

# Повышение достоверности результатов воздушной радиационной разведки местности в условиях изменяющихся метеорологических параметров

Проведен анализ существующих способов воздушной радиационной разведки, в результате которого показано, что при их применении отсутствует или недостаточно полно реализован учет влияния метеорологических условий на результаты разведки. Разработан способ повышения достоверности результатов воздушной радиационной разведки местности в условиях изменяющихся метеорологических параметров. Предложена аналитическая зависимость для корректирования результатов воздушной радиационной разведки местности.

## **Ключевые слова:**

*воздушная радиационная разведка, радиоактивное загрязнение местности, метеорологические условия, достоверность, гамма-излучение, погрешность измерения мощности дозы, аппроксимация.*

## **Д.А.Кожевников**

(Федеральное государственное бюджетное учреждение «33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны Российской Федерации» (ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России, г. Вольск-18)

В случае возникновения аварии на радиационно опасном объекте для достоверного и оперативного определения параметров радиоактивно загрязненной местности и различных объектов используют технические средства воздушной радиационной разведки местности. Их применение позволяет своевременно и целенаправленно привести в действие комплекс мероприятий по защите населения от воздействия ионизирующего излучения.

Методическая основа проведения измерения у существующих приборов воздушной радиационной разведки заключается в том, что для определения мощности дозы гамма-излучения в некоторой точке необходимо измерить мощность дозы над этой точкой на высоте полета летательного аппарата и умножить измеренную

**Табл.1.** *Корректирующие коэффициенты для учета зависимости плотности воздуха от высоты расположения местности над уровнем моря, используемые в измерителях ИМД-31 и ИМД-32.*

Высота местности над уровнем моря, м	Корректирующий коэффициент
0	1
250	0,977
500	0,954
1000	0,907
2000	0,822
3000	0,742
4000	0,669

величину на величину кратности ослабления гамма-излучения слоем воздуха между высотой полета и исследуемой высотой. Величина кратности ослабления будет изменяться в соответствии с зависимостью мощности дозы над радиоактивно загрязненной местностью от высоты измерения. При этом на данную зависимость будут влиять метеорологические условия в районе разведки. В результате проведенных ранее исследований [1] установлено, что отсутствие учета этого влияния может обусловить значительные погрешности при определении мощности дозы на высоте 1 метр от поверхности земли. В частности, анализ показал, что при ведении воздушной радиационной разведки местности на высотах до 500 метров изменение атмосферного давления обуславливает значительную дополнительную погрешность от минус 17,23% до 36,93%, изменение температуры воздуха – от минус 43,45% до 75,31% в доверительном интервале 0,95, поэтому учет данных параметров необходим для получения достоверных результатов разведки [1].

При осуществлении воздушной радиационной разведки местности существующими способами отсутствует учет влияния указанных метеорологических параметров на результаты разведки или он реализован недостаточно полно.

Известен способ учета кратности ослабления гамма-излучения слоем воздуха, толщина которого соответствует высоте полета летательного аппарата, реализованный в специализированном комплексе воздушной радиационной разведки ГО-21 путем установки вручную переключателя поддиапазонов в фиксированные положения [2]. Этот способ обладает низкой достоверностью, так как при измерениях мощности дозы не учитывается информация о метеорологических условиях в районе разведки. Кроме этого, переключатель позволяет выставлять лишь пять значений коэффициентов (5; 10; 25; 50; 100), поэтому результаты разведки имеют высокую погрешность.

Известен способ ведения воздушной радиационной разведки местности в районе аварии на ядерном реакторе с разгерметизацией активной зоны, основанный на использовании некоторой фиксированной зависимости кратности ослабления гамма-излучения от высоты над поверхностью земли [3]. Способ ориентирован на загрязнение, обусловленное выбросом продуктов деления из ядерного реактора для кампании в диапазоне от 10 до 720 суток и длительности выдержки топлива от 0 до 1800 суток, и может быть использован при ведении радиационной разведки на высоте до 150 метров. Рассматриваемый способ также обладает низкой достоверностью, так как при его реализации не учитываются погрешности, обусловленные изменением метеорологических условий, которые могут значительно влиять на результаты разведки.

