

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 551.508:543.275.1

Б.А.Иванов, В.Б.Осис

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЙ СНЕГОМЕР

Исследован метод бесконтактного измерения запасов воды в снеге, основанный на регистрации ослабления естественного гамма-излучения Земли снежным покровом. Приводится описание разработанного радиоэлектронного снегомера, а также дана оценка погрешности его измерений.

Введение

В гидрометеорологической службе Украины измерение снегозапасов производится путём маршрутных съёмок с применением весового снегомера и снегомерной рейки. Точность этих измерений зависит от вариации снегозапасов по территории. Для повышения достоверности измерений, при значительной неравномерности снежного покрова, необходимо увеличивать объём снегомерных работ. Использование весового снегомера для решения этой задачи невозможно из-за большой трудоёмкости весового метода.

Эффективность снегомерных наблюдений может быть значительно увеличена, если использовать бесконтактный способ, основанный на регистрации ослабления естественного гамма-излучения Земли.

В УкрНИГМИ создан экспериментальный образец переносного радиоэлектронного снегомера, который может эксплуатироваться в условиях умеренного климата при температуре от минус 20°C до плюс 30°C. Применение разработанного снегомера повысит достоверность измерения характеристик снегозапасов при увеличении объёмов снегомерных работ.

Принцип работы измерителя

В основе принципа работы снегомера лежит метод регистрации

Наук. праці УкрНДГМІ. –2002. –Вип. 250

ослабления естественного гамма-излучения Земли. Интенсивность гамма-поля над поверхностью Земли, определяется космическим излучением и естественными радиоактивными элементами, содержащимися в приземном слое атмосферы и поверхностных слоях Земли.

Суммарная интенсивность гамма-поля, выражается формулой [1]:

$$N_{\Sigma} = N_3 + (N_k + N_a + N_{\Pi}), \quad (1)$$

где: N_3 - интенсивность гамма-излучения Земли;

N_k - интенсивность космического излучения;

N_a - интенсивность излучения атмосферы;

N_{Π} - интенсивность собственного излучения прибора.

Сумма трех последних составляющих в формуле (1) является остаточным фоном прибора ($N_{\text{ост.}}$) и для исключения её влияния на результат измерения определяется экспериментально. Для этого проводятся измерения над водоемом, глубина и акватория которого достаточны для полного поглощения излучения Земли.

Таким образом, измерив $N_{\text{ост.}}$ и N_{Σ} , можно определить интенсивность гамма-излучения Земли:

$$N_3 = N_{\Sigma} - N_{\text{ост.}} \quad (2)$$

Земная поверхность может быть представлена как бесконечно плоский источник гамма-излучения, покрытый слоем поглотителя – снежным покровом.

Ослабление гамма-излучения Земли (уравнение калибровки) определяется соотношением [1]:

$$N'_3(S) = N_3 e^{-\mu S}, \quad (3)$$

где: N'_3 - интенсивность гамма-излучения Земли над снегом;

N_3 - интенсивность гамма-излучения Земли без снежного покрова;

μ - массовый коэффициент поглощения ($\text{см}^2/\text{г}$);

S - влагозапас в снеге ($\text{г}/\text{см}^2$).

Таким образом, если до появления снежного покрова измерить величину N_3 , а затем над снегом величину ослабленного гамма-поля Земли N'_3 , то по их отношению можно определить запас воды в любой точке. В данном случае под понятием “точка” имеется в виду площадка с радиусом, равным радиусу захвата гамма-излучения Земли датчиком прибора. Радиус захвата – не менее 5 м.

Массовый коэффициент поглощения μ для энергий гамма-излучения Земли практически одинаков для элементов почвы, воды, воздуха и равен $0,03 \text{ см}^2/\text{г}$. Учитывая, что

$$T = A/N, \quad (4)$$

где: A - заданное число импульсов;

T - время набора заданного числа импульсов,

может быть получена формула для определения величины запасов воды в снеге, используемая в данном приборе:

$$S = \text{Ln}[T_{\Sigma}'(T_{\text{ост}} - T_{\Sigma}) / T_{\Sigma}(T_{\text{ост}} - T_{\Sigma}')] / \mu, \quad (5)$$

где: T_{Σ} - время набора заданного числа импульсов без снежного покрова;

T_{Σ}' - время набора заданного числа импульсов над снегом;

$T_{\text{ост}}$ - время набора заданного числа импульсов над водоемом, обеспечивающим полное поглощение гамма-излучения Земли;

S - влагозапас в снеге.

Для определения величин $T_{\text{ост}}$ и T_{Σ} в соотношении (5) достаточно иметь два калиброванных значения S для получения системы уравнений с двумя неизвестными, либо определить их экспериментально по методике, описанной в [2].

