

В.И. Латенко, И.В. Логвиненко, Р.Д. Миронов,  
И.А. Орнатский, С.А. Филь

## **СВЕТОЛОКАЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ ПРОМІНЬ**

Для обеспечения потребности в измерителях высоты нижней границы облаков (ВНГО) разработан светолокационный цифровой измеритель ВНГО ПРОМІНЬ. Приведено описание принципа действия измерителя, выполнен анализ его технических характеристик и особенностей конструкции.

**Ключевые слова:** измеритель высоты нижней границы облаков, ВНГО, ПРОМІНЬ, метеорологический, аэродромный, цифровой, оптический.

Высота нижней границы облаков (ВНГО) является важнейшей метеорологической величиной, наблюдения за которой проводятся на всех метеорологических станциях. Оперативное и точное измерение этой величины на авиационных метеорологических станциях имеет принципиальное значение для обеспечения безопасного взлета и посадки воздушных судов. Для каждой взлетно-посадочной полосы аэродрома требуется не менее 4-х измерителей ВНГО [1].

Применяемые до сих пор измерители из серий «ИВО», «ДВО» и «РВО» повсеместно выработали свой ресурс, морально устарели и не могут быть использованы в современных автоматизированных метеорологических информационно-измерительных системах. Для переоснащения сети наблюдений необходимо несколько сотен современных измерителей ВНГО. С учетом высокой цены и дорогостоящего обслуживания импортных измерителей ВНГО актуальной была разработка недорогого отечественного измерителя.

В 2003 году по заказу Государственной гидрометеорологической службы Украины в рамках ОКР в ГНПП «СПЕЦАВТОМАТИКА» был разработан современный цифровой прибор «Измеритель высоты нижней границы облаков ПРОМІНЬ» (далее по тексту – измеритель ПРОМІНЬ).

Многолетний положительный опыт эксплуатации светолокационных измерителей ВНГО в СССР и в Украине, преимущества перед широко распространенными лазерными измерителями при работе в сложных метеорологических условиях (при наличии дымки, осадков, тумана и т.д.) обусловил выбор светолокационного принципа измерения. Такое решение позволило использовать в измерителе ПРОМІНЬ серийно выпускаемые оптические узлы и тем самым снизить его себестоимость.

Разработанный измеритель ПРОМІНЬ успешно прошел Государственные приемочные испытания в ГНПП «СПЕЦАВТОМАТИКА», Государственные контрольные испытания в УкрНИГМИ и предприятии ООО «НВК Спецавтоматика» и занесен в Государственный реестр средств измерительной техники под №У1786-07. Он также получил сертификат типа аэродромного оборудования №АТ 4020 и принят на снабжение МО Украины.