Существует способ, реализованный в авиационных измерителях мощности дозы типа ИМД-31 [4-6], в которых используются два детектора, один из которых закрыт фильтром, имитирующим дополнительный слой воздуха заданной толщины. При реализации такого способа предполагается, что летательный аппарат проводит одновременно измерения на двух различных высотах, что исключает необходимость повторного полета на другой высоте над тем же участком местности.

Недостатком данного способа является то, что материал фильтра и воздух обладают различными зависимостями от энергии гамма-квантов сечений фотопоглощения, комптоновского рассеяния гамма-квантов и сечения процесса образования пары электрон–позитрон в поле ядра атома вещества. Это обуславливает совпадение значения кратности ослабления гамма-излучения фильтром и имитируемым слоем воздуха только для одного значения энергии квантов. Для остальных значений энергии появляется дополнительная погрешность измерения. Кроме того, данный способ не учитывает текущую плотность воздуха. Это также обуславливает дополнительную погрешность измерения, которая в определенных условиях может принять неприемлемо высокие значения.

Существует способ коррекции измеренного значения мощности дозы, приведенного к уровню 1 м над поверхностью земли, посредством автоматического учета зависимости плотности воздуха от высоты расположения местности над уровнем моря и умножения измеренного значения мощности дозы на соответствующие поправочные коэффициенты, указанные в табл.1. Указанный способ реализован в авиационных измерителях мощности дозы типов ИМД-31 и ИМД-32.

В результате указанной корректировки учитывается лишь нормальное атмосферное давление для высоты обследуемой местности над уровнем моря, но даже на фиксированной высоте давление может меняться в широких пределах в зависимости от климатических условий. Кроме этого, отсутствует учет температуры воздуха, изменение которой влияет на величину мощности дозы значительно, чем атмосферное давление. Поэтому осуществление радиационной разведки указанным способом может обладать значительной погрешностью.

Анализ существующих способов воздушной радиационной разведки местности показал, что при их реализации результаты измерения мощности дозы, приведенной к высоте 1 метр от поверхности земли, могут обладать значительной погрешностью, обусловленной изменением метеорологических условий в районе ведения разведки.

