

УДК 656.253.3

В.В. Демьянов, А.С. Плотников

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СВЕТОФОРОВ

***Аннотация.** Предложено конструктивное и схемотехническое решение для построения устройства, предназначенного для измерения характеристики светораспределения железнодорожных светофоров любой из оптических систем в лабораторных условиях. Устройство может использоваться в процессе проведения лабораторных учебных занятий, а также при проведении поверочных измерений характеристик светораспределения линзового и светодиодного оптических комплектов железнодорожных светофоров. Устройство практически реализовано и испытано в учебной лаборатории «Системы автоматизации и телемеханики». Результаты лабораторных испытаний показали работоспособность устройства и его удовлетворительные технические характеристики.*

***Ключевые слова:** Железнодорожная автоматика и телемеханика, железнодорожные светофоры, характеристика светораспределения, измерения в устройствах ЖАТ, СЦБ.*

V.V. Demyanov, A.S. Plotnikov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

DEVICE FOR MEASURING THE LIGHT DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF RAILWAY LIGHTS

***Annotation.** A constructive and circuit design solution is proposed for constructing a device intended for measuring the characteristics of light distribution of railway traffic lights of any of the optical systems in laboratory conditions. The device can be used in the process of conducting laboratory training sessions, as well as during verification measurements of the light distribution characteristics of lens and LED optical sets of railway traffic lights. The device has been practically implemented and tested in the training laboratory "Automation and Remote Control Systems". The results of laboratory tests have shown the operability of the device and its satisfactory technical characteristics.*

***Keywords:** Railway automatics and telemechanics, railway traffic lights, characteristics of light distribution, measurements in ZhAT, signaling devices.*

Введение

Светофоры на железнодорожном транспорте являются одними из важнейших устройств, выполняющих наиболее ответственную функцию – передачу машинистам поездов оперативных команд о выборе допустимого скоростного режима ведения поезда. Для обеспечения высокого уровня безопасности движения на железнодорожном транспорте важно в любых условиях эксплуатации непрерывно поддерживать установленную нормативную дальность видимости сигнальных показаний светофоров. В регламенте типовых работ по хозяйству СЦБ предусматривается периодический обход светофоров автоблокировки с контролем фактической дальности видимости сигналов. В случае несоответствия фактической дальности видимости нормативу, производится замена ламп или всего оптического комплекта светофорной головки. При этом необходимо иметь в виду, что нормативная дальность видимости может поддерживаться только, если характеристика светораспределения оптического комплекта светофора соответствует установленному нормативному виду. В связи с этим, может возникнуть необходимость контроля фактического вида кривой светораспределения оптического комплекта перед его установкой на светофор. Такая предварительная проверка поможет избежать ненужных трудозатрат на установку, в случае несвоевременного обнаружения неудовлетворительной характеристики светораспределения.

Не менее важной задачей является обучение технического персонала, который должен иметь ясное представление о технических характеристиках типовых устройств СЦБ и методов их контроля на этапе эксплуатации и ремонта. Одним из элементов такого обучения может

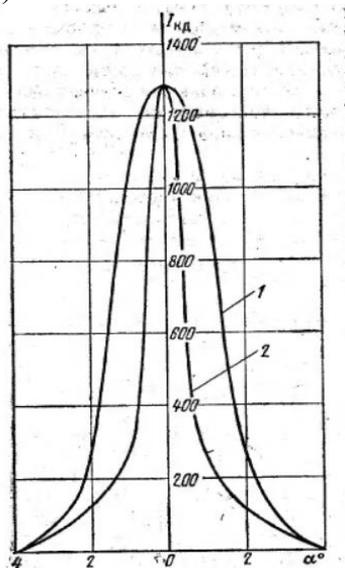
стать практическое ознакомление с характеристиками светораспределения различных оптических систем железнодорожных светофоров.

В настоящей статье предлагается конструктивное и схмотехническое решение для построения устройства для измерения характеристики светораспределения железнодорожных светофоров любой из оптических систем в лабораторных условиях. Устройство может использоваться, как в процессе проведения лабораторных учебных занятий, так и для поверочных и контрольных измерений характеристик светораспределения линзового и светодиодного оптических комплектов железнодорожных светофоров.