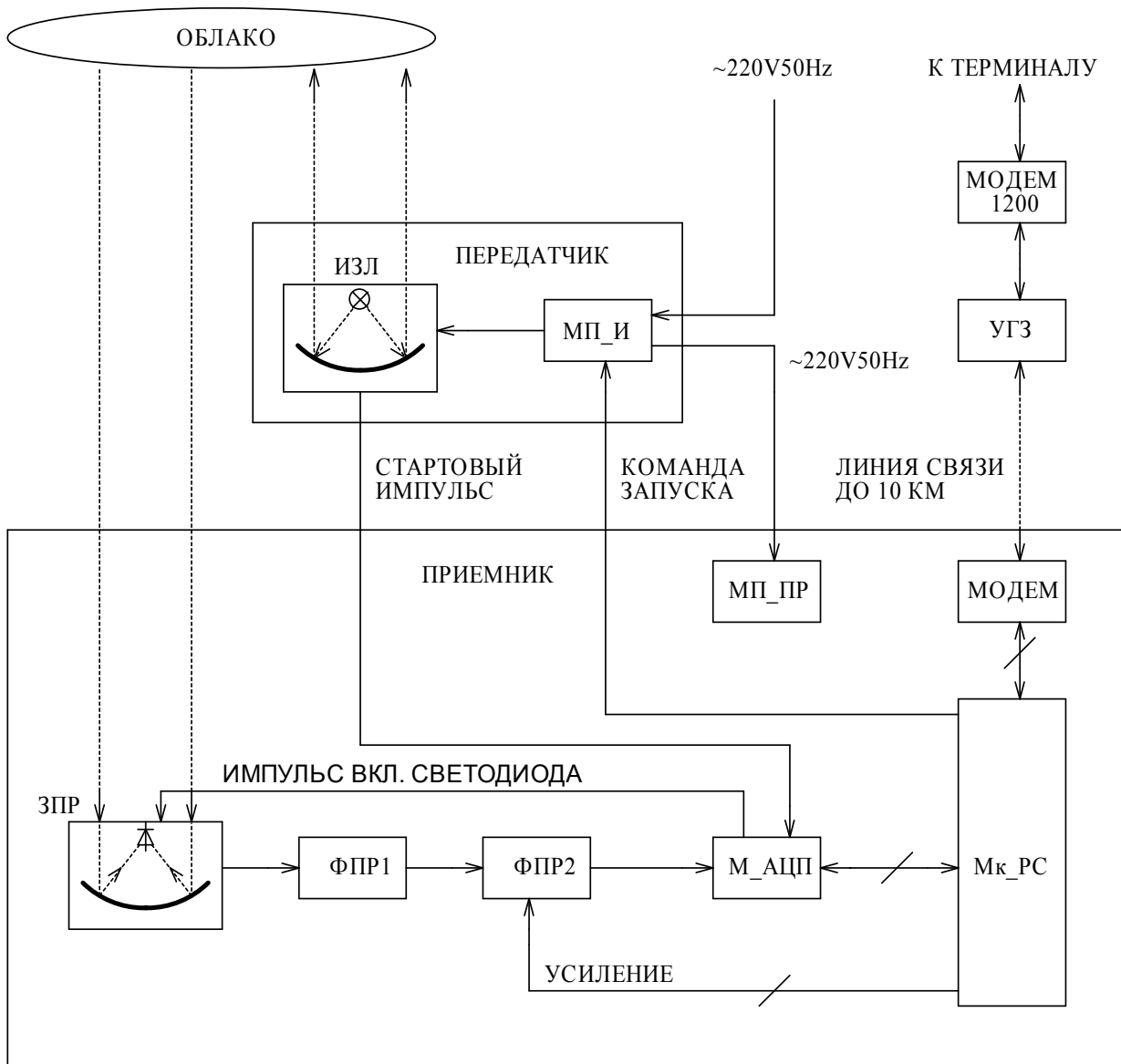
Внешний вид измерителя ВНГО ПРОМІНЬ приведен на рис. 1 (приемник и передатчик показаны рядом).



Рис. 1. Внешний вид измерителя ВНГО ПРОМІНЬ

Структурная схема измерителя ПРОМІНЬ приведена на рис. 2. По физическому принципу работы прибор представляет собой оптический светодальномер: величина ВНГО вычисляется по времени

распространения светового импульса до объекта (облака) и обратно. Приемник и передатчик измерителя устанавливаются на открытом воздухе непосредственно в месте измерения на расстоянии 10 м один от другого.



ИЗЛ - Излучатель  
 ЗПР - Зеркало приемника  
 ФПР1 - Фотоприемник 1  
 ФПР 2 - Фотоприемник 2  
 М\_АЦП - Модуль АЦП  
 МОДЕМ- Модуль модемный

МП\_И - Модуль питания излучателя  
 МП\_ПР - Модуль питания приемника  
 Мк\_РС - Встроенный компьютер (Micro\_PC)  
 УГЗ - Устройство грозозащиты  
 МОДЕМ 1200 - Модем 1200

Рис. 2. Структурная схема измерителя

В помещении оператора размещается только модем и грозозащитное устройство. Длина линии связи может быть до 10 км. Остальная аппаратура измерителя ПРОМНЬ размещена внутри корпусов приемника и передатчика.