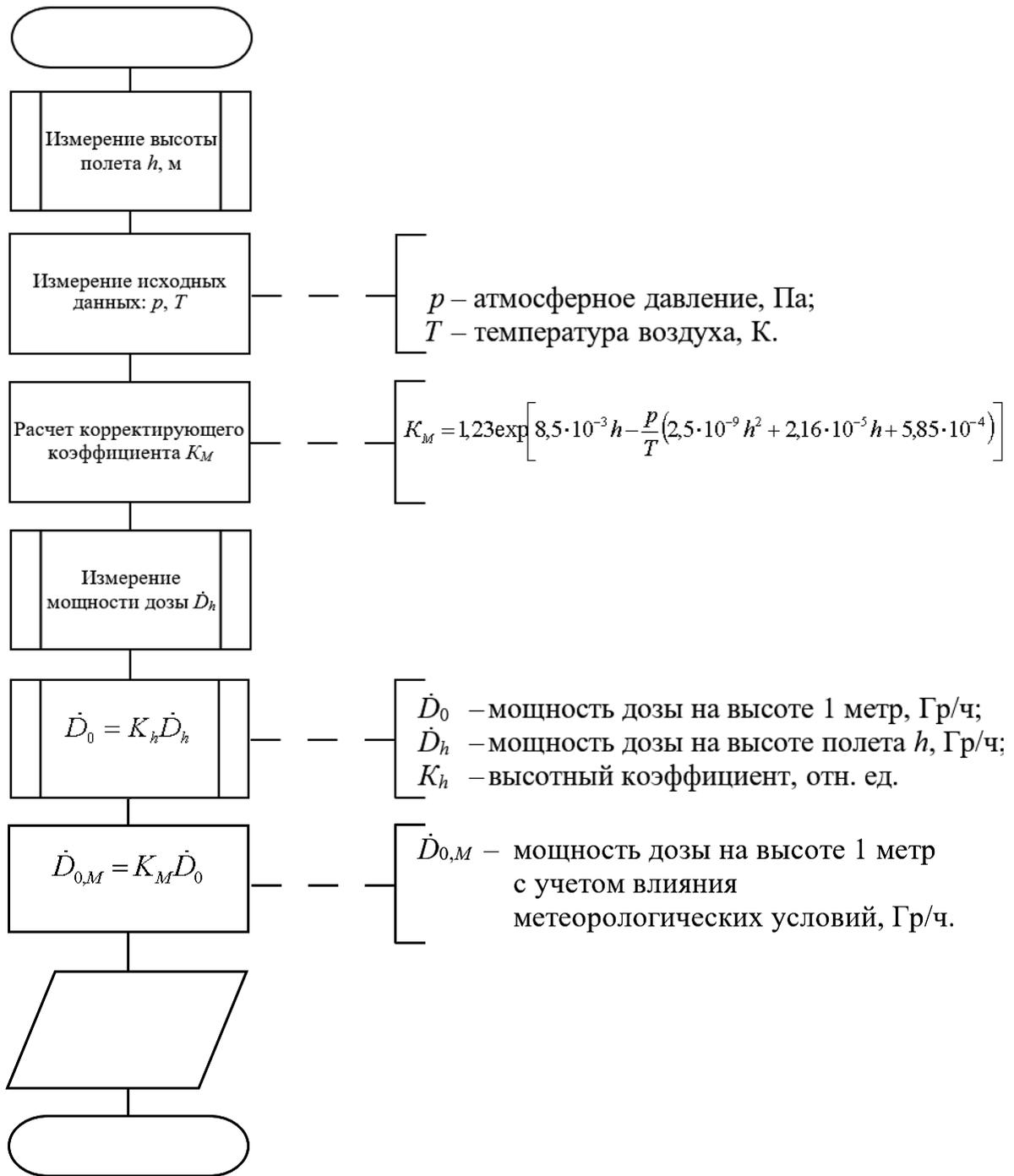
Задача повышения достоверности воздушной радиационной разведки местности за счет снижения указанной погрешности решена путем автоматического корректирования результатов воздушной радиационной разведки местности с помощью аналитической зависимости, позволяющей вычислять поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры и давления воздуха при различной высоте радиационной разведки.

Разработанный способ осуществляется следующим образом. Перед началом радиационной разведки измеряют атмосферное давление и температуру воздуха в районе ведения радиационной разведки, вычисляют поправочный коэффициент по формуле:

$$K_M = 1,23 \exp \left[ 8,5 \cdot 10^{-3} h - \frac{p}{T} (2,5 \cdot 10^{-9} h^2 + 2,16 \cdot 10^{-5} h + 5,85 \cdot 10^{-4}) \right], \quad (1)$$

где  $p$  – атмосферное давление, Па;  $T$  – температура воздуха, К;  $h$  – высота ведения разведки, м.

Затем осуществляют радиационную разведку местности известными способами, измеряя мощность дозы гамма-излучения на выбранной высоте полета и пересчитывая измеренное значение к высоте 1 метр умножением его на величину кратности ослабления гамма-излучения слоем воздуха при стандартных метеорологических условиях между высотой полета и высотой 1 метр над поверхностью земли. После этого умножают полученное значение мощности дозы гамма-излучения на поправочный коэффициент  $K_M$ , вычисленный по формуле (1).



**Рис.1.** Алгоритм реализации разработанного способа повышения достоверности результатов воздушной радиационной разведки местности в условиях изменяющихся метеорологических параметров.

Алгоритм реализации разработанного способа представлен на рис.1.

Аналитическая зависимость (1) получена аппроксимацией с применением методов дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа [7-12]. Методами дисперсионного анализа установлено наличие влияния метеорологических факторов на исследуемую погрешность. Корреляционный анализ использован для оценки степени влияния, а методами регрессионного анализа были выбраны конкретная математическая модель и оценена ее адекватность [13-16].

Поскольку зависимость является многофакторной, для ее нахождения использован метод Брандона, заключающийся в представлении искомой нелинейной функции в виде произведения [17,18]. Кроме этого, было использовано представление искомой функции в виде суммы и в виде сложной зависимости от другой функции.

