

УДК 621.317

КОРРЕКЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ВЫСОКОТОЧНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ
ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРАХ

И.А. Брагинец¹, канд.техн.наук, Е.А.Зайцев¹, А.Г. Кононенко¹, канд.техн.наук, Ю.А. Масюренко¹, канд.техн.наук, А.Д. Ниженский¹, докт.техн.наук, В.И. Латенко², канд.техн.наук, И.А. Орнатский², канд.техн.наук

¹ – Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина,

² – Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт УкрНИГМИ,
пр. Науки, 37, Киев-28, 03028, Украина.

Рассмотрено применение предложенных алгоритмов функционирования и схемотехнических решений задачи коррекции погрешностей в импульсных лазерных дальномерах, представлена и описана соответствующая структурная схема дальномера. Особое внимание уделено определению параметров корректирующего воздействия, используемого для коррекции погрешности, возникающей при изменении амплитуды и формы отраженного от контролируемого объекта светового сигнала. Показано, что применение метода наименьших квадратов, ориентированного на оценку результатов экспериментальных исследований, позволяет существенно уменьшить погрешность из-за нелинейности характеристик преобразовательных звеньев импульсных дальномерных систем. Приведены таблицы, содержащие численные значения параметров корректирующего воздействия, а также таблица погрешностей измерения расстояния, вычисленных на основании результатов экспериментальных исследований, выполненных на макете импульсного дальномера. Библ. 6, табл. 3, рис. 2.

Ключевые слова: импульс, лазер, расстояние, временной интервал.

В высокоточных импульсных лазерных дальномерах для определения времени, затраченного на прохождение световым импульсом двойного измеряемого расстояния, фиксируется число калиброванных электрических импульсов N , расположенных между излучаемым и принимаемым световыми импульсами, и дополнительно определяются временные интервалы неопределенности T_1 и T_2 между импульсами "старт" и "стоп" и следующим за ними калиброванным импульсом [4]. В этом случае определяемый временной интервал t_x , пропорциональный измеряемому расстоянию, равен

$$t_x = T_1 + N / f_0 - T_2, \quad (1)$$

где f_0 – частота калиброванных импульсов.

Как правило, импульсные лазерные дальномеры предназначены для работы с диффузно-отражающими объектами в диапазоне измеряемых расстояний от 3 до 300 м. При этом аддитивная погрешность при проведении таких линейных измерений не должна превышать 3...5 мм. Отсюда сложность разработки импульсных дальномеров обусловлена жесткими требованиями к точности измерения временных интервалов (погрешность измерения составляет десятые-сотые доли наносекунд). Это объясняется тем, что значение временной задержки всего в одну наносекунду соответствует в единицах длины 150 мм.

В высокоточных импульсных лазерных дальномерах для уменьшения влияния на точность измерения вариаций параметров передающего и приемного оптических трактов прибора предложено использовать два режима работы: режим оптической калибровки и режим измерения дальности [1]. При этом результирующий временной интервал, пропорциональный измеряемой дальности, определяется как разность результатов измерений временных интервалов в указанных режимах работы.

Точность измерения временных интервалов t_x по указанному выше алгоритму определяется, в основном, точностью фиксации временного положения импульсов "старт" и "стоп" и точностью измерения интервалов неопределенности T_1 и T_2 . Среди устройств, решающих задачу фиксации момента измерения времени, наиболее целесообразно использовать рассмотренную в [1] схему двухпорого-

© Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д., Латенко В.И., Орнатский И.А., 2012

