УДК
622.012.2

А.М. Истомин, Г.М. Петров, Е.В. Антипов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ОСВЕЩЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Выполнено исследование электрической сети освещения при питании от осветительных аппаратов различной мощности с различными напряжениями вторичной осветительной сети. Получены зависимости потери напряжения в трансформаторе, потери напряжения в кабельной сети и зависимости 3-х фазных и 2-х фазных токов короткого замыкания.

Ключевые слова: освещение, светильники, осветительные трансформаторы, агрегаты и аппараты, подземные горные выработки.

Общие сведения

Затраты электроэнергии на искусственное освещение относительно невелики (до 20%) и зависят от отрасли промышленности [5], однако Федеральный закон № 261-ФЗ [4] определяет основные требования по энергосбережению и повышению энергетической эффективности во всех электрических сетях промышленных предприятий.

В РФ в настоящее время применяется огромное количество различных источников света, которые по своим параметрам широко отличаются друг от друга. В работе [8] дана оценка эффективности различных источников света. В работе [7] описаны устройство и условия применения светильников в подземных горных выработках, где в настоящее время все большее применение находят светодиодные светильники, основными достоинствами которых являются низкое энергопотребление; срок службы, достигающий 50 тыс. часов; механическая прочность; а также возможность получения насыщенных цветов. Соотношение цена/качество таких ламп является оптимальным.

Исследование осветительных сетей в горных выработках

Согласно нормативным документам для освещения подземных горных выработок, в зависимости от специфики и условий эксплуатации, должны применяться рудничные светильники в специальном исполнении [1—3]. В осветительных сетях под-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 82–91.
© 2017. А.М. Истомин, Г.М. Петров, Е.В. Антипов.

земных горных выработок разрешается применение напряжения не выше 220 В. Для освещения выработок с повышенной влажностью, а также на проходческих машинах и механизмах (щитах, укладчиках тоннельной обделки, передвижных металлических подмостях, бурильных установках и агрегатах) напряжение должно быть не более 42 В. Для ручных переносных светильников допускается напряжение не выше 12 В.

Для питания цепей освещения используются осветительные трансформаторы, аппараты и пусковые агрегаты. Данные агрегаты и аппараты осуществляют защиту: от токов двухфазных и трехфазных КЗ осветительной сети; от токов утечки на землю при снижении сопротивления изоляции отходящих линий ниже критической величины; от замыкания и обрыва цепи дистанционного управления, а также блокировку от подачи напряжения на поврежденную осветительную сеть.

С применением светодиодных светильников резко снизилась установленная мощность осветительной сети, что повлекло за собой применение осветительных трансформаторов малой мощности. В работах [7] и [8] были выполнены расчеты осветительных сетей в подземных горных выработках, на основании которых доказана целесообразность применения трехфазных

Таблица 1

Технические характеристики аппаратов типа АОШ

Наименование параметра	**Тип изделия**			
	АОШ-3Ф-0,8-660-380/36 (127–220)	**АОШ-3Ф-1,6-660-380/36 (127–220)**	**АОШ-3Ф-2,5-660-380/36 (127–220)**	**АОШ-3Ф-5,0-660-380/36 (127–220)**
Исполнение	РН			
Степень защиты	IP 54			
Номинальная мощность, кВ·А	0,8	1,6	2,5	5,0
Номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, В	660–380	660–380	660–380	660–380
Номинальное напряжение обмотки низшего напряжения, В	36 (127–220)	36 (127–220)	36 (127–220)	36 (127–220)
Габаритные размеры, мм, не более	450×600×230		525×615×425	
Масса, кг, не более	36	44	56	67