В качестве терминала может использоваться персональный компьютер с установленным специализированным программным обеспечением или терминал, входящий в состав автоматизированной метеорологической информационно-измерительной системы.

Управление работой всей аппаратуры измерителя и обработка цифровой информации выполняется автоматически с помощью специализированной программы, установленной во встроенном в приемник компьютере (Мк\_РС). Весь процесс измерения состоит из множества операций, которые можно объединить в отдельные законченные процедуры. Рассмотрим две из них.

***Процедура получения цифрового сигнала.*** Для активизации процедуры встроенный в приемник компьютер (Мк\_РС) формирует команду запуска, которая поступает в передатчик – в модуль питания излучателя (МП\_И). По команде запуска в модуле питания излучателя формируется напряжение поджига импульсной лампы.

Импульсная лампа расположена в фокусе зеркала излучателя (ИЗЛ). Свет от лампы фокусируется зеркалом в пучок, направленный вертикально вверх. В момент вспышки формируется стартовый сигнал, который фиксирует начало отсчета времени и выключает источник напряжения поджига.

Отраженный от объекта (облака) световой импульс фокусируется зеркалом приемника на чувствительном элементе фотоприемника ФПР1. Выходной сигнал ФПР1 поступает в усилительный модуль ФПР2, размещенный под зеркалом вместе с остальными узлами приемника.

В модуле аналого-цифрового преобразователя (М\_АЦП) происходит преобразование аналогового сигнала фотоприемника в цифровой вид. Преобразование запускается стартовым импульсом от передатчика. После запуска преобразования на выходе микросхемы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) синхронно с тактовой частотой 20 МГц формируются 12-разрядные значения выборок входного сигнала, которые последовательно записываются в 12-разрядный регистр FIFO. После заполнения регистра значения первых 500 выборок сигнала считываются встроенным компьютером (Мк\_РС).

Совокупность значений выборок входного сигнала представляет собой отраженный сигнал в цифровом виде. На рис. 3 представлен пример такого цифрового сигнала.

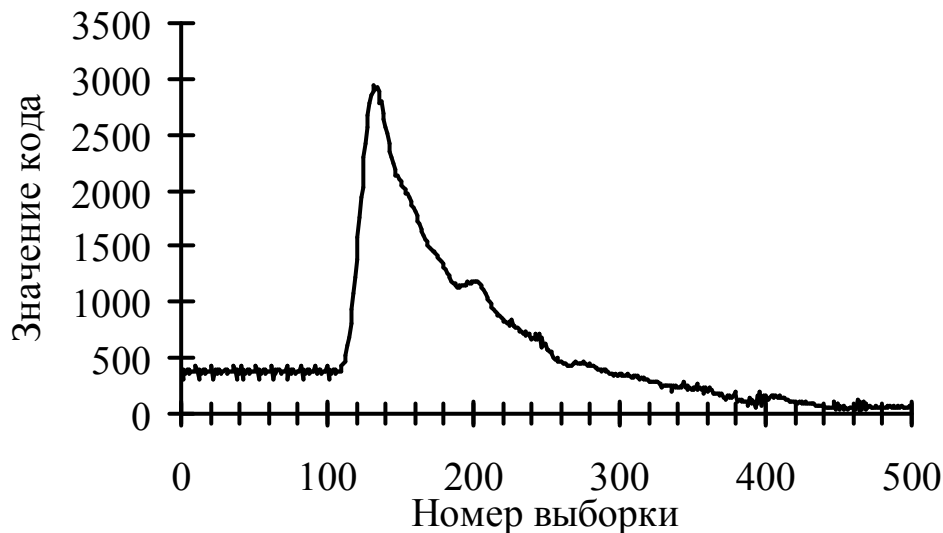


Рис. 3. Цифровой сигнал

По оси абсцисс отложены номера выборок через равные промежутки, следовательно, ось абсцисс представляет собой ось времени (высоты) в масштабе 50 нс (7,5 м) на 1 деление. По оси ординат отложены численные значения 12 - разрядного кода амплитуды выборок. В памяти встроенного компьютера в результате выполнения описанной процедуры остается записанным в цифровом виде сигнал, принятый приемником.