вого фиксатора временного положения импульсов с одновременным формированием следящих порогов. В таком устройстве помимо формирования импульса, используемого для измерения временных интервалов, вырабатывается временной интервал (корректирующее воздействие), измерив который и проведя соответствующие вычисления можно скорректировать погрешности измерения расстояния, обусловленные изменением амплитуды и формы принимаемого сигнала. Измерять короткие временные интервалы неопределенности с достаточно высокой точностью можно, предварительно преобразовав их в напряжение. Работа таких измерительных преобразователей основана на заряде конденсатора и последующем измерении амплитуды напряжения [5]. Погрешность из-за нелинейности и нестабильности коэффициента преобразования указанных устройств уменьшается за счет применения электрической калибровки преобразователя при значениях временных интервалов T_0 и $2T_0$ и обработки результатов измерения по специальному алгоритму [4]. В соответствии с этим алгоритмом значения интервалов неопределенности определяется из выражения

$$T_x = \frac{U(T_x) - U(T_0)}{U(2T_0) - U(T_0)} \cdot T_0 + T_0, \quad (2)$$

где $U(T_x)$ – напряжение на выходе преобразователя временной интервал–напряжение (ПВИН), пропорциональное измеряемому временному интервалу неопределенности; $U(T_0)$ и $U(2T_0)$ – напряжения на выходе ПВИН, пропорциональные соответственно периоду и удвоенному периоду калиброванных временных импульсов.

При работе импульсных лазерных дальномеров в широком диапазоне измеряемых расстояний для уменьшения влияния на результат измерения амплитуды принимаемого светового импульса помимо использования схем двухпороговых фиксаторов временного положения импульсов с одновременным формированием следящих порогов требуется установка перед фотоприемником оптического attenuатора. Указанное обстоятельство влияет на быстродействие дальномера, поскольку для установления attenuатора необходимо дополнительное время. В ряде применений, например, в металлургической промышленности для контроля внутренней поверхности конверторов и ковшей требуется от дальномера достаточно высокое быстродействие (порядка единиц миллисекунд) при сохранении высокой точности измерения, так как для оценки профиля ковша или конвертора необходимо произвести измерения расстояния до более чем 20 тыс. точек на их поверхности за очень короткий промежуток времени. Такие жесткие требования ко времени измерения объясняются тем, что сама измерительная аппаратура располагается достаточно близко (не более 30 м) к исследуемому объекту, нагретому до 1800°C . В принципе для улучшения быстродействия дальномера было предложено ввести быстродействующий электрический attenuатор, включаемый в низкочастотной части схемы непосредственно перед измерителем временных интервалов [2]. Однако, как показали экспериментальные исследования, даже при относительно небольшой относительной разности амплитуд импульсов в режимах оптической калибровки и измерения расстояния до исследуемого объекта погрешность из-за нелинейности амплитудных характеристик широкополосных усилителей, используемых для усиления выходных сигналов фотоприемников, относительно велика и составляет $0,1 \dots 0,2$ нс или в единицах длины $15 \dots 30$ мм. Поэтому в данном случае представляется целесообразным использовать электрический attenuатор, включаемый сразу после усилителя сигнала фотоприемника.

Целью работы является экспериментальная оценка эффективности описанных выше алгоритмических и схемотехнических решений, направленных на повышение точности импульсных лазерных дальномерных систем. Кроме того, к числу задач, которые решаются в данной статье, относятся разработка широкополосного быстродействующего электрического attenuатора и схемы управления им, а также оценка параметров корректирующего воздействия, вырабатываемого двухпороговым фиксатором временного положения импульсов.

На рис. 1 показана структурная схема высокоточного импульсного лазерного дальномера, при практической реализации которой могут быть решены поставленные выше цели и задачи. На схеме приняты следующие условные обозначения: ЛИ – лазерный излучатель; З – зеркало; СВ – световое окно; Об – объектив; ФП1, ФП2 – фотоприемники; ШУ1, ШУ2 – широкополосные усилители; К1...К3 – коммутаторы; Атт – электрический attenuатор; ДФВПИ – двухпороговый фиксатор временного положения импульса; ПВАН – преобразователь временного интервала в амплитуду напряжения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь напряжения; ИАИ – измеритель амплитуды импульса; БФИУС – блок формирования измерительных и управляющих сигналов; КГ – кварцевый генератор; МС – микропроцессорная система; ОУ – отсчетное устройство.

Управление работой прибора осуществляется МС в соответствии с заданной программой, а преобразовательные процессы в схеме синхронизируются прямоугольным напряжением КГ номинальной частоты $f_0 = 10,0$ МГц.