Типовые характеристики светораспределения оптической системы железнодорожных светофоров

Проверка видимости сигнальных показаний светофоров производится бригадой не менее двух человек после каждой смены ламп, линзового комплекта или светофорной головки в целом, но не реже, чем раз в квартал. Выполнение данного вида работы требует довольно больших затрат времени и осуществляется в соответствии с технологической картой следующим образом. Электромеханик, находясь на требуемом расстоянии от светофора (от 200 до 1000 м), визуально, полагаясь лишь на свое зрение определяет видимость сигналов светофора и направленность светового луча (место наилучшей видимости показаний светофора), который необходимо направлять к правому рельсу по ходу движения поезда [1]. Электромонтер в это время должен следить за движением поездов и оповещать об этом электромеханика. Как можно заметить, кроме больших затрат времени, проверка проводится визуально, т.е. ее результаты полностью зависят от зрения проверяющего работника. Это может привести к негативным последствиям, а именно к несоответствию фактической дальности видимости показаний светофоров установленным нормативам.

а)



б)

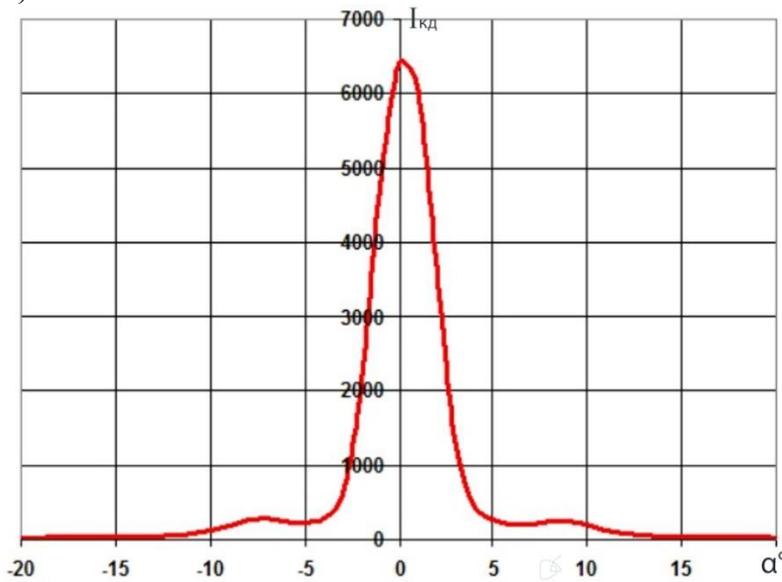


Рис. 1. Кривые светораспределения

В то же время на этапе ремонта и плановой замены светооптических комплектов светофоров можно было бы избежать указанных выше трудозатрат за счет предварительной контрольной проверки характеристик светораспределения оптического комплекта в лабораторных условиях перед его установкой. Нормативная характеристика светораспределения представляет собой зависимость силы света, которая формируется оптическим комплектом светофора, от угла рассеивания относительно оптической оси. Вид такой характеристики в горизонтальной плоскости (1) и вертикальной плоскости (2) для светофора линзовой оптической системы представлен на рис.1 а, а для светодиодной оптической системы в горизонтальной плоскости на рис 1 б.

Как можно убедиться, сила света оптического комплекта железнодорожного светофора сосредоточена в очень узком угловом створе. Так, известно, что при использовании линзовой оптической системы, сила света сигнальных показаний светофоров сосредоточена в угловом секторе $\pm 2^\circ$ в горизонтальной плоскости и $1-1,5^\circ$ в вертикальной. Для светодиодных оптических систем основная сила света сосредоточена в пределах $\pm 10^\circ$ в горизонтальной плоскости и $1,5-4,0^\circ$ в вертикальной [2-5]. За счет этого обеспечивается большая дальность видимости сигнала при небольшой мощности источника света. Вместе с тем ясно, что даже незначительные погрешности фокусировки оптического комплекта могут привести к существенному снижению дальности видимости сигнала светофора.

