

Сравнение способов построения лазерных излучателей в импульсных полупроводниковых дальномерах

А. Ф. Уляшин, А. А. Величко, А. Н. Галянтич

Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)

Аннотация: В работе проводится сравнение различных способов построения лазерных излучателей в импульсных полупроводниковых дальномерах. Рассмотрены два полупроводниковых лазерных излучателя с длиной волны 905 нм, входящих в состав импульсного дальномера. Оптическая схема передающего и приемного каналов дальномера состоит из асферической линзы и объектива. Отличие между лазерными излучателями заключается в наличии в одном из них встроенной цилиндрической линзы. Продемонстрированы результаты измерения расстояния до цели дальномером с обоими вариантами построения излучателей в различных условиях.

Ключевые слова: импульсный полупроводниковый дальномер, лазерный излучатель, цилиндрическая линза, фокус, длина волны, поле зрения, дальность, угол охвата.

Для цитирования: Уляшин А. Ф., Величко А. А., Галянтич А. Н. Сравнение способов построения лазерных излучателей в импульсных полупроводниковых дальномерах // Вестник СибГУТИ. 2024. Т. 18, № 2. С. 79–87. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-2-79-87>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Уляшин А. Ф., Величко А. А.,
Галянтич А. Н., 2024

Статья поступила в редакцию 31.05.2023;
принята к публикации 25.12.2023.

1. Введение

В дальнометрии очень важны такие параметры, как габариты и масса передающего канала дальномера [1]. Производители стремятся к снижению данных показателей, и этого можно достичь благодаря использованию в дальномерах полупроводниковых излучателей (рис. 1). Также данный тип излучателей обладает высоким КПД [2], высокой стойкостью к механическим и климатическим нагрузкам, длительным сроком службы, низкой стоимостью и простотой контроля параметров излучения – к ним относятся частота, скважность и мощность [3].



Рис. 1. Полупроводниковый излучатель

Устройство оптической системы дальномера приведено на рис. 2. Основными составными частями являются источник излучения, линза и объектив [4].

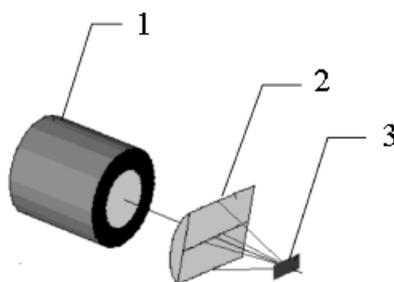


Рис. 2. Оптическая система дальномера: 1 – объектив, 2 – линза, 3 – источник излучения

Оптимизация оптической системы для лазерного импульсного дальномера (рис. 3) включает в себя формирование необходимой индикатрисы излучения с минимальными габаритами системы [5] и как можно меньшим количеством оптических элементов. В работе приведены результаты определения основных параметров дальномера с использованием излучателя с цилиндрической линзой и без нее. Также определено нахождение положения излучателя относительно объектива, при котором на выходе системы достигается требуемая расходимость излучения и энергетические потери сведены к минимуму.

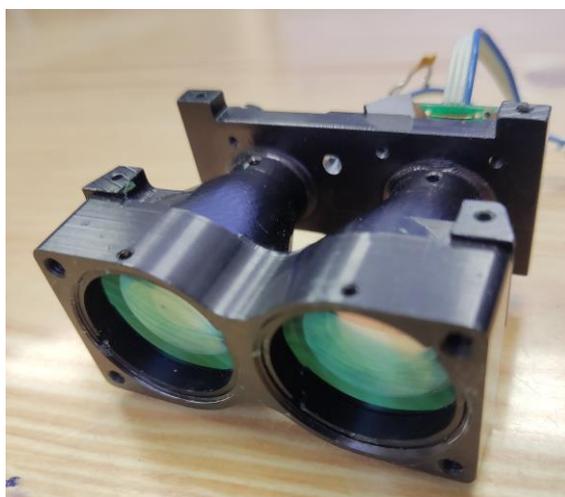


Рис. 3. Импульсный полупроводниковый дальномер

Вид объектива импульсного полупроводникового дальномера в разрезе показан на рис. 4.