Процесс определения расстояния состоит из нескольких этапов

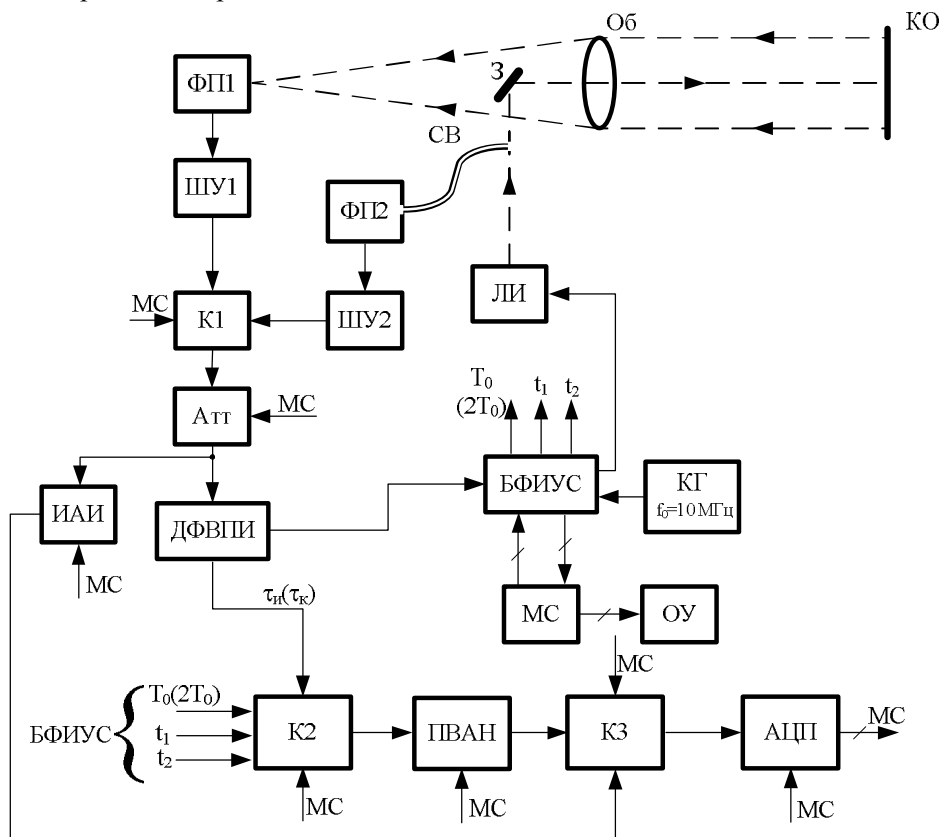


Рис. 1

1. Запускается лазерный излучатель и с помощью зеркала 3 световой импульс направляется на дистанцию. Затем ИАИ измеряется амплитуда отраженного от КО оптического сигнала, преобразованного посредством ФП1 и ШУ1 в электрический сигнал. При этом аттенюатор АтТ первоначально установлен в положение, соответствующее его минимальному коэффициенту передачи. Данные измерений после преобразования в АЦП передаются в МС, где по значению амплитуды отраженного сигнала вырабатываются управляющие напряжения, устанавливающие АтТ в соответствующее положение.

2. Измерение расстояния "грубо". При этом в БФИУС оценивается временной интервал между опорным импульсом, сформированным в БФИУС после поступления от МС сигнала "Пуск", и импульсом "стоп", поступающим в БФИУС с выхода ДФВПИ путем подсчета укладывающихся между ними целого числа калиброванных временных импульсов N . В этом случае на вход ДФВПИ через последовательно включенные ШУ1, К1 и АтТ подается выходной сигнал ФП1.

3. Измерение временного интервала t_1 между опорным импульсом и импульсом "старт", соответствующего режиму "оптическая калибровка". В этом случае импульс "старт" формируется путем ответвления с помощью СВ части светового излучения ЛИ и подачи его на вход ФП2. Импульс напряжения с выхода ФП2 через последовательно включенные ШУ2, К1, переведенный МС в другое положение, и АтТ подается на вход ДФВПИ, причем АтТ устанавливается МС в положение, соответствующее режиму "оптическая калибровка". Полученный импульс "старт" поступает в БФИУС, в котором формируется импульс напряжения прямоугольной формы с длительностью, равной временному интервалу t_1 . Этот импульс через К2, управляемый МС, подается на вход ПВАН. Выходное напряжение ПВАН через К3 поступает на вход АЦП. После преобразования полученный цифровой код, численное значение которого пропорционально t_1 , переписывается в память МС.