**Процедура автоматической регулировки усиления.** Процедура автоматической регулировки усиления (АРУ) предназначена для уменьшения динамического диапазона входных сигналов модуля АЦП, поскольку амплитуда входного сигнала может изменяться в широких пределах в зависимости от высоты и плотности облаков.

В составе фотоприемника ФПР2 имеется усилитель, коэффициент усиления которого задается программными средствами путем записи в него соответствующего цифрового кода. В начале процесса измерения устанавливается значение коэффициента усиления, которое было в предыдущем измерении. Если это первое измерение после включения питания измерителя, то устанавливается минимальное значение коэффициента усиления.

Затем встроенный компьютер запускает процедуру получения цифрового сигнала и определяет максимальное из 500 выборок значение (амплитуду) цифрового сигнала. Рассчитывается значение коэффициента усиления, при котором амплитуда цифрового сигнала была бы равной  $2/3$  максимального значения диапазона АЦП.

Цифровой код, соответствующий вычисленному значению коэффициента усиления, заносится в управляемый усилитель в ФПР2 и снова выполняется процедура получения цифрового сигнала.

Процесс АРУ прекращается при выполнении одного из условий:

а) значение амплитуды цифрового сигнала больше  $2/3$  максимальной и не превышает динамический диапазон модуля АЦП;

б) значение амплитуды меньше  $2/3$  максимальной при максимальном усилении;

в) амплитуда превышает динамический диапазон модуля АЦП при минимальном усилении (аварийная ситуация).

При возникновении аварийной ситуации измерение прекращается и в удаленный терминал выдается сообщение об ошибке и код ошибки.

Обычно для завершения процесса АРУ процедура получения цифрового сигнала выполняется 1-2 раза, соответственным будет и количество вспышек лампы.

Рассмотрим *процесс измерения в целом*. Измерение ВНГО выполняется по запросу, поступающему от терминала по линии связи, во встроенный компьютер (Мк\_РС). Получив запрос, компьютер сначала выполняет процедуру АРУ, затем 4 раза повторяет процедуру получения цифрового сигнала. При этом компьютер вычисляет усредненное значение 5-и последних выборок, для которых был установлен выбранный коэффициент усиления.

По значению амплитуды отраженного сигнала выбирается требуемое дополнительное количество усреднений из двух вариантов: еще 5 или максимальное количество. Максимальное количество задается таким образом, чтобы общее количество вспышек лампы вместе с процедурой АРУ было равным 15. В результате такого усреднения соотношение сигнал/помеха увеличивается в  $\sqrt{n}$  раз, где  $n$  – количество усреднений (от 5 до 15).

Дальнейшая обработка сигнала выполняется исключительно программными средствами встроенного компьютера. На рис. 4

представлен усредненный цифровой сигнал в упрощенном графическом виде.

