo po fototopograficheskim rabotam pri topogeodezicheskom obespechenii voisk. Part 3. Sozdanie originalov spetsial'nykh kart i fotodokumentov o mestnosti (RFR-3). — М.: RIO VTS, 1983. 94 p.

9. Volkov V.V., Duda P.I., Fursa A.I. Opredelenie koordinat tochek po krupnomasshtabnym snimkam, poluchaemym malogabaritnymi letatel'nymi apparatami // Novye metody proizvodstva geodezicheskikh i marksheiderskikh rabot. Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov. — SPb.: SPBGI, 1997. Pp. 48–52.

10. Bodrova A.S., Bezdenezhnykh S.I. Perspektivy razvitiya i primeneniya kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami // Materialy konf., g. Kolomna. 2016. Pp. 106–113.