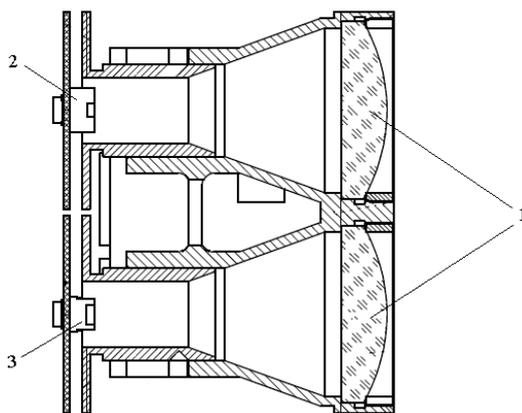


Рис. 4. Вид объектива дальномера в разрезе: 1 – асферическая линза, 2 – излучатель, 3 – фотоприемное устройство

Модель формирующей системы, состоящая из объектива с асферической линзой и излучателя без встроенной цилиндрической линзы, имеет неоднородное пятно подсвета [6]. Если сделать расфокусировку объектива [7], можно гомогенизировать пятно подсвета, но в то же время происходит значительное увеличение размера пятна и энергетических потерь.

Необходимо достичь гомогенности пятна подсвета в пределах допустимых габаритов системы и минимизации энергетических потерь [8]. После прохождения цилиндрической линзы излучение лазерного диода имеет одинаковую расходимость в сагиттальном и меридиональном сечениях [9], а сопряженный объектив формирует необходимую расходимость передающего канала дальномера. Цилиндрическая линза в плоскости с малой расходимостью (меридиональное сечение) представляет собой плоскопараллельную пластину [10].

Задача работы состоит в исследовании и сравнении оптических систем импульсного лазерного дальномера: простой системы с объективом и системы с использованием цилиндрической линзы. Также необходимо определить фокусное расстояние от источника излучения до асферической линзы, обеспечивающее наиболее высокий уровень освещенности. Получены значения основных параметров импульсного дальномера на обеих системах и приведены графики данных параметров. К параметрам относятся: размер пятна на цели по уровню 0.2 метра по горизонтали и вертикали, размер пятна на цели по уровню 0.5 метра по горизонтали и вертикали, угол охвата, процент использования излучения лазера и максимальная освещенность в пятне рассеяния.

2. Моделирование оптической системы

Расчет всех параметров произведен в программе Zemax [11] с использованием фирменного файла с данными индикатрисы излучения лазера. Расчет производился для дальности 2.5 км. В качестве коллимирующих объективов использовались объективы с фокусными расстояниями в интервале от 20 до 160 мм. Световой диаметр всех объективов одинаковый – 25 мм. Все объективы имеют дифракционное качество изображения.

Моделирование в программе Zemax показало существенное отличие в размерах пятна на цели по уровню 0.2 метра по вертикали между дальномерными системами (рис. 5).

