

===== **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ** =====

УДК 681.78:621.373.826

**СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАСТРОЙКИ
И ПРОВЕРКИ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ**© 2021 г. А. В. Колесник¹, Н. Ф. Кошавцев¹, Р. Ю. Сухоруков^{1,*}¹ *Институт машиноведения им. А.А. Благодрава РАН, Москва, Россия***e-mail: ryusukhorukov@gmail.com*

Поступила в редакцию 04.09.2020 г.

После доработки 22.01.2021 г.

Принята к публикации 24.02.2021 г.

В статье представлены способ бестрассовой настройки и проверки лазерных дальномеров специального назначения, а также схема и конструкция разработанной для этих целей технологической установки. В установке для повышения точности реализован новый принцип задания дистанции и ее алгоритмической коррекции с использованием специального программного обеспечения. Даны технические характеристики установки.

Ключевые слова: лазерный дальномер, дистанция, световой импульс лазера, мощность лазера, длительность импульса

DOI: 10.31857/S023571192103007X

Актуальность и постановка задачи. Большинство современных дальномеров измеряют время, в течение которого сигнал от источника света проходит расстояние до объекта наблюдения и обратно после отражения. В производстве лазерных дальномеров необходимо проведение настройки и проверки точности измерений расстояния, чувствительность и помехозащищенность. Поэтому контроль параметров дальномеров осуществляют на специальной трассе, оснащенной мишенями. Технология контроля параметров дальномеров предъявляет особые условия при использовании специальных трасс: постоянства пропускания толщи атмосферы между дальномером и мишенью, обеспечения точных характеристик отражающей поверхности, отсутствия турбулентности в процессе измерений и выполнение других требований. В особых условиях проверка параметров дальномеров перед приемкой и сдачей заказчику включает выезд на специальную трассу, обеспечение погодных условий, организация испытаний требует серьезных материальных затрат и много времени. Однако при проверке параметров дальномеров целесообразно иметь возможность осуществлять проверку точности измерений расстояния в любой точке на всем диапазоне измерений расстояний, а не только по установленным на трассе мишеням. Поэтому проблема создания такой установки бестрассовой проверки лазерных дальномеров, обеспечивающая высокую точность определения дальности и характеристики приемника дальномеров, является актуальной. Контроль основных параметров лазерного дальномеров (дальность действия, мощность излучения лазера, параллельность осей каналов дальномеров) является важнейшей задачей, учитывая интенсивное развитие лазерной дальнометрии. Известные устройства для контроля лазерного дальномеров [1–4] содержат входную и выходную оптические системы, связанные между собой волоконно-оптической линией задержки. Для этих устройств характерна большая потеря мощности сигнала (затуха-

ние) входной оптической системы, обеспечивающей имитацию прохождения сигнала при измерении больших расстояний. Кроме того, ряд перечисленных устройств можно использовать для настройки и контроля параметров только в лабораторных условиях для оценки точности измерения дальности и других характеристик дальномера [5, 6]. Вместе с тем, установка должна формировать импульсы той же длительности, что и проверяемый дальномер, обеспечивать мощность импульса, соответствующую импульсу отраженного от мишени на конкретную дальность, а также осуществлять задержки во времени прохождения сигнала от источника света, т.е. от лазера до мишени и после мишени до лазера. Так как время задержки дает сведения о дальности до цели, то точность времени задержки должна быть в пределах 6.7 нсек, т.е. при изменении расстояния ± 1 м.

Методика выбора лазера установки и расчета параметров формирующих импульсов.

С целью определения параметров лазера установки (силы излучения, мощности импульсов и его длительность) для формирования импульсов, соответствующих импульсам отраженных от мишени, проведен анализ существующих подходов [3, 6, 8] и разработана специальная методика расчета. При разработке методики использованы основные положения теории оптики. Мощность импульсов, приходящих от установки на вход лазерного дальномера равна мощности лазерного импульса, отраженного от мишени.

Распределение силы излучения лазерного пучка описывается функцией

$$I(\alpha, \gamma) = I_0 e^{a\alpha^2} \cdot e^{-b\gamma^2}, \quad (1)$$

где α, γ – углы относительно центра пучка; a, b – постоянные коэффициенты; I_0 – сила излучения в максимуме.