Кроме оценки t_1 в режиме "оптическая калибровка" определяется длительность τ_k прямоугольного импульса напряжения (корректирующее воздействие), который формируется на соответ-

вующем выходе ДФВПИ. Этот импульс через К2, управляемый МС, подается на вход ПВАН, после чего оценивается и запоминается значение τ_k .

4. Измерение временного интервала t_2 между опорным импульсом, задержанным на время, равное $(N-1) \cdot T_0$, и импульсом "стоп", который формируется в режиме измерения расстояния до контролируемого объекта из выходного сигнала ФП1, принимающего отраженный от КО световой импульс. Выходной импульс ФП1 после усиления ШУ1 через К1, Атт и ДФВПИ подается на вход БФИУС. В этом случае Атт предварительно устанавливается МС в положение, соответствующее значению амплитуды отраженного от КО светового сигнала, определенному на 1-ом этапе измерения. В блоке БФИУС формируется импульс напряжения прямоугольной формы, длительность которого равна временному интервалу t_2 . Этот импульс через К2, коммутируемый МС, подается на вход ПВАН. После преобразования с помощью АЦП выходного напряжения ПВАН полученный цифровой код, численное значение которого пропорционально t_2 , переписывается в память МС.

В режиме измерения расстояния определяется также длительность $\tau_{и}$ прямоугольного импульса напряжения (корректирующее воздействие), который формируется на соответствующем выходе ДФВПИ в этом режиме работы дальномера. Этот импульс через К2, управляемый МС, подается на вход ПВАН, после чего оценивается и запоминается значение $\tau_{и}$.

5. Измерение T_0 и $2T_0$ (калибровка ПВАН). В блоке БФИУС формируются прямоугольные импульсы напряжения, длительности которых равны временным интервалам T_0 и $2T_0$. Последние измеряются уже описанным выше способом с помощью ПВАН, а их значения в цифровом виде переписываются в память МС.

6. Вычисление значений t_1 , t_2 и t_x . Значение t_x , пропорциональное измеряемому расстоянию, вычисляется в соответствии с выражением

$$t_x = (N - 1) \cdot T_0 + t_2 - t_1. \quad (3)$$

Значения t_1 и t_2 в (3) уточняются в соответствии с алгоритмом (2) по данным, полученным при измерении T_0 и $2T_0$.

7. По данным измерения τ_k и $\tau_{и}$ вычисляется результирующее корректирующее воздействие $\Delta\tau_{кор} = k(\tau_{и} - \tau_k)$, которое используется в дальнейшем для компенсации погрешности в значении t_x , обусловленной изменением формы отраженного светового импульса и конечным значением порога чувствительности компаратора в схеме ДФВПИ. Наши предложения для оценки коэффициента коррекции k в выражении для $\Delta\tau_{кор}$ будут рассмотрены ниже.

Следует отметить, что одним из основных блоков рассмотренной схемы импульсного дальномера является БФИУС, подробное описание которого можно найти в [4]. Другим блоком рассмотренной схемы дальномера, которому авторами уделено внимание, является электрический аттенюатор Атт. В этой связи нами разработан широкополосный аттенюатор напряжений, принципиальная схема которого показана на рис. 2.