Принцип действия прибора с фиксированным заданным счётом числа импульсов представлен структурной схемой на рис. 1.

Прибор содержит сцинтиллятор, дискриминатор, блок управления, счетчик времени (часы). Блок питания состоит из умножителя, преобразователя, стабилизатора, батареи аккумуляторов. Сцинтиллятор обеспечивает детектирование гамма-излучения и содержит кристалл NaI(Tl) Ø 30x25 мм, фотоэлектронный умножитель и резистивный делитель напряжения. Выбор сцинтиллятора такого типа обеспечивает высокую чувствительность и стабильность детектора излучений.

С выхода ФЭУ импульсы подаются на вход дискриминатора, который выполняет функции фильтра и усилителя. Частота выходных импульсов дискриминатора пропорциональна интенсивности гамма-излучения.

Полученная последовательность импульсов подаётся на счётчик блока управления, где происходит счёт импульсов в двух режимах с пределами счёта: режим II – 5000 импульсов, режим I - 10000 импульсов.

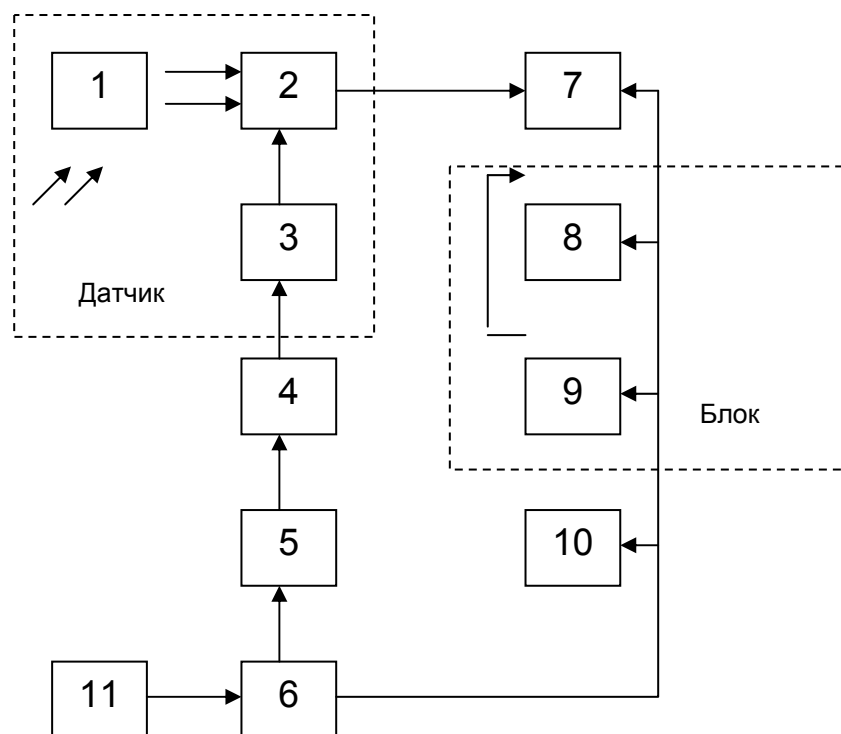


Рис. 1. Структурная схема снегомера:

1 - кристалл NaI(Tl); 2 - ФЭУ; 3 - делитель; 4 - умножитель; 5 - преобразователь; 6 - стабилизатор; 7 - дискриминатор; 8 - счетчик; 9 - схема управления и индикации; 10 - счетчик времени; 11 - блок аккумуляторов

Схема управления и индикации выполняет функции управления счётчиком времени, осуществляет автоматический останов счётчика времени по окончании цикла измерения.

Блок аккумуляторов содержит 8 аккумуляторов типа КНГЦ-1Д. Допускается также использование аккумуляторов другого типа с аналогичными характеристиками.

Стабилизатор напряжения питания – релейного типа. Принцип его работы основан на частотно-импульсной модуляции питающего напряжения. Выбранная схема обеспечивает высокий КПД и требуемый коэффициент стабилизации. Номинальное напряжение стабилизации 5В.

Преобразователь и умножитель предназначены для получения высокого напряжения питания ФЭУ (600 – 1500В).

Конструктивно прибор выполнен в виде моноблока, в котором размещены все узлы и детали прибора. На передней панели прибора

размещаются органы управления. Корпус прибора снабжён ремнём с узлами крепления, служащим для удобства переноски прибора во время проведения измерений. Конструкция обеспечивает удобство эксплуатации и ремонта. Габаритные размеры – 270х91х306 мм. Масса прибора равна 3,8 кг.