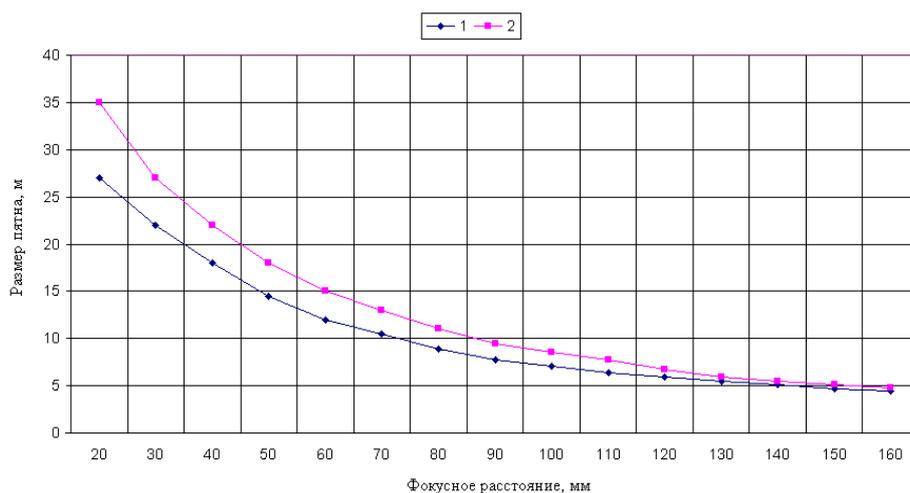


Рис. 5. Размер пятна на цели по уровню 0.2 метра по вертикали:
 1 – дальномер с излучателем без цилиндрической линзы,
 2 – дальномер с излучателем со встроенной цилиндрической линзой

Размер пятна на цели по горизонтали также имеет расхождение между дальномерными системами (рис. 6).

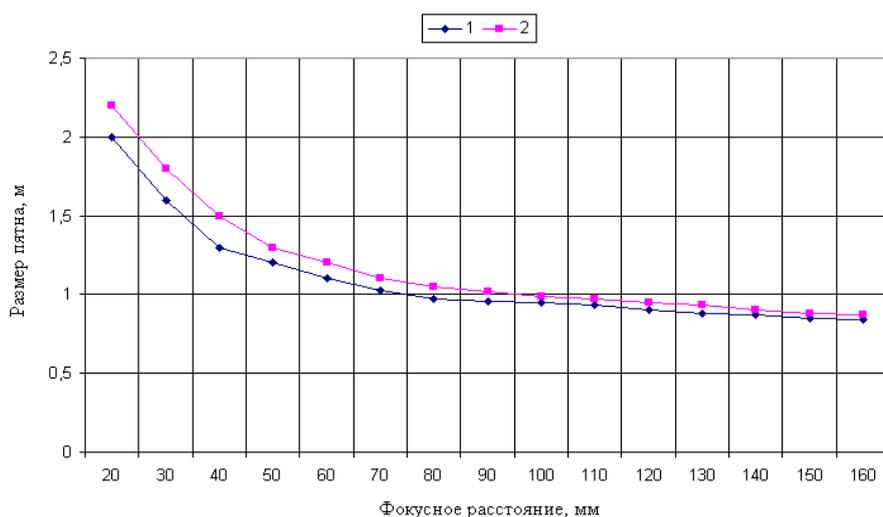


Рис. 6. Размер пятна на цели по уровню 0.2 метра по горизонтали:
 1 – дальномер с излучателем без цилиндрической линзы,
 2 – дальномер с излучателем со встроенной цилиндрической линзой

Как видно из графиков, представленных на рис. 5 и 6, с увеличением фокусного расстояния от источника излучения до асферической линзы существенно уменьшается размер пятна на цели. В диапазоне от 20 до 160 мм фокусного расстояния средний размер пятна на цели по вертикали составил 12.98 метра для системы с цилиндрической линзой и 10.65 метра для системы без цилиндрической линзы, что означает прирост на 21 %.

Средний размер пятна на цели по горизонтали в диапазоне от 20 до 160 мм фокусного расстояния составил 1.17 метра для системы с цилиндрической линзой и 1.09 метра без цилиндрической линзы, что означает прирост на 7 %.

Моделирование в программе Zemax показало существенное отличие в размерах пятна на цели по уровню 0.5 метра по вертикали между дальномерными системами (рис. 7). В диапазоне от 20 до 160 мм фокусного расстояния средний размер пятна на цели по вертикали составил 8.72 метра для системы с цилиндрической линзой и 7.35 метра для системы без цилиндрической линзы, что означает прирост на 18 %.