Точно оценить отклонение угловой характеристики от нормативных требований визуально не представляется возможным. В связи с этим, появляется необходимость предложить проведение регламентных работ по обслуживанию светофоров, работы по проверке соответствия направленности и дальности видимости показаний светофоров с нормативными требованиями с использованием специального устройства. Проведение данного вида работы, вместо проводимых в настоящее время визуальных проверок видимости сигналов, позволит достичь:

- 1) снижения влияния человеческого фактора на качество проводимой проверки видимости сигнальных показаний светофоров.
- 2) повысить точность оценки функционального состояния оптической системы после замены ее частей или полной замены светофорной головки.
- 3) снижения трудозатрат на оценку функционального состояния оптической системы светофоров на перегонах и станциях.

Введем необходимые единицы измерения силы света оптической сигнальной системы и свяжем их угловыми характеристиками светораспределения. Основной измеряемой величиной является сила света I , излучаемая светофором, которая измеряется в канделах (кд). Сила света определяет освещенность на зрачке глаза машиниста E , которая измеряется в люксах (лк). Освещенность и сила света связаны следующими формулами:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (1)$$

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I\omega}{S} \quad (2)$$

Где I – сила света, кд; Φ – световой поток, лм; ω – телесный угол распределения светового потока, измеренный относительно оптической оси, $^\circ$; S – площадь, m^2 , на которую падает световой поток.

Поскольку оптическая система светофора обеспечивает фокусировку светового потока в направлении наблюдателя, рассматривается два телесных угла ω_1 и ω_2 на входе оптической системы и на ее выходе соответственно. Телесные углы ω_1 и ω_2 на плоскости удобнее представить в виде соответствующих плоских углов охвата α и рассеяния β (рис. 2) [6].

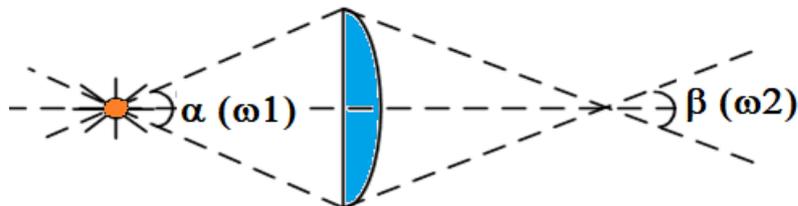


Рис. 2. Принцип действия линзовой оптической системы

Непосредственно способность оптической системы передавать максимальный световой поток и создавать максимальную освещенность на зрачке глаза машиниста оценивается с помощью коэффициента усиления оптики. Этот коэффициент связан с введенными выше угловыми характеристиками следующим образом

$$K_v = K_{II} \frac{\alpha}{\beta} \quad (3)$$

Из (3) следует, что коэффициент усиления оптики прямо пропорционален углу охвата и обратно пропорционален углу рассеяния. Это означает, что оптическая система должна использовать как можно большую часть светового потока от источника и сфокусировать ее максимально в направлении наблюдателя.

Для оценки технических характеристик оптического комплекта светофора будем полагать, что угол охвата и световой поток на его входе является постоянным. Поэтому для реализации контрольной оценки характеристики светораспределения светофора требуется организовать измерение зависимости вида $E = F(\beta)$.

Перейдем далее к рассмотрению конструкционного и схемотехнического решения для построения устройства измерения характеристики светораспределения светофора.

Устройство измерения характеристик светораспределения

С инженерной точки зрения требуется реализовать фотометрические измерения зависимости вида $U = F(\beta)$, где U – напряжение, пропорциональное освещенности на измерительном элементе. В качестве измерительного элемента используется фотометрический датчик – фотодиод. Поскольку сигналы светофоров различаются по длине волны (цвету), требуется также учитывать спектральную чувствительность выбранного типа фотодиода.

Типовым фотодатчиком, который широко используется для фотометрических измерений может служить PIN-фотодиод марки BPW 34. Этот прибор имеет наибольшую чувствительность в инфракрасном спектре. Это означает, что для корректного измерения видимого спектра излучения нужно использовать специальный сине-зеленый фильтр [6].

Принципиальная схема измерительного прибора приведена на рисунке 3. В качестве фотометрического датчика используется фотодиод BPW34, поскольку он имеет низкую стоимость и его легко разместить на монтажной плате. Также он обладает сравнительно не плохой световой характеристикой и чувствительностью. Четыре резистора, подключенных параллельно через цепь обратной связи первого каскада усилителя, реализованного микросхемой LM358, дают возможность проводить измерения освещенности с максимальными пределами 50, 500, 5000 и 50000 люкс [7-8].