Экспериментальные исследования снегомера

На этапе разработки лабораторного макета были проведены исследования принципиальной возможности использования кристаллического датчика БДГ-68-01. Исследовалась зависимость изменения уровня воды в пластмассовой ёмкости. Результаты измерений приведены в табл.1 и представлены графиком на рис. 2. Полученные данные хорошо аппроксимируются логарифмической функцией.

Таблица 1

Экспериментальная зависимость приращения T

Толщина слоя воды S , мм	25	52	85	170	250
T , С (датчик БДГ-68-01)	13	15	39	93	187

Выполнение условия $T_{\Sigma} = T'_{\Sigma}$ соответствует точке пересечения функции с осью абсцисс (условие $S < 0$ не является рабочим диапазоном).

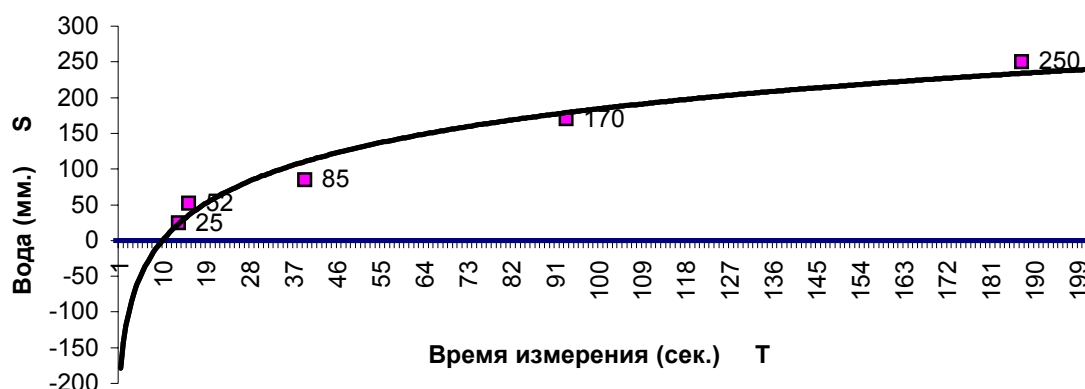


Рис.2. Результаты измерений толщины слоя воды

Для предварительной оценки метрологических характеристик прибора были проведены статистические исследования зависимости случайной составляющей погрешности от числа интегрируемых импульсов. Результаты экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость случайной погрешности измерений от числа зарегистрированных импульсов

Число импульсов	5000	10000	15000	20000	30000	40000	60000	80000	120000	160000	240000
$\Delta n, \%$	4,9	4,2	3,1	2,9	2,5	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8

Диапазон числа n интегрируемых импульсов выбран из условия заданной погрешности измерения 3% и на основании расчета суммарной погрешности измерения фона σ :

$$\sigma^2 = 2(\Delta n_{\text{и}})^2 + 2(\Delta n_{\text{ост}})^2 + (\Delta n_3)^2 + (\Delta n'_3)^2, \quad (6)$$

где: $\Delta n_{\text{и}}$ - инструментальная погрешность прибора;

$\Delta n_{\text{ост}}$ - статистическая погрешность измерения остаточного фона;

Δn_3 - статистическая погрешность измерения остаточного фона Земли без снега;

$\Delta n'_3$ - статистическая погрешность измерения остаточного фона Земли над снегом.

Условие $\Delta n_{\text{и}} = 0$ - технически легко реализуется. Полагая, что:

$$\Delta n_{\text{ост}} = \Delta n_3 = \Delta n'_3 = \Delta n,$$

получаем величину погрешности $\Delta n = \sigma/2 = 1,5\%$.

Из табл. 2 видно, что для получения заданной характеристики необходимо интегрировать $6 \cdot 10^4$ импульсов. При этом время измерения будет изменяться в зависимости от радиоактивности и высоты снежного покрова в пределах, указанных в табл.3.

Таблица 3

Зависимость времени измерения от уровня активности и высоты
снежного покрова

Активность	T _о мин (без снега)	T макс (4 м)
малая (5мкр/час)	16	60
средняя (15мкр/час)	5	20
повышенная (45мкр/час)	2	8

С учётом того, что в Украине высота снежного покрова не превышает 2 м, а грунты имеют среднюю активность, среднее время измерения будет колебаться в пределах 5÷10 минут. При таком времени измерения прибор М-100 [2], являющийся аналогом предлагаемого, имеет погрешность порядка 8%.

Полученные результаты стали основанием для разработки опытного образца М-31 по схеме отработанного макета.