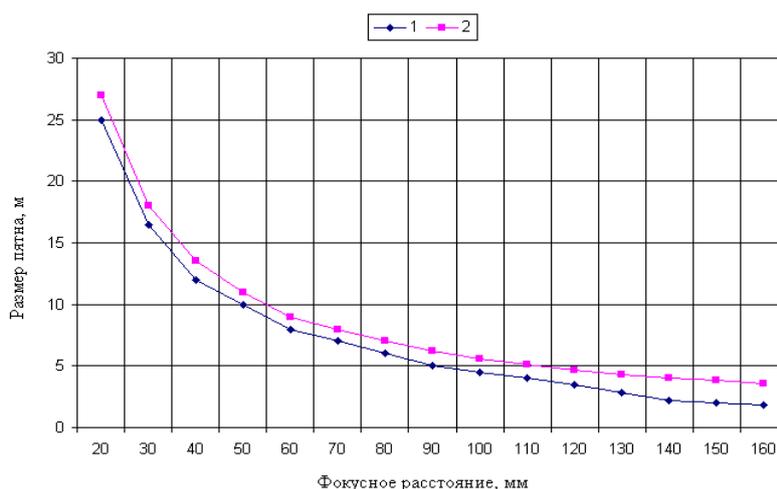


Рис. 7. Размер пятна на цели по уровню 0.5 метра по вертикали:
 1 – дальномер с излучателем без цилиндрической линзы,
 2 – дальномер с излучателем со встроенной цилиндрической линзой

Размер пятна на цели по горизонтали также имеет расхождение между дальномерными системами (рис. 8).

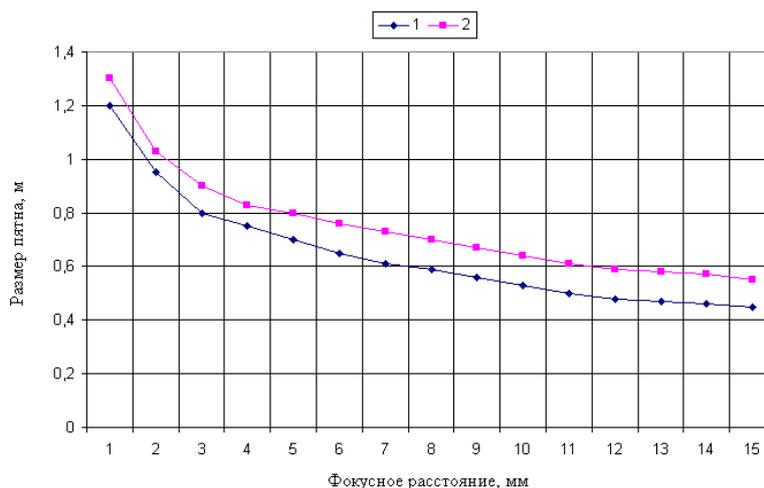


Рис. 8. Размер пятна на цели по уровню 0.5 метра по вертикали:
 1 – дальномер с излучателем без цилиндрической линзы,
 2 – дальномер с излучателем со встроенной цилиндрической линзой

Средний размер пятна на цели по горизонтали в диапазоне от 20 до 160 мм фокусного расстояния составил 0.75 метра для системы с цилиндрической линзой и 0.64 метра – без цилиндрической линзы, что означает прирост на 17 %.

Также немаловажным показателем является процент использования излучения лазера дальномером. На рис. 9 приведен результат моделирования двух систем.