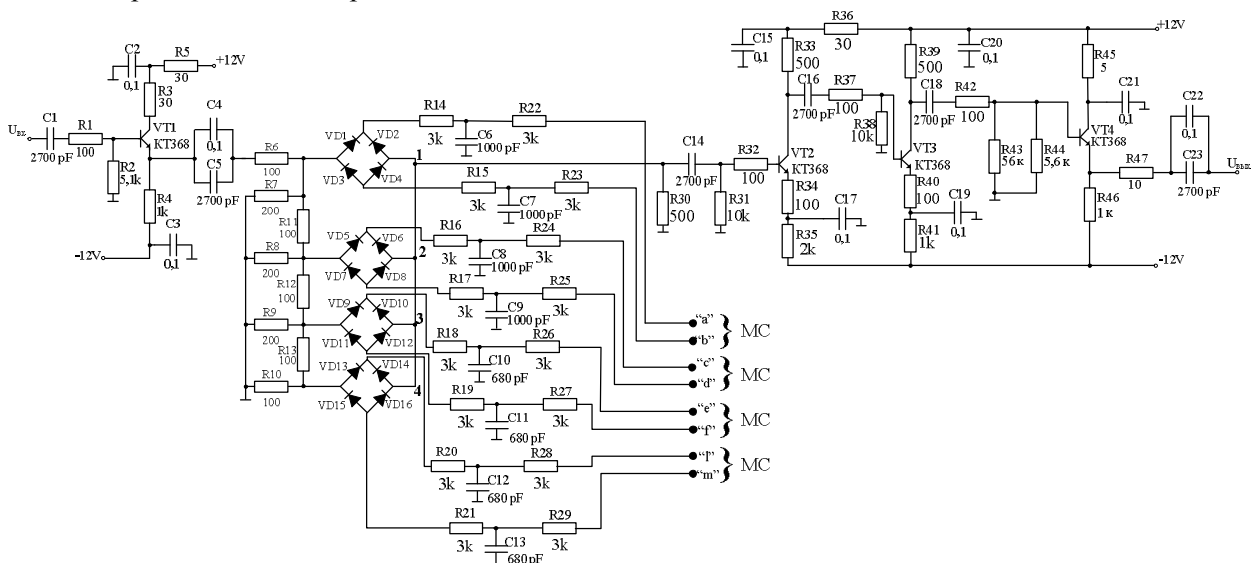


Рис. 2

Входной каскад аттенюатора выполнен на транзисторе VT1. Для реализации аттенюатора использован низкоомный четырехзвенный резистивный делитель напряжений (R6...R13) с коэффициентом деления каждого звена 1:2. Переключение делителя осуществляется с помощью 4-х мостов, собранных на высокочастотных диодах VD1...VD16 типа КД511. Управляющие напряжения (± 12 В) подаются на мостовые схемы в точки "a" и "b", "c" и "d", "e" и "f", "l" и "m" от микропроцессорной системы МС. Если, например, в точки "a" и "b" подаются соответственно -12 В и $+12$ В, то все четыре диода моста VD1...VD4 открыты. При этом на выход моста передается его входное напряжение. При изменении полярности управляющих напряжений все диоды моста закрываются, и выход мостовой схемы будет изолирован от входа. Аналогично управляются и остальные мостовые схемы. Выходы "1", "2", "3" и "4" диодных мостовых схем подключены ко входу усилителя, выполненного на транзисторах VT2...VT4. Выходное напряжение усилителя $U_{\text{вых}}$ используется далее для фиксации временного положения принимаемого светового импульса. В зависимости от значения $U_{\text{вых}}$ в МС формируются управляющие напряжения, устанавливающие необходимый коэффициент деления аттенюатора. Первоначально аттенюатор устанавливается в положение "4", соответствующее его минимальному коэффициенту передачи. Последовательное переключение выходов "4", "3", "2" и "1" завершается при выполнении условия $U_{\text{вых}} > 1$ В. При этом коэффициент передачи аттенюатора в режиме оптической калибровки при заданном сигнале на его входе выбирается из условия $U_{\text{вых}} \approx 1,4$ В.