Каждая из частных функций является функцией только одного аргумента, в качестве которого выступает параметр влияющего фактора. Конкретный вид каждой функции подбирается в зависимости от характера влияния фактора на исследуемую погрешность. Она, например, может быть возрастающей или убывающей, линейной или нелинейной (степенной, показательной, экспоненциальной и т. д.). Порядок расположения факторов не безразличен для точности обработки результатов: в первую очередь, исследуются факторы, оказывающие наибольшее влияние [19-23]. Вначале по точкам выборки строятся поля корреляции и линия регрессии, и таким образом определяется вид зависимости, затем методом наименьших квадратов рассчитываются коэффициенты этого уравнения регрессии. После этого составляется выборка новой величины, и операции повторяются аналогично до тех пор, пока не будет получена аппроксимационная зависимость с требуемой точностью.

Полученная формула (1) позволяет вычислить поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха в диапазоне от минус 50 до 50 °С и давления воздуха в диапазоне от 660 до 860 мм рт. ст. при высоте радиационной разведки до 500 м с погрешностью, не превышающей ±3%. Предел погрешности аппроксимации определен методом вычисления наибольших отклонений результатов аппроксимации от расчетных значений.

Необходимо отметить, что представленная зависимость имеет наименьшую погрешность при энергии гамма-квантов, равной 662 кэВ, что соответствует энергии гамма-излучения Ва-137m – дочернего продукта распада Cs-137. Выбор указанной энергии обусловлен соответствием средней эффективной энергии гамма-излучения продуктов деления U-235 и Pu-239 через 1 сутки после деления, рассматриваемым в качестве наиболее вероятного состава радиоактивного загрязнения местности.

Рассмотрим пример использования разработанного способа для случая, когда летательный аппарат с техническим средством воздушной радиационной разведки на борту проводит измерение мощности дозы гамма-излучения над радиоактивно загрязненной местностью на высоте полета 500 метров. Температура воздуха в районе разведки составляет 25 °С, атмосферное давление равно 700 мм рт. ст. Результаты измерения мощности дозы в указанных условиях будут ниже соответствующих значений при стандартных метеорологических условиях на 50%.

Перед началом измерения мощности дозы в районе ведения радиационной разведки измеряют атмосферное давление и температуру воздуха, рассчитывают поправочный коэффициент по предлагаемой формуле, значение которого для указанных условий равно 2,03. Затем проводят измерение мощности дозы на высоте полета, пересчитывают измеренное значение к высоте 1 метр умножением его на величину кратности ослабления гамма-излучения слоем воздуха при стандартных метеорологических условиях, которая равна для данного примера 0,0045 [24].

После этого умножают полученное значение на поправочный коэффициент. В результате применение разработанного способа в приведенном примере позволяет избавиться от дополнительной погрешности измерения, равной минус 50%, которая соответствует двукратному занижению результатов радиационной разведки.

Таким образом, показано, что существующие способы ведения воздушной радиационной разведки могут обладать значительной погрешностью, так как при их реализации не учитывается изменение метеорологических условий в районе разведки. Разработан способ, позволяющий снизить величину указанной погрешности до  $\pm 3\%$ , применение которого может существенно повысить достоверность результатов радиационной разведки. Кроме этого реализация разработанного способа не требует существенных конструктивных изменений в существующей аппаратуре разведки, высоких материальных затрат и может быть осуществлена в автоматическом режиме. Представленное техническое решение защищено патентом [25].