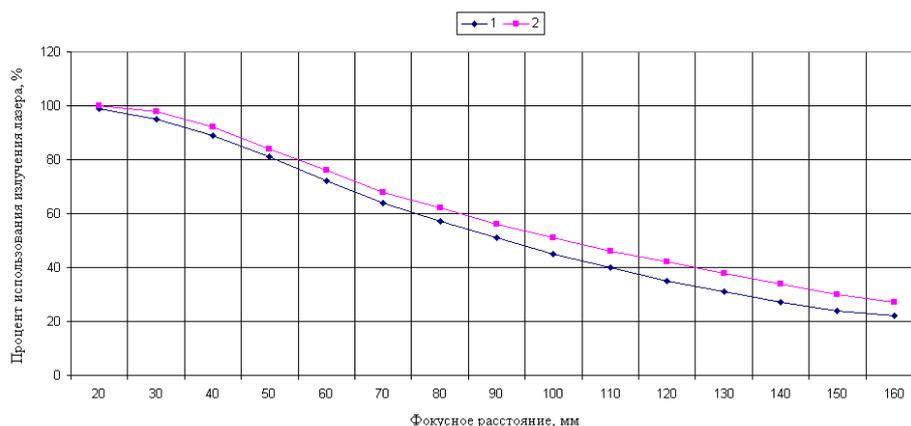


Рис. 9. Процент использования излучения лазера:
 1 – дальномер с излучателем без цилиндрической линзы,
 2 – дальномер с излучателем со встроенной цилиндрической линзой

Средний процент использования излучения лазера в диапазоне от 20 до 160 мм фокусного расстояния составил 60.26 % для системы с цилиндрической линзой и 55.4 % – без цилиндрической линзы, что означает прирост на 8.7 %.

Основной характеристикой дальномерной системы является максимальная освещенность в пятне рассеяния. В диапазоне от 20 до 160 мм фокусного расстояния величина этого параметра составила $115.14 \text{ Вт/см}^2 \cdot 10^{-5}$ для системы с цилиндрической линзой, $72.13 \text{ Вт/см}^2 \cdot 10^{-5}$ – без цилиндрической линзы, что означает прирост на 59 % (рис. 10).

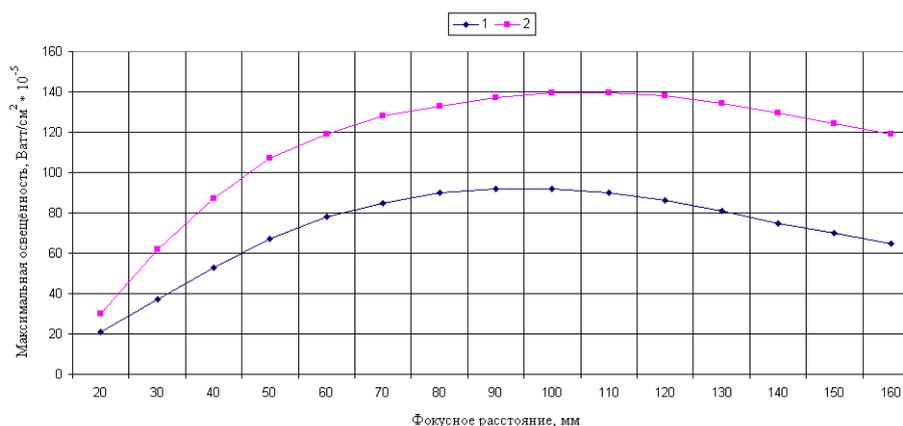


Рис. 10. Максимальная освещённость в пятне рассеяния:
 1 – дальномер с излучателем без цилиндрической линзы,
 2 – дальномер с излучателем со встроенной цилиндрической линзой

Выявлено, что максимальная освещенность в системе без цилиндрической линзы достигается в диапазоне от 80 до 110 мм и составляет $92 \text{ Вт/см}^2 \cdot 10^{-5}$. Для системы с использованием цилиндрической линзы максимальная освещенность достигается в диапазоне от 100 до 120 мм фокусного расстояния и составляет $139.7 \text{ Вт/см}^2 \cdot 10^{-5}$.