С учетом использования в схеме дальномера электрического аттенюатора Атт проведена оценка коэффициента k в (3) для определения корректирующего воздействия $\Delta\tau_{\text{кор}}$ для последующего уточнения результата измерения расстояния. Принимая во внимание нелинейность амплитудных характеристик усилителей выходных сигналов фотоприемников ШУ1 и ШУ2, коэффициент коррекции k может быть представлен в виде

$$k = k_0 + \alpha(U1 - U2) \quad \text{или} \quad k = k_0 + \alpha'(U1^2 - U2^2), \quad (4)$$

где $U1, U2$ – напряжения на выходе аттенюатора Атт в режимах соответственно оптической калибровки и измерения расстояния; α, α' – коэффициенты, учитывающие зависимость k соответственно от разности напряжений $U1, U2$ или разности квадратов этих напряжений, размерности α и α' соответственно $1/\text{В}$ и $1/\text{В}^2$; k_0 – постоянный безразмерный коэффициент.

Оценка значений k_0, α и α' проводилась на основании экспериментальных данных измерений, выполненных при различных положениях аттенюатора, то есть при разных значениях $U1$ и $U2$. Для уменьшения случайной погрешности оценки k_0, α и α' использован метод наименьших квадратов [6]. В соответствии с [6] зависимость (4) может быть представлена линейной функцией вида

$$y = ax + b, \quad (5)$$

в которой на основании полученных экспериментально значений (x_i, y_i) , где $i = 1, 2, \dots, n$, необходимо методом наименьших квадратов подобрать параметры a и b . В результате проведенных в [5] математических преобразований найдено

$$b = m_y - a \cdot m_x; \quad a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}; \quad m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i. \quad (6)$$

В рассматриваемом случае $x_i = U1_i - U2_i$ или $x_i = U1_i^2 - U2_i^2$, а $y_i = k_i$. Значения k_i вычислялись по данным измерения τ_i и τ_k при каждом значении $U1, U2$ и заданном с необходимой точностью измеряемом расстоянии.

В соответствии с рассмотренным методом наименьших квадратов и с учетом экспериментальных данных были получены численные значения k_0, α и α' для разных положений аттенюатора при линейной и квадратичной зависимости k от разности напряжений $U1$ и $U2$. Данные вычислений приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Положение аттенюатора	k_0	α
1	0,582	0,287
2	0,588	0,168
3	0,458	0,004

Таблица 2

Положение аттенюатора	k_0	α'
1	0,591	0,133
2	0,594	0,081
3	0,459	0,018

Эти данные были использованы для экспериментальной оценки эффективности применения предлагаемой схемы коррекции на разработанном авторами и изготовленном макете дальномера. С

этой целью в каждом из положений аттенюатора выставляется уровень его выходного сигнала, равный $U1 \approx 1,4$ В и измеряется временной интервал T_{x1} , пропорциональный заданной дальности. После этого устанавливается уровень выходного сигнала аттенюатора $U2$ в диапазоне значений от 1 В до 2 В и определяется значение временного интервала T_{x2} при той же измеряемой дальности. При равных значениях $U1$ и $U2$ и отсутствии случайных помех значения T_{x1} и T_{x2} равны. В действительности же при разных уровнях выходного напряжения аттенюатора значения T_{x1} и T_{x2} отличаются друг от друга. В результате этого возникает погрешность измерения расстояния ΔT_x , соответствующая разности временных интервалов T_{x1} и T_{x2} ,

$$\Delta T_x = T_{x1} - T_{x2}. \quad (7)$$

Далее оценивается разность значений выходных величин системы коррекции при разных уровнях выходного напряжения аттенюатора

$$\Delta \tau = \tau_{\text{кор}1} - \tau_{\text{кор}2}, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{кор}1}$, $\tau_{\text{кор}2}$ – временные интервалы коррекции, формирующиеся на выходе ДФВПИ при выходных напряжениях аттенюатора соответственно $U1$ и $U2$.

Тогда корректирующее воздействие можно представить в виде

$$\Delta \tau_{\text{кор}} = k \Delta \tau, \quad (9)$$

где k определяется в соответствии с (4) с учетом значений k_0 , α и α' , взятых из табл. 1 и 2 при линейной и квадратичной зависимости k от разности напряжений $U1$ и $U2$.

Погрешность устройства после коррекции равна

$$\gamma_x = \Delta T_x - \Delta \tau_{\text{кор}}. \quad (10)$$

В табл. 3 приведены погрешности, вычисленные на основании экспериментальных данных при различных значениях напряжений $U1$ и $U2$ и разных положениях аттенюатора: γ – погрешность без коррекции, γ_x – погрешность с учетом коррекции, $\gamma_{x \text{ оср}}$ – погрешность с учетом коррекции с осреднением.