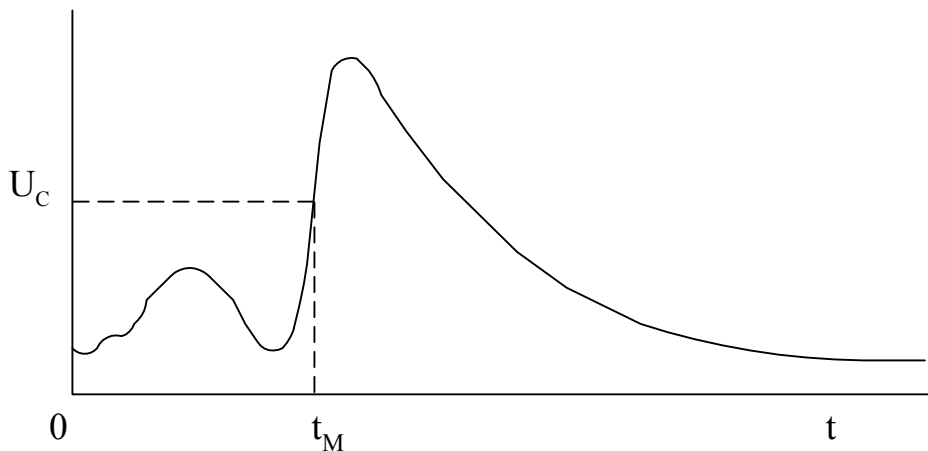


Рис. 4. Временная задержка сигнала

Начало временной оси привязано к моменту излучения лампы, так как АЦП запускается стартовым импульсом от лампы (см. выше). По этой причине во временной задержке сигнала относительно начала оси времени заключено значение времени распространения светового импульса  $t$ . Момент прихода отраженного сигнала  $t_M$  фиксируется по середине его фронта. Для этого программа определяет точки начала и конца фронта импульса на оси времени, вычисляет уровень середины фронта импульса  $U_C$  и определяет время  $t_M$  как координату точки пересечения фронта импульса с этим уровнем. Значение задержки импульса можно представить в виде:

$$t_M = t + t_A, \quad (1)$$

где  $t$  – время распространения света,  $t_A$  – аппаратная задержка сигнала в цепях измерителя.

Для смещения фронта отраженного сигнала относительно начала координат при малых значениях ВНГО в измерительный канал приемника введена дополнительная линия задержки (ЛЗ).

Поскольку аппаратная задержка в цепях измерителя, включающая задержку в ЛЗ, есть величина постоянная [2], то она измеряется один раз при калибровке измерителя и потом хранится в памяти компьютера, как константа. Тогда из (1) можно получить формулу для вычисления времени распространения сигнала:

$$t = t_M - t_A. \quad (2)$$

Значение ВНГО вычисляется по формуле:

$$H = \frac{c \cdot t}{2}, \quad (3)$$

где  $c$  – скорость света.

Результат измерения передается по линии связи из компьютера приемника в удаленный терминал.

Приемник и передатчик измерителя оборудованы автоматическим подогревом стекол (на структурной схеме не показано) для удаления жидких и твердых осадков. Подогрев включается и выключается автоматически по команде сенсора температуры стекла, который установлен на стекле приемника с внутренней стороны. В качестве нагревателя используется специальное покрытие стекол приемника и передатчика, нанесенное на внутреннюю поверхность стекол.

Основные технические характеристики измерителя ВНГО ПРОМІНЬ:

1. Диапазон измерения: 15-2000 м.
2. Погрешность измерения:
  - в диапазоне измерения от 15 до 100 м, не более  $\pm 10$  м;
  - в диапазоне измерения от 100 до 2000 м, не более  $\pm(0,02 \cdot H + 8)$  м, где  $H$  – измеренная высота в метрах.
3. Минимальный период опроса – 15 с.

При сертификационных испытаниях измерителя на АМСГ Киев (Жуляны) были проведены параллельные наблюдения ВНГО с помощью измерителя ПРОМІНЬ и измерителя LD12 фирмы IMPULSPHYSIK, Германия. Анализ данных наблюдений показал хорошее совпадение результатов измерений в диапазоне высот от 15 до 3000 метров, в том числе в сложных метеорологических условиях (туман, дымка, осадки).

Дополнительно на АМСГ Харьков были проведены параллельные наблюдения с помощью измерителей ЛВВХ-1, ИВО-1 и ПРОМІНЬ. Измеритель ПРОМІНЬ показал лучшие результаты измерений ВНГО при низкой облачности, осадках, тумане и дымке по сравнению с лазерным измерителем. При осадках измеритель ЛВВХ-1 не обнаруживал облачность на высотах 200-300 метров, когда ИВО-1 и ПРОМІНЬ ее фиксировали.