3. Результаты работы

В работе проведено исследование и сравнение оптических систем импульсного лазерного дальномера: простой системы с объективом и системы с использованием цилиндрической линзы в конкретных условиях. Определено фокусное расстояние от источника излучения до асферической линзы, обеспечивающее наиболее высокий уровень освещенности. Получены значения основных параметров импульсного дальномера на обеих системах и приведены

графики данных параметров. К параметрам относятся: размер пятна на цели по уровню 0.2 метра по горизонтали и вертикали, размер пятна на цели по уровню 0.5 метра по горизонтали и вертикали, процент использования излучения лазера и максимальная освещенность в пятне рассеяния. Основной целью работы была демонстрация различий между обычным вариантом исполнения оптической системы излучателя и вариантом интеграции цилиндрической линзы в оптическую систему. Как показало исследование, при фокусном расстоянии от 20 до 160 мм размер пятна на цели по уровню 0.2 метра на излучателе с цилиндрической линзой возрос на 21 % в вертикальном направлении и на 7 % в горизонтальном направлении. Размер пятна на цели по уровню 0.5 метра возрос на 18 % в вертикальном направлении и на 17 % в горизонтальном направлении. Процент использования излучения лазера дальномером возрос на 8.7 %, а максимальная освещенность в пятне рассеяния увеличилась на 59 %. Это свидетельствует о том, что использование цилиндрической линзы оправдано и она может быть применена как часть оптической системы излучательного канала дальномера для достижения больших дальностей измерения, что очень важно для такой отрасли, как военное дело.

Литература

1. *Аснис Л. А., Васильев В. П., Волканский В. Б.* Лазерная дальнометрия. М.: Радио и связь, 1995. 256 с.
2. *Барышников Н. В., Бокшанский В. Б., Карасик В. Е.* Приемопередающие устройства лазерных локационных изображающих систем. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 84 с.
3. *Бокшанский В. Б., Бондаренко Д. А., Вязовых М. В., Животовский И. В., Сахаров А. А., Семенов В. П.* Лазерные приборы и методы измерения дальности: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 92 с.
4. *Берников Б. О., Бокшанский В. Б., Вязовых М. В., Федоров С. В.* Методы повышения точности измерения дальности в лазерных фазовых дальномерах // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение», 2012.
5. *Белов И. Ю.* Физические основы оптической дальнометрии: учебно-методическое пособие. Казань: КГУ, 2009. 72 с.
6. *Попов Л. Н., Фролкин В. Т.* Импульсные устройства: учебник для вузов. М.: Советское радио, 1980. 547 с.
7. *Грицевский П. М., Мамченко А. Е., Степенский Б. М.* Основы автоматики, импульсной и вычислительной техники: учебник для техникумов. М.: Радио и связь, 1987. 632 с.
8. *Якубовский С. В.* Аналоговые и цифровые интегральные схемы: справочник. М.: Советское радио, 2008. 336 с.
9. *Голубев А. Н.* Приборы и методы электронной дальнометрии и тахеометрии. М.: «Недра», 1991. 249 с.
10. *Poujouly S., Journet B.* A twofold modulation frequency laser range finder // Journal of optics A: Pure and Applied Optics. 2002. P. 356–363.
11. *Geary J. M.* Introduction to lens design with practical Zemax examples, 2002. 462 p.

Уляшин Александр Федорович

аспирант кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники, Новосибирский государственный технический университет, e-mail: ulyashin_2018@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4555-2813.

Величко Александр Андреевич

д.т.н., профессор кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ, 630073, Новосибирск, пр-т. К. Маркса, д.20), e-mail: vel6049@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7304-2813.

Галянтич Алексей Николаевич

аспирант кафедры теоретических основ радиотехники, Новосибирский государственный технический университет, e-mail: ag_nsk@mail.ru, ORCID ID: 0009-0008-6894-0652.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

Study of Methods for Measuring Distances in Scanning Range

Alexander F. Ulyashin, Alexander A. Velichko, Alexei N. Gallantich

Novosibirsk State Technical University (NSTU)

Abstract: The paper compares various methods for constructing laser emitters in pulsed semiconductor rangefinders. Two semiconductor laser emitters with a wavelength of 905 nm, which are part of a pulsed range finder, are considered. The optical scheme of the transmitting and receiving channels of the range finder consists of an aspherical lens and an objective. The difference between laser emitters is the presence of a built-in cylindrical lens in one of them. The results of measuring the distance to the target by a rangefinder with both options for constructing emitters under various conditions are demonstrated.