Оценка погрешности измерения М-31

Проверка технических характеристик снегомера проводилась методом сравнения фоновых значений с значениями радиоактивного тестового источника. Результаты сравнения вычислены на основании ряда экспериментальных данных по соотношениям:

$$\sigma = \sqrt{\sum \Delta^2 / n(n-1)};$$

$$\gamma = \sigma * 100\% / T_{cp};$$

$$t = (T - T_{cp}) / \sigma,$$

где: σ - среднеквадратичное отклонение;

γ - погрешность измерения;

T - время регистрации значений интервалов измерения.

При доверительной вероятности $P = 0,95$ погрешность измерения фона γ_p составляет 0,37%, а источника - 0,38%.

Для оценки дополнительной погрешности измерения от влияния температуры, давления и влажности были проведены испытания в

климатической камере “Фойтрон”. Установлено, что погрешность за счет влияния температуры $\gamma_t = \pm 2,7\%$, влажности $\gamma_n = \pm 0,036\%$, давления $\gamma_p = \pm 0,38\%$.

Таким образом, суммарная дополнительная погрешность радиоэлектронного снегомера М-31 во всем диапазоне изменения климатических параметров составляет:

$$\gamma_{\text{пр}} = \pm \sqrt{\gamma_t^2 + \gamma_n^2 + \gamma_p^2} = \pm \sqrt{2,7^2 + 0,036^2 + 0,38^2} = \pm 2,73\%.$$

Влияние высоты (толщины снежного покрова) оценивалось экспериментально. Из табл.4 и графика на рис.4 видно, что в пределах рабочего диапазона эта составляющая мало меняется и, являясь систематической погрешностью, устраняется расчетным путём.

Таблица 4

Зависимость от высоты подъёма прибора

Высота, м	0,4	0,7	1,0	1,7	2,5	3,0	4,0
Время измерения, С	90,5	91,0	91,1	91,5	94,0	96,1	100,0

При этом погрешность, вносимая толщиной снежного покрова, может достигать $\sigma_h = 2,5 \cdot 100 / 93,6 = \pm 2,7\%$.

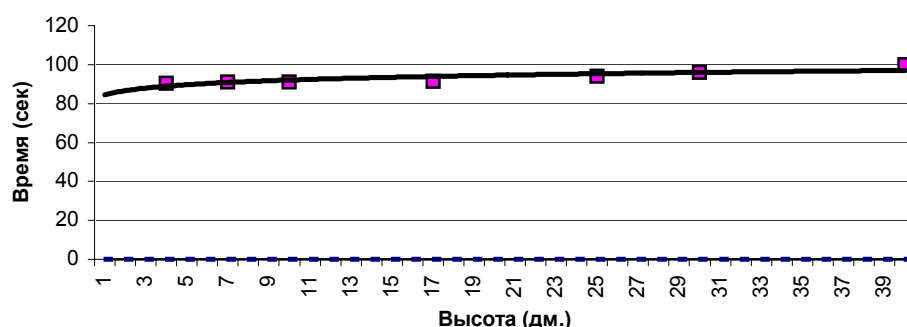


Рис.4. График зависимости времени измерения от высоты подъёма прибора

Обработку результатов измерений, а именно определение запаса воды в снеге можно проводить по табличным данным, либо в ПК. Точность обработки при необходимости может быть повышена за счет использования в качестве аппроксимирующей функции интерполяционного полинома Лагранжа [3].

Выводы

Разработан переносной радиоэлектронный снегомер М-31 использование, которого на гидрометеорологической сети вместо применяемого весового снегомера обеспечит повышенную достоверность измерений при меньших эксплуатационных затратах.

Проведена оценка метрологических характеристик прибора. Показана возможность измерения запаса воды в снеге в заданном диапазоне с погрешностью 3 – 5%.

* *

Розглядається сконструйований і виготовлений в УкрНДГМІ переносний радіоелектронний снігомір, призначений для визначення запасу води у снігу. Представлено матеріали експериментальних досліджень дослідного зразка приладу М-31. Проведено оцінку його метрологічних характеристик.

* *

1. Дмитриев А.В., Фридман Ш.Д. Основы дистанционных методов измерения влагозапасов в снеге и влажности почв по гамма излучению Земли. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 304 с.

2. Зотимов Н.В. Исследование метода измерения снегозапасов с использованием гамма-излучения Земли // Тр. ГГИ. - 1968. - Вып.152. - С. 114 -130.

3. Иванов Б.А., Максимов В.С. и др. К вопросу калибровки измерительных каналов автоматизированного актинометрического комплекса // Тр. УкрНИГМИ. -1999. - Вып. 247. - С. 227 - 232.