За счет применения современных элементов, замены фотоэлектронного умножителя полупроводниковым фотоприемником



характеристики прибора сохраняются длительное время. Калибровка измерителя ПРОМІНЬ выполняется при изготовлении прибора и отсутствует необходимость в ее повторении на протяжении всего срока службы (10 лет).

Использование оптимального алгоритма измерения и рационально спроектированного высоковольтного импульсного источника питания в измерителе ПРОМІНЬ позволило существенно увеличить срок службы импульсной лампы. Если в измерителях ИВО-1 и РВО лампа служила не более 6 месяцев, то в измерителе ПРОМІНЬ срок её службы – 8-10 лет.

Использование встроенного компьютера в измерителе ПРОМІНЬ позволило реализовать ряд дополнительных функций. Так встроенный компьютер обеспечивает диагностику и проверку работоспособности измерителя. Все модули измерителя настраиваются таким образом, что различие параметров у однотипных модулей не превышает единиц процентов, поэтому они полностью взаимозаменяемы. Наличие дистанционной диагностики, взаимозаменяемость однотипных модулей и сама модульная структура измерителя ПРОМІНЬ обеспечивают его высокую ремонтпригодность.

В измерителе ПРОМІНЬ предусмотрена возможность передачи на терминал и записи в базу данных усредненного цифрового сигнала. Визуализация отраженного сигнала дает оператору дополнительную информацию для более правильного распознавания облаков, особенно при сложных погодных условиях, а также позволяет использовать измеритель для различных исследований [3].

В настоящее время 32 образца измерителя ПРОМІНЬ успешно эксплуатируются на различных метеостанциях Украины.

### **Выводы**

1. На сегодняшний день в Украине существует острая потребность в современных измерителях ВНГО.

2. Разработанный измеритель ПРОМІНЬ полностью отвечает современным требованиям к измерителям ВНГО.

3. Небольшая стоимость, высокие эксплуатационные характеристики, хорошая ремонтпригодность измерителя делают его конкурентоспособным при переоснащении метеостанций Украины.

\* \*

1. Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України // Наказ Державіаслужби від 17.03.2006, № 201.
2. Латенко В.И., Логвиненко И.В., Миронов Р.Д., Якименко Н.И. Высота нижней границы облаков и вертикальная видимость как измеряемые величины // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2009. – Вип. 258. – С. 209-217.
3. Швень Н.І., Павленко О.А. Орнатський І.А. Методичні аспекти світлолокаційних вимірювань нижньої межі хмар // Фізична географія та геоморфологія. – 2009. – Вип. 57. – С. 90-95.

*Український науково-дослідний  
гідрометеорологічний інститут, Київ*

**В.І. Латенко, І.В. Логвиненко, Р.Д. Миронов, І.А. Орнатський,  
С.О. Філь**

### **Світлолокаційний вимірювач висоти нижньої межі хмар ПРОМІНЬ**

*Для забезпечення потреби у вимірювачах висоти нижньої межі хмар (ВНМХ) розроблено світлолокаційний цифровий вимірювач ВНМХ ПРОМІНЬ. Наведено опис принципу дії вимірювача, виконано аналіз його технічних характеристик і особливостей конструкції.*

**Ключові слова:** вимірювач висоти нижньої межі хмар, ВНМХ, ПРОМІНЬ, метеорологічний, аеродромний, цифровий, оптичний.

**V.I. Latenko, I.V. Logvynenko, R.D. Myronov, I.A. Ornatsky, S.O. Fil**

### **Optic locating ceilometer PROMIN**

*The digital optic ceilometer PROMIN was developed to meet the need of cloud base height meters. The mode of functioning of the measuring device is described. The analysis of its performance attributes and specific design features were accomplished.*

**Keywords:** ceilometer, cloud base height, PROMIN, meteorological, airfield, digital, optical.