Keywords: pulse semiconductor rangefinder, laser emitter, cylindrical lens, focus, wavelength, field of view, range, coverage angle.

For citation: Ulyashin A. F., Velicko A. A., Gallantich A. N. Study of methods for measuring distances in scanning range (in Russian). *Vestnik SibGUTI*, 2024, vol. 18, no. 2, pp. 79-87. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-2-79-87>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Ulyashin A. F., Velichko A. A.,
Gallantich A. N., 2024

The article was submitted: 31.05.2023;
accepted for publication 25.12.2023.

References

1. Asnis L. A., Vasil'ev V. P., Volkanskii, V. B. *Lazernaya dal'nometriya [Laser rangefinder]*. Moscow, Radio i svyaz', 1995, 256 p.
2. Baryshnikov N. V., Bokshanskii V. B., Karasik V. E. *Priemoperedayushchie ustroi-stva lazernykh lokatsionnykh izobrazhayushchikh sistem [Transceiver devices of laser location imaging systems]*. Moscow, publishing house of Bauman Moscow state technical University, 2004, 84 p.
3. Bokshanskii V. B., Bondarenko D. A., Vyazovykh M. V., Zhivotovskii I. V., Sakharov A. A., Semenov V. P. *Lazernye pribory i metody izmereniya dal'nosti [Laser devices and methods for measuring range]*. Moscow, Publishing house of Bauman Moscow state technical University, 2012, 92 p.
4. Bernikov B. O., Bokshansky V. B., Vyazovykh M. V., Fedorov S. V. *Metody povysheniya tochnosti izmereniya dal'nosti v lazernykh fazovykh dal'nomerakh [Methods for improving the accuracy of distance measurement in laser phase range finders]*. Bulletin of Bauman Moscow state technical University. "Instrument engineering", 2012.
5. Belov I. Yu. *Fizicheskie osnovy opticheskoi dal'nometrii [Physical bases of optical rangefinder]*, Kazan, 2009, 72 p.
6. Popov L. N., Frolkin V. T. *Impul'snye ustroistva [Pulsed devices]*. 3rd ed., Moscow, Sovetskoe radio, 1980. 547 p.
7. Gritsevsky P. M., Mamchenko A. E., Gradovsky B. M. *Osnovy avtomatiki [Fundamentals of automation, pulse and computer technology]*. Moscow, Radio and communications, 1987, 632 p.
8. Yakubovsky S. V. *Analogovye i tsifrovye integral'nye skhemy: spravochnik [Analog and digital integrated circuits: Handbook]*. Moscow, Sov. Radio, 2008. 336 p.
9. Golubev A. N. *Pribory i metody elektronnoi dal'nometrii i takheometrii [Devices and methods of electronic rangefinder and tacheometry]*. Moscow, "Nedra", 1991, 249 p.
10. Poujouly S., Journet B. A twofold modulation frequency laser range finder. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 2002. pp. 356-363.
11. Joseph M. Geary. *Introduction to lens design with practical Zemax examples*, 2002, 462 p.

Alexander F. Ulyashin

postgraduate student of the Department of semiconductor devices and microelectronics, Novosibirsk State Technical University (NSTU, Russia, 630073, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue), e-mail: ulyashin_2018@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4555-2813.

Alexander A. Velichko

Dr. of Sci. (Engineering), professor of the Department of semiconductor devices and microelectronics, Novosibirsk State Technical University (NSTU, Russia, 630073, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue), e-mail: vel6049@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7304-2813.

Alexei N. Gallantich

postgraduate student of the Department of theoretical fundamentals of radio engineering, Novosibirsk State Technical University (NSTU, Russia, 630073, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue), e-mail: ag_nsk@mail.ru, ORCID ID: 0009-0008-6894-0652.