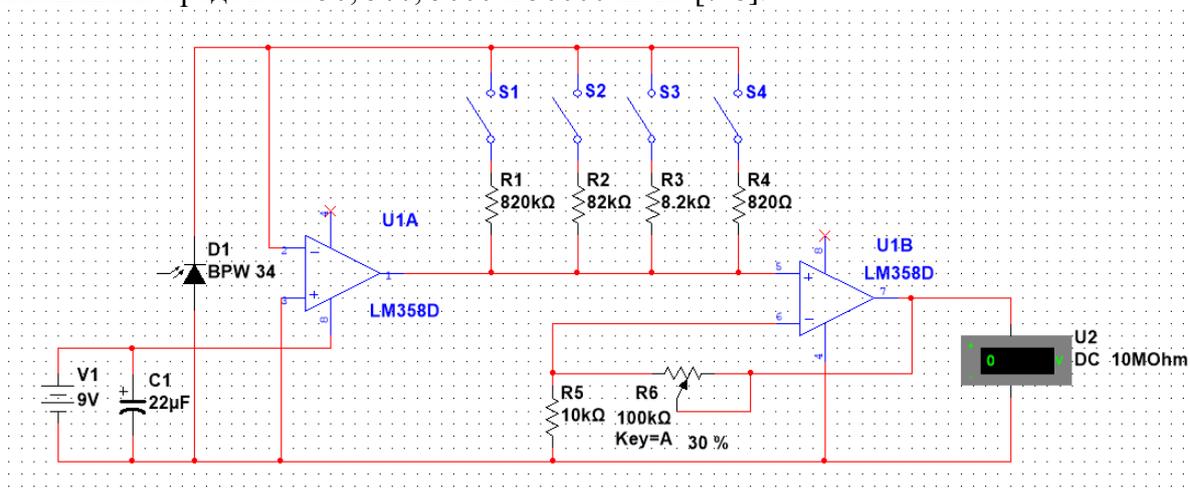


Рис. 3. Принципиальная схема люксметра

Максимальные пределы можно изменять либо подбором других номиналов резисторов, либо коэффициента усиления второго каскада с помощью резистора R6. Однако стоит отметить, что завод изготовитель не гарантирует линейность изменения характеристик фотодиода BPW34 при уровне освещенности свыше 10000 люкс [9]. Данное устройство может питать простая гальваническая батарея на 9В, так как микросхема LM358 рассчитана на работу от однополярного источника питания. На рисунке 4 показан рабочий прототип фотометрического датчика.



Рис. 4. Лабораторный образец прибора

Перед тем как начать проводить измерения, устройство необходимо откалибровать. Калибровка данного устройства должна осуществляться при помощи высокоточного люксметра. На рисунке 5 изображена схема проведения опытного измерения направленности светового потока от источника света. В качестве источника света использовалась линзовая оптическая система красного сигнала железнодорожного светофора. Прибор измерения освещенности перемещался по дуге от 0° до 10° в горизонтальной плоскости. Результаты измерения фиксировались через каждые 2° с помощью вольтметра. По результатам эксперимента построен график (рисунок 6).