Таблица 3

Положение Атт	Уровни напряжений на выходе Атт, В	γ	γ_x	$\gamma_{x \text{ оср}}$
1	U1= 1,42; U2 = 1,855	19,5	1,1	0,45
1	U1= 1,436; U2 = 1,11	28,275	0,036	0,015
1	U1= 1,417; U2 = 1,131	21,49	7,08	2,89
1	U1= 1,536; U2 = 1,866	21,99	3,625	1,48
2	U1= 1,397; U2 = 1,107	27,49	1,44	0,59
2	U1= 1,404; U2 = 1,876	24,25	1,065	0,435
3	U1= 1,404; U2 = 1,705	14,85	6,51	2,66
3	U1= 1,406; U2 = 1,029	24,75	5,22	2,132

Отметим, что данные о погрешностях в табл. 3 приведены с учетом зависимости коэффициента коррекции k от разности квадратов напряжений ($U1^2 - U2^2$) как наиболее оптимальной для линейной модели представления k [3]. В случае зависимости k от $(U1 - U2)$ указанные погрешности увеличиваются в 1,5...2 раза. Также отметим, что для нахождения $\gamma_{x \text{ оср}}$ были использованы результаты шести измерений.

С учетом данных о погрешностях, представленных в табл. 3 для всех положений аттенюатора, оценена среднеквадратическая погрешность измерения расстояния, которая составляет 3,7 мм. Кроме этого, эксперименты, проведенные на макете дальномера, позволили подтвердить эффективность применения в схеме импульсного дальномера предложенного нами ранее двухпорогового фиксатора временного положения импульсов с одновременным формированием следящих порогов [1], в котором используются фильтры нижних частот с разными постоянными времени. Указанные экспериментальные исследования показали, что при малой разности $(U1 - U2)$ случайная погрешность определения корректирующего воздействия уменьшилась в этом случае до 1,4 мм.

Выводы. 1. Как показали экспериментальные исследования, использование в схеме импульсного дальномера двухпорогового фиксатора временного положения импульсов с одновременным формированием следящих порогов позволяет по сравнению с известными устройствами уменьшить примерно в 2,5 раза случайную погрешность, возникающую при введении корректирующего воздействия. Этот факт подтверждает результаты теоретических исследований указанного устройства.

2. Применение метода наименьших квадратов, ориентированного на оценку результатов экспериментальных исследований для определения параметров корректирующего воздействия в сочетании с принятым квадратичным критерием при формировании разности выходных напряжений аттенюатора в различных режимах работы дальномера позволяет существенно уменьшить погрешность измерения из-за нелинейности характеристик преобразовательных звеньев импульсных дальномерных систем.

3. Разработанные авторами алгоритмы функционирования, программное обеспечение и схемотехнические решения применены в макете импульсного дальномера, в результате чего результирующая погрешность измерения расстояния уменьшилась более чем в 10 раз.

1. Брагинец И.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д. Повышение точности импульсных лазерных светодальномеров // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 6. – С. 64–70.
2. Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д. Импульсно-фазовый измерительный преобразователь для лазерных дальномеров // Технічна електродинаміка. – 2008. – № 3. – С. 74–79.
3. Иванов В.А., Фалдин Н.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. – М.: Наука, 1981. – 336 с.
4. Канивец И.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д., Латенко В.И., Орнатский И.А. Высокоточный импульсный лазерный дальномер // Технічна електродинаміка. – 2001. – № 6. – С. 56–61.
5. Канивец И.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д. Измерительный преобразователь временных интервалов в код для высокоточных импульсных дальномеров // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2000. – Ч. 3. – С. 83–86.
6. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.