Обычно распределение силы излучения лазерного пучка можно представить круглосимметричной функцией

$$I(\alpha) = I_0 e^{-\gamma\alpha^2}. \quad (2)$$

Мощность излучаемого лазера связана с распределением силы излучения соотношением

$$P = \int_{2\pi} I(\alpha) d\omega, \quad (3)$$

где ω – телесный угол. Или

$$P = \pi I_0 \alpha_0^2, \quad (4)$$

где α_0 – половина угла расходимости лазера.

В пределах угла расходимости лазера сосредоточено не менее 0.865 энергии лазера, поэтому сила излучения лазера с учетом этого коэффициента будет определена соотношением

$$I_0 = 0.865 \frac{P}{\pi \alpha_0^2}. \quad (5)$$

Мощность лазера определяется энергией в импульсе и длительностью импульсов.

Если лазер находится за оптической системой, то угол расхождения пучка на выходе $\alpha_{\text{опт}}$ будет определяться оптикой. Лазерный пучок будет создавать пятно на мишени площадью

$$A = \alpha_{\text{опт}}^2 D, \quad (6)$$

где D – расстояние от лазера до мишени.

При размере пятна от лазера на мишени меньше размера мишени, освещенность на входном зрачке будет определяться соотношением

$$E_{\text{вхзр}} = \frac{0.865}{4} P \frac{\tau_a^2}{D^2} \beta, \quad (7)$$

где τ_a – пропускание атмосферы на длине трассы от лазера до мишени; β – коэффициент яркости мишени.

При диффузном отражении поверхности мишени коэффициент яркости совпадает с коэффициентом отражения (ρ), т.е. $\beta = \rho$.

При размере пятна от лазера больше размера мишени освещенность на входном зрачке будет определяться из соотношения

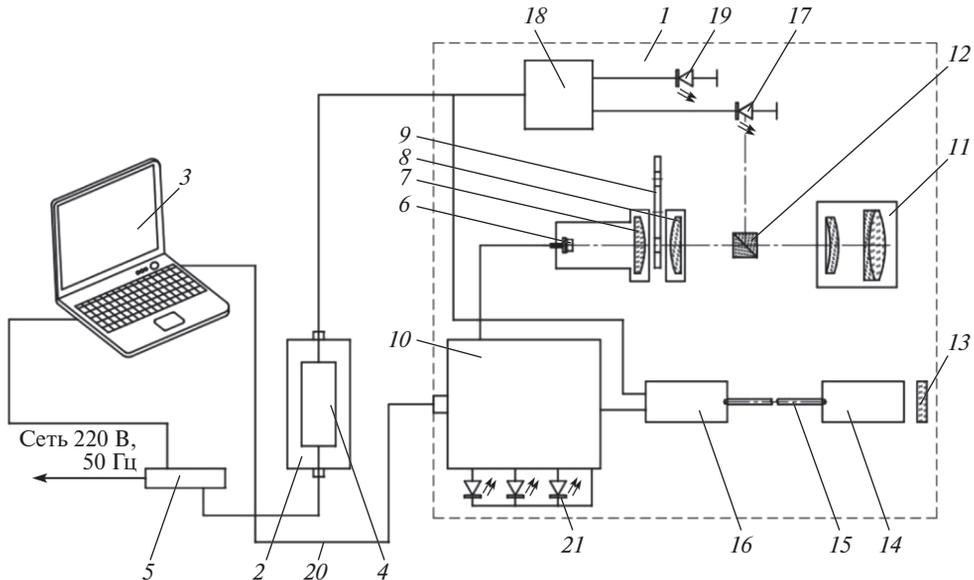
$$E_{\text{вхзр}} = \frac{0.865}{\pi \alpha_0^2} P \frac{\tau_a^2}{D^4} A_M \beta, \quad (8)$$

где A_M – площадь поверхности мишени, обращенная к лазеру.

Результаты расчета и структурная схема установки. В результате расчетов для лазерного дальномера на длину волны 1.064 ± 0.004 мкм получены длительность импульса (τ) равной 15 нс, расходимость по уровню $0.865\alpha_0$ составляет 1.5 угловой минуты при энергии в импульсе равной 20×10^{-3} Дж, освещенность (E) на входном зрачке при дальности до мишени 9000 м равна 2.75×10^{-9} Вт/см², а при дальности до мишени 150 м – 2.64×10^{-4} Вт/см². При этом пропускание атмосферы соответствует метрологической дальности видимости 10 км.