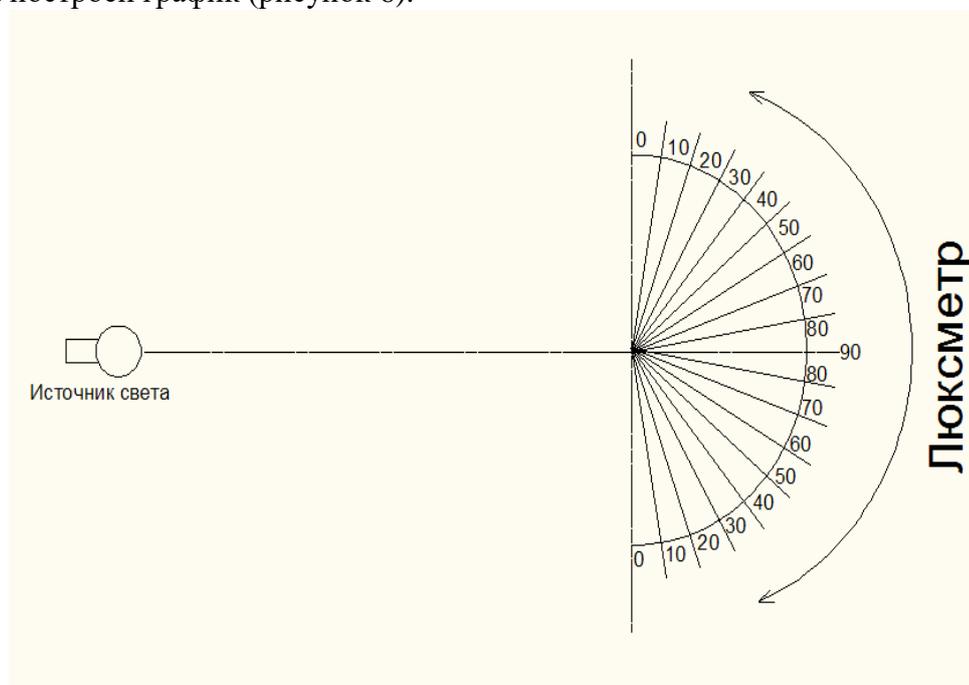


Рис. 5. Схема проверки прибора

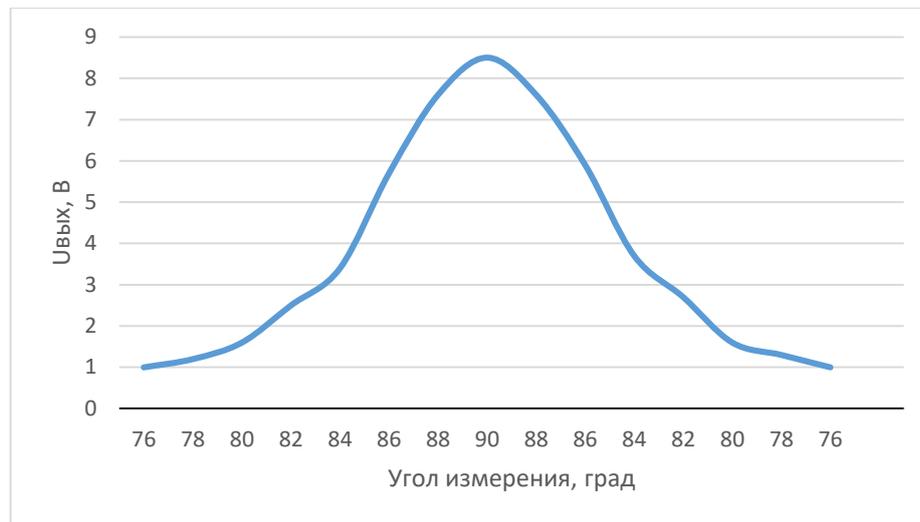


Рис. 6. График результатов измерения освещенности от изменения угла отклонения

Проведенные измерения показали работоспособность прибора в лабораторных условиях. Однако следует отметить что измерения были проведены только на сигнале красного огня железнодорожного светофора. Для того чтобы полностью убедиться в работоспособности данного устройства следует провести измерения характеристики светораспределения желтого и зеленого огней железнодорожного светофора. В качестве выявленных конструктивных недостатков можно указать зависимость результатов измерений от уровня фоновой освещенности, что требует дополнительных конструктивных доработок полученного прибора в дальнейшем.

Заключение:

Предложен макет измерителя освещённости, который позволяет оценить характеристику светораспределения железнодорожного светофора в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Фоновая освещенность может ограничить точность полученных измерений. Поэтому требуется конструктивная доработка устройства за счет уменьшения активной площади фотодиода, путем закрытия его по краям плотным светонепроницаемым материалом, в результате чего он становится узконаправленным. Требуется проработать вопрос о тестировании устройства в различное время суток, а также в лабораторных условиях при использовании в затемненном помещении. Также необходимо провести тестирование данного устройства на разных сигналах светофора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология выполнения работ // Проверка с пути видимости сигнальных огней, зеленых светящихся полос и световых указателей светофоров: ТНК ЦШ 0147-2015: утв. ЦДИ – филиала ОАО «РЖД» 03.07.2015. – 5 с.
2. Путьевая блокировка и авторегулировка: Учебник для вузов / Н.Ф. Котляренко, А.В. Шишляков, Ю.В. Соболев, И.З. Скрыпин, В.А. Шишляков – 3-е изд. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.
3. Демьянов В.В. Автоматическая блокировка и переездная сигнализация: лабораторный практикум / В.В. Демьянов. – Иркутск: ИрГУПС, 2013. – 58 с.
4. Архипов Е.В., Гуревич В.Н. Справочник электромонтера СЦБ. – М.: Транспорт, 1990. – 287 с.
5. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. – М.: ООО «Техинформ»; ООО Центр «Транспорт», Москва 2012. – 520 с. – ISBN 978-5-9903808-1-3.
6. Самохвалов М.К. Элементы и устройства оптоэлектроники: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям 654300 и 551100 «Проектирование и технология электронных средств» / М.К. Самохвалов, Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 125 с. – ISBN 5-89146.

7. Теория оптических систем: Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов / Н.П. Заказов, С.И. Кирюшин, В.Н. Кузичев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.

8. Люксметр на основе фотодиода и операционного усилителя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zpostbox.ru/lyuksmetr_na_osnove_fotodioda_i_operatsionnogo_usilitelya.html, свободный – (дата обращения: 21.10.21).

9. Данилов, О.Е. Виртуальный люксметр для учебных физических опытов / О.Е. Данилов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 15 (74). — С. 5-9. — URL: <https://moluch.ru/archive/74/12522/> (дата обращения: 21.10.2021).

REFERENCES

1. Technology of work // Checking from the path of visibility of signal lights, green luminous stripes and light indicators of traffic lights: TNK TsSh 0147-2015: approved. CDI - a branch of JSC «Russian Railways» 07/03/2015. - 5 p.

2. Track blocking and auto-adjustment: Textbook for universities / N.F. Kotlyarenko, A. V. Shishlyakov, Yu.V. Sobolev, I.Z. Skrypin, V.A. Shishlyakov – 3rd ed. - M.: Transport, 1983. – 408 p.

3. Demyanov V.V. Automatic blocking and crossing signaling: laboratory practice / V. V. Demyanov. – Irkutsk: IrGUPS, 2013. – 58 p.

4. Arkhipov E.V., Gurevich V.N. Handbook of the electrician signaling system. – M.: Transport, 1990. – 287 p.

5. Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation. – M.: OOO Tekhinform; Center «Transport» LLC, Moscow 2012. – 520 p. – ISBN 978-5-9903808-1-3.

6. Samokhvalov MK Elements and devices of optoelectronics: a textbook for students studying in areas 654300 and 551100 «Design and technology of electronic means» / MK Samokhvalov, Ulyanovsk: UISTU, 2003. – 125 p. – ISBN 5-89146.

7. Theory of optical systems: A textbook for students of instrument-making specialties of universities / N.P. Zakaznov, S.I. Kiryushin, V.N. Kuzichev. – 3rd ed., Rev. and add. - M.: Mechanical Engineering, 1992. – 448 p.

8. Light meter based on a photodiode and an operational amplifier. [Electronic resource]. – Access mode: http://zpostbox.ru/lyuksmetr_na_osnove_fotodioda_i_operatsionnogo_usilitelya.html, free – (date of access: 21.10.21).

9. Danilov O.E. Virtual light meter for educational physical experiments / O.E. Danilov. – Text: direct // Young scientist. – 2014. – No. 15 (74). – S. 5-9. – URL: <https://moluch.ru/archive/74/12522/> (date accessed: 21.10.2021).

Информация об авторах

Демьянов Владислав Владимирович – д.т.н., профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sword1971@yandex.ru

Плотников Артём Сергеевич – студент группы СОД.2-17-1, факультет «Системы обеспечения транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mywork98@mail.ru

Authors

Vladislav Vladimirovich Demyanov – doctor of Technical Sciences, Professor, the Department of «Automation, Telemechanics and Communication», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sword1971@yandex.ru

Artyom Sergeevich Plotnikov – student of group SOD.2-17-1, faculty of «Transport support systems», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mywork98@mail.ru