УДК 621.317

КОРЕКЦІЯ ПОХИБОК У ВИСОКОТОЧНИХ ІМПУЛЬСНИХ ЛАЗЕРНИХ ДАЛЕКОМІРАХ

І.О.Брагинец¹, канд.техн.наук, Є.О.Зайцев¹, О.Г.Кононенко¹, канд.техн.наук, Ю.О.Масюренко¹, канд.техн.наук, А.Д.Ніженський¹, докт.техн.наук, В.І.Латенко², канд.техн.наук, І.А.Орнатський², канд.техн.наук

¹ – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,

² – Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут УкрНДГМІ,
пр. Науки, 37, Київ, 03028, Україна.

Розглянуто застосування запропонованих алгоритмів функціонування та схемотехнічних рішень для корекції похибок в імпульсних лазерних далекомірах, представлено і описано відповідну структурну схему далекоміра. Особливу увагу приділено визначенню параметрів коригувального впливу, який використовується для корекції похибки, що виникає при зміні амплітуди і форми відбитого від контрольованого об'єкту світлового сигналу. Показано, що застосування методу найменших квадратів, орієнтованого на оцінку результатів експериментальних досліджень, дозволяє істотно зменшити похибку через нелінійність характеристик перетворювальних ланок імпульсних далекомірних систем. Наведено таблиці, які містять чисельні значення параметрів коригувального впливу, а також таблиця похибок вимірювання відстані, обчислених на підставі результатів експериментальних досліджень, виконаних на макеті імпульсного далекоміра. Бібл. 6, табл. 3, рис. 2.

Ключові слова: імпульс, лазер, відстань, часовий інтервал.

ERROR CORRECTION IN PRECISION PULSE LASER RANGE FINDERS

I.O. Bragynets¹, E.O. Zaitsev¹, O.G. Kononenko¹, Yu.O. Masiurenko¹, A.D. Nizhenskyi¹, V.I. Latenko², I.A. Ornatskyi²

¹ – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine
prospekt Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

² – Ukrainian Research Hydrometeorological Institute UkrNIGMI,
prospekt Nauky, 37, Kyiv, 03028, Ukraine.

The application of the proposed algorithms and the functioning of the circuit solutions for the correction of errors in pulsed laser range finders, is presented and described in the corresponding block diagram of the range finder. Particular attention is paid to the characterization of exposure correction used to correct the error that occurs when the amplitude and shape of the object under control of the reflected light signal. It is shown that application of the method of least squares, based on the evaluation of the results of experimental studies, can significantly reduce the uncertainty due to linearity is not converting units of pulse ranging systems. The tables containing the numerical values of the parameters of the correcting influence, and a table of errors of distance measurement, computed on the basis of the results of experimental studies performed on the model of the pulsed laser. References 6, tables 3, figures 2.

Key words: pulse, laser, the distance, time interval.

1. Bragynets I.A., Kononenko A.G., Masiurenko Yu.A., Nizhenskii A.D. Improving the accuracy of pulse laser light range finders // Tekhnichna elektrodynamika. – 2003. – № 6. – Pp. 64–70. (Rus)

2. Bragynets I.A., Zaitsev E.A., Kononenko A.G., Masiurenko Yu.A., Nizhenskii A.D. Pulse-phase measuring converter for laser rangerfinders // Tekhnichna elektrodynamika. – 2008. – № 3. – Pp. 74–79. (Rus)

3. Ivanov V.A., Faldin N.V. The theory of optimal control systems. – Moskva: Nauka, 1981. – 336 p. (Rus)

4. Kanivets I.A., Kononenko A.G., Masiurenko Yu.A., Nizhenskii A.D., Latenko V.I., Ornatskii I.A. High-precision pulse laser ranger finder // Tekhnichna elektrodynamika. – 2001. – № 6. – Pp. 56–61. (Rus)

5. Kanivets I.A., Kononenko A.G., Masiurenko Yu.A., Nizhenskii A.D. Measuring converter of time intervals in the code for high-precision pulse range finders // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2000. – Vol. 3. – Pp. 83–86. (Rus)

6. Tikhonov V.I. The statistical radio engineering. It is a 2nd edition re-casted and added. – Moskva: Radio and sviaz, 1982. – 624 p. (Rus)

Надійшла 26.04.2012

Received 26.04.2012