Таким образом, результаты расчетов подтверждают, что установка должна разрабатываться на лазерах $\lambda = 1.064$ мкм при длительности импульса $\tau = 15$ нс и обеспечении освещенности входного зрачка в пределах от 2.64×10^{-4} Вт/см² до 2.75×10^{-9} Вт/см².

Установка работает следующим образом [7]. Для определения расстояния до объекта запускается дальномер. Световой импульс через объектив выходного канала дальномера 13 проходит в ослабитель 14 и по волоконно-оптическому жгуту 15 попадает на схему формирования стартового импульса 16. Стартовый импульс попадает в электронный блок 10 (ЭБ) и задерживается на время, которое световой импульс проходит от дальномера до объекта, по которому измеряется дальность, и возвращается обратно в приемный канал дальномера. Последний задержанный электрический импульс попадает на лазер установки 6, который генерирует световой импульс требуемых параметров по амплитуде и длительности. Этот импульс попадает в оптический объектив формирования лазерного луча 7, где калибруется по амплитуде до величины импульса, отраженного от объекта и передается в фокальную плоскость объектива переноса установки 8. После этого импульс направляется во входной объектив приемного канала дальномера 11, и дальномер срабатывает, указывая заданную дистанцию. Качество перенесенного изображения должно быть адекватно пятну рассеивания входного объектива приемного канала дальномера. Таким образом можно проверить работу дальномера на всех дистанциях. Световые импульсы лазера ЛД-1064 б на длине волны $\lambda = 1.064$ мкм формируются в блоке оптико-механическом (БОМ) (рис. 2) и подаются на контролируемое изделие. В БОМ размещена система формирования прицельной марки, состоящая из сетки светодиодной 17 и куб-призмы 12. Сетка светодиодная (марка), представляет собой центральную светящуюся точку и три взаимоперпендикулярных светящихся луча. Объектив входной 11 через объектив дальномера формирует в фокальной плоскости (плоскости диафрагмы) увеличенное изображение прицельной сетки. Излучатель прицельной сетки питается через DC/DC преобразователь от источника питания 220/12 В 4, размещенный в блоке питания (БП). Питание лазера ЛД-1064 осуществляется от БЭ, который, в свою очередь, питается от ноутбука 3.



1 – Блок оптико-механический (БОМ), 2 – блок питания (БП), 3 – ноутбук,
 4 – блок питания 220/128, 5 – фильтр сетевой, 6 – лазерный диод,
 7 – объектив формирования лазерного пучка, 8 – объектив переноса,
 9 – диск калиброванных диафрагм, 10 – блок электронный,
 11 – объектив входной, 12 – куб-призма, 13 – светорассеивающее окно,
 14 – ослабитель, 15 – волоконно-оптический жгут,
 16 – плата формирования стартового импульса, 17 – сетка светодиодная,
 18 – преобразователь 12/58, 19 – светодиод сигнальный, 20 – кабель USB,
 21 – светодиоды контроля блока электронного

Рис. 1. Структурная схема установки.

Напряжение на ноутбук подается через сетевой фильтр от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Ноутбук 3 формирует сигналы управления, которые в электронном блоке преобразуются в запускающие импульсы лазера ЛД-1064, задержанные по отношению к стартовому импульсу на время прохода светового сигнала лазерного излучателя дальномера до объекта наблюдения и обратно.

При необходимости определить чувствительность приемного канала следует на предельной величине дистанции диапазона дальномера определить импульс, при котором срабатывает дальномер и импульс, на который дальномер не срабатывает. При незначительном отличии этих двух импульсов чувствительность определяется по импульсу, на котором срабатывает дальномер. При определении помехозащищенности вырабатывается не один импульс, а, в зависимости от программы, либо ни одного импульса, либо целая серия импульсов, в которой присутствует лишь один, соответствующий требуемой дистанции, а оператор должен выбрать правильный ответ. Точность измерения расстояния определяется точностью задержки импульса и составляет величину ± 1 м (6.7 нс).

Конструктивно установка выполнена в виде двух блоков БОМ и БП, связанных кабелями между собой и ноутбуком. БОМ размещается на столе, выверяется по высоте и

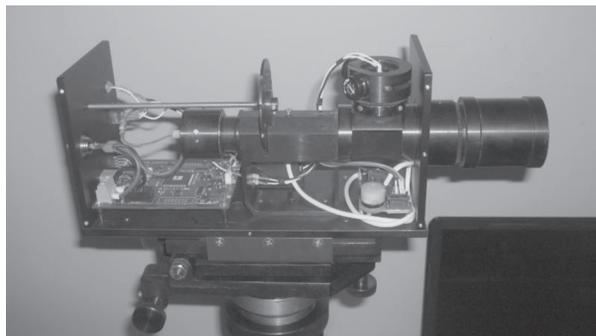


Рис. 2. Блок оптико-механический (БОМ).