### Литература

1. Кожевников Д.А. Оценка влияния метеорологических условий на результаты воздушной разведки радиоактивно загрязненной местности // АНРИ. 2019. N 2(97). С. 91-99.
2. ГО-21. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 88 с.
3. Пат. 2554618 Российская Федерация, МПК G01T1/169 (2006.01). Способ ведения воздушной радиационной разведки местности. Садовников Р.Н., Фролов Д.В. Заявитель и патентообладатель ФГБУ «33 ЦНИИИ» МО РФ. 2013154167/28; заявл. 05.12.13; опубл. 27.06.15. Бюл. N 18. 7 с.
4. Измеритель мощности дозы ИМД-31. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЖШ1.289.183 РЭ. 1986. 132 с.
5. Измеритель мощности дозы ИМД-31-01. Руководство по технической эксплуатации. ЖШ1.289.183-01 РЭ. 1986, 104 с.
6. Комплекс ИМД-32. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ЖШ1.289.459 ТО. 1997, 85 с.
7. Коллатц Л., Крабс В. Теория приближений. Чебышевские приближения и их приложения. М.: Наука, 1978. 272 с.
8. Тихомиров В.М. Некоторые вопросы теории приближений. М.: Изд-во МГУ, 1976. 304 с.
9. Даугавет И.К. Введение в теорию приближения функций: учебное пособие. М.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. 184 с.
10. Коровкин П.П. Линейные операторы и теория приближений. М.: Физматгиз, 1959. 213 с.
11. Ахиезер Н.И. Лекции по теории аппроксимации, 2-е изд. М.: Изд-во «Наука», 1965. 408 с.
12. Дзядык В.К. Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами: монография. М.: Изд-во «Наука», 1977. 512 с.
13. Тихомиров В.М. Некоторые вопросы теории приближений. М.: Изд-во МГУ, 1976. 304 с.
14. Уолш Дж.Л. Интерполяция и аппроксимация рациональными функциями в комплексной области. М.: Гос. Изд-во иностр. лит-ры, 1961. 508 с.
15. Бердышев В.И., Петрак Л.В. Аппроксимация функций, сжатие численной информации, приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 296 с.
16. Виноградов В.Н., Гай Е.В., Работнов Н.С. Аналитическая аппроксимация данных в ядерной и нейтронной физике М.: Энергоатомиздат, 1987. 128 с.
17. Чепасов В.И. Аппроксимация функций в обычной и длинной арифметике. Германия, Саарбрюккен: Lambert Academic Publishing, 2014. 536 с.

18. Мелентьев П.В. Приближенные вычисления. М.: Физматгиз, 1962. 388 с.
19. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа: 7-е изд. М.: Физматлит, 2004. 572 с.
20. Хелемский А.Я. Лекции по функциональному анализу. М.: МЦНМО, 2004. 552 с.
21. Корнейчук Н.П. Экстремальные задачи теории приближения. М.: Изд-во «Наука», 1976. 320 с.
22. Корнейчук Н.П. Точные константы в теории приближения. М.: Изд-во «Наука», 1987. 424 с.
23. Смирнов В.И., Фадеева Л.Д., Гринина Е.А. Курс высшей математики. Том II, 24-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 848 с. – ISBN 978-5-94157-910-5.
24. Израэль Ю.А., Стукин Е.Д. Гамма-излучение радиоактивных выпадений. М.: Атомиздат, 1967. 224 с.
25. Пат. 2698499 Российская Федерация, МПК G01T1/16 (2006.01), СПК G01T1/16 (2019.02). Способ повышения достоверности воздушной радиационной разведки радиоактивно загрязненной местности. Кожевников Д.А.; заявитель и патентообладатель – ФГБУ «33 ЦНИИИ» МО РФ. 2019101379; заявл. 17.01.19; опубл. 28.08.19. Бюл. N 25. 6 с.

## Improving the Reliability of Aerial Radiation Reconnaissance Results under Changing Meteorological Parameters

Kozhevnikov Dmitriy (Federal State Budgetary Institution «The 33<sup>rd</sup> Central Research Test Institute of the Ministry of Defense of Russian Federation», Volsk-18, Russia)

**Abstract.** An analysis of the existing methods of aerial radiation reconnaissance is carried out, as a result of which it is shown that when they are used, accounting for the influence of meteorological conditions on the exploration results is absent or not fully implemented. A method has been developed to increase the reliability of aerial radiation reconnaissance results under conditions of changing meteorological parameters. The proposed analytical dependence for the correction of the results of aerial radiation reconnaissance.

**Key words:** aerial radiation reconnaissance, radioactive contamination of the area, meteorological conditions, veracity, gamma radiation, measurement error of dose rate, approximation.

Д.А.Кожевников (м.н.с.) – Федеральное государственное бюджетное учреждение «33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны Российской Федерации» (ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России, г. Вольск-18).

Контакты: тел. +7 (845) 935-38-44, доб.252; e-mail: demontoid456110@mail.ru.