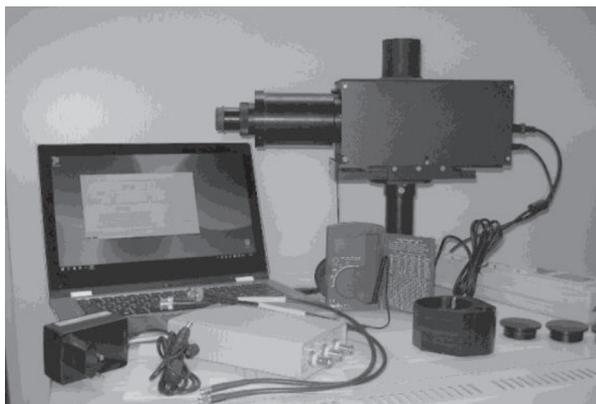


Рис. 3. Общий вид установки.

стыкуется с входным окном лазерного дальномера. На рис. 3 представлен общий вид установки и даны основные технические характеристики.

Способ задания дистанции и ее алгоритмическая коррекция с использованием специального программного обеспечения, а также конструкция установки защищена патентом на изобретение № 2541677 опубл. 2015.02.20 (приоритет от 2013.04.26), внедрены (табл. 1) на отечественных предприятиях.

Таблица 1. Основные технические характеристики установки

| Наименование характеристик | Значения |
|--|------------------------------|
| Задаваемая дальность | 120–10000 м |
| Точность задаваемой дальности | ± 1 м |
| Рабочая длина волны излучения | 1064 нм; 1540 нм |
| Длительность импульса излучения | 15 ± 5 нс; 50 ± 5 нс |
| Время непрерывной работы, час, не более | 8 |
| Мощность, потребляемая от сети 220 В/50 Гц | 50 Вт |

Выводы. 1. Предложена методика выбора лазера установки и расчета параметров формирующих импульсов, на основе которой разработана схема, конструкция и специальное программное обеспечение установки для настройки и проверки лазерных дальномеров. **2.** Создана и запатентована [7] технологическая установка для настройки и проверки лазерных дальномеров, обеспечивающая дискретность задаваемой дистанции 1 м, погрешность измерения которой составляет ± 1 м, максимальное значение дистанции практически не ограничено. Возможность осуществления проверки точности измерения расстояний в любой точке на всем диапазоне.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федченко Г.И., Щеглов С.И. Устройство для контроля лазерного дальномера. РФ Патент 2648017, 2018.
2. Щеглов С.И., Федченко Г.И. Устройство имитации дальности. РФ Патент 2683604, 2019.
3. Kuvaldin E.V., Ershov A.G., Zakharenkov V.F., Polyakov V.M., Arhipova L.N. Testing unit for laser rangefinder // Sixth International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation, edited by Jiubin Tan, Xianfang Wen, Proc. of SPIE, 2010. V. 7544. P. 754457 <https://doi.org/10.1117/12.885857>
4. Bates K.S., Cochran G.P. System and Method for Using an Optical Isolator in Laser Testing, US Патент 20110127411 A1, 2013.
5. Нужин А.В., Ильинский А.В., Полякова И.П., Горемыкин Ю.А., Евсикова Л.Г., Баздров И.И., Смирнов С.А., Чижов С.А., Кувалдин Э.В. Универсальная установка для проверки лазерного дальномера. РФ Патент 2678259, 2019.
6. Нужин А.В., Ильинский А.В., Полякова И.П., Горемыкин Ю.А., Евсикова Л.Г., Баздров И.И., Смирнов С.А. Универсальный стенд для бестрассовой проверки импульсных лазерных дальномеров // Оптический журнал, 2019. Т. 86. № 6. С. 71.
7. Кощавцев Н.Ф., Колесник А.В., Турунтаев И.В., Шустов Н.М. Установка для бестрассовой проверки лазерного дальномера. РФ Патент 2541677, 2015.
8. Johnson M.D., Dwight E. Andrews Calibration system and method for imaging flash LIDAR systems, USA Патент 8368876 b1, 2013