Таблица 2

Расчетные данные аппарата АОШ-0,8

$U_{1ном.\ тр}$, В	$S_{ном.\ тр}$, В·А	$U_{2ном.тр}$, В	$I_{2ном}$, А	s_{min}, мм^2	$I_{ап.\ ном}$, А	$I_{уст}$, А	$I^2_{кз\ min}$, А	$L_{max\ кз}$, км	$L_{\Delta U\ max}$, км	Тип аппарата	ВТХО	$L_{каб.\ о.с}$, м	$\beta_{о.с.\ min}$	$L_{каб.\ \beta\ max}$, м
690, 400 жила – Cu	800	37,4	12,34974	3×1,5+1×1,5	13	39	58,5	0,024162	0,014064	ВМ-63	В13	14,1	0,658865	23,07798
	800	37,4	12,34974	3×2,5+1×1,5	13	39	58,5	0,042031	0,02344	ВМ-63	В13	23,4	0,605512	42,51848
	800	37,4	12,34974	3×4+1×2,5	13	39	58,5	0,06906	0,037503	ВМ-63	В13	37,5	0,591835	69,8978
	800	37,4	12,34974	3×6+1×4	13	39	58,5	0,088818	0,056255	ВМ-63	В13	56,3	0,675471	89,62268
	800	37,4	12,34974	3×10+1×6	13	39	58,5	0,143131	0,093759	ВМ-63	В13	93,8	0,695287	144,3324
690, 400 жила – Al	800	37,4	12,34974	3×1,5+1×1,5	Не проходит по нагреву рабочим током									
	800	37,4	12,34974	3×2,5+1×1,5	13	39	58,5	0,025418	0,014046	ВМ-63	В13	14	0,600766	25,70654
	800	37,4	12,34974	3×4+1×2,5	13	39	58,5	0,04287	0,022474	ВМ-63	В13	22,5	0,574177	43,42035
	800	37,4	12,34974	3×6+1×4	13	39	58,5	0,055817	0,033711	ВМ-63	В13	33,7	0,648428	56,37571
	800	37,4	12,34974	3×10+1×6	13	39	58,5	0,089741	0,056185	ВМ-63	В13	56,2	0,668782	90,57486
690, 400 жила – Cu	800	133	3,472784	3×1,5+1×1,5	4	12	18	0,232855	0,088883	ВМ-63	В4	88,9	0,475896	241,1254
	800	133	3,472784	3×2,5+1×1,5	4	12	18	0,364829	0,14814	ВМ-63	В4	148,1	0,49913	376,9413
	800	133	3,472784	3×4+1×2,5	4	12	18	0,677359	0,23702	ВМ-63	В4	237	0,445034	703,6306
	800	133	3,472784	3×6+1×4	4	12	18	1,017395	0,35553	ВМ-63	В4	355,5	0,444576	1056,906
	800	133	3,472784	3×10+1×6	4	12	18	2,249848	0,59255	ВМ-63	В4	592,6	0,357483	2361,295

690, 400 жила – Al	800	133	3,472784	3×1,5+1×1,5	4	12	18	0,133926	0,053263	ВМ-63	В4	53,3	0,491198	138,4766
	800	133	3,472784	3×2,5+1×1,5	4	12	18	0,22956	0,088772	ВМ-63	В4	88,8	0,48069	237,6016
	800	133	3,472784	3×4+1×2,5	4	12	18	0,372398	0,14203	ВМ-63	В4	142	0,475591	385,6362
	800	133	3,472784	3×6+1×4	4	12	18	0,631215	0,21305	ВМ-63	В4	213,1	0,432831	656,5537
	800	133	3,472784	3×10+1×6	4	12	18	1,031197	0,35509	ВМ-63	В4	355,1	0,439562	1071,815
690, 400 жила – Cu	800	231	1,154401	3×1,5+1×1,5	2	6	9	0,898506	0,28092	ВМ-63	В2	149,2	0,404909	934,9688
	800	231	1,154401	3×2,5+1×1,5	2	6	9	1,587579	0,4682	ВМ-63	В2	248,7	0,386931	1655,311
	800	231	1,154401	3×4+1×2,5	2	6	9	4,089129	0,74912	ВМ-63	В2	398	0,267204	4333,609
	800	231	1,154401	3×6+1×4	2	6	9	16,76136	1,1237	ВМ-63	В2	597	0,12228	18 385,08
	800	231	1,154401	3×10+1×6	2	6	9	433,35	1,8728	ВМ-63	В2	995	0,014503	522076,4
690, 400 жила – Al	800	231	1,154401	3×1,5+1×1,5	2	6	9	0,540117	0,16834	ВМ-63	В2	89,4	0,403923	562,096
	800	231	1,154401	3×2,5+1×1,5	2	6	9	0,884954	0,28057	ВМ-63	В2	149,1	0,409326	920,4274
	800	231	1,154401	3×4+1×2,5	2	6	9	1,637351	0,44891	ВМ-63	В2	238,5	0,365594	1711,473
	800	231	1,154401	3×6+1×4	2	6	9	3,327114	0,67336	ВМ-63	В2	357,7	0,288723	3514,038
	800	231	1,154401	3×10+1×6	2	6	9	17,82513	1,1223	ВМ-63	В2	596,2	0,116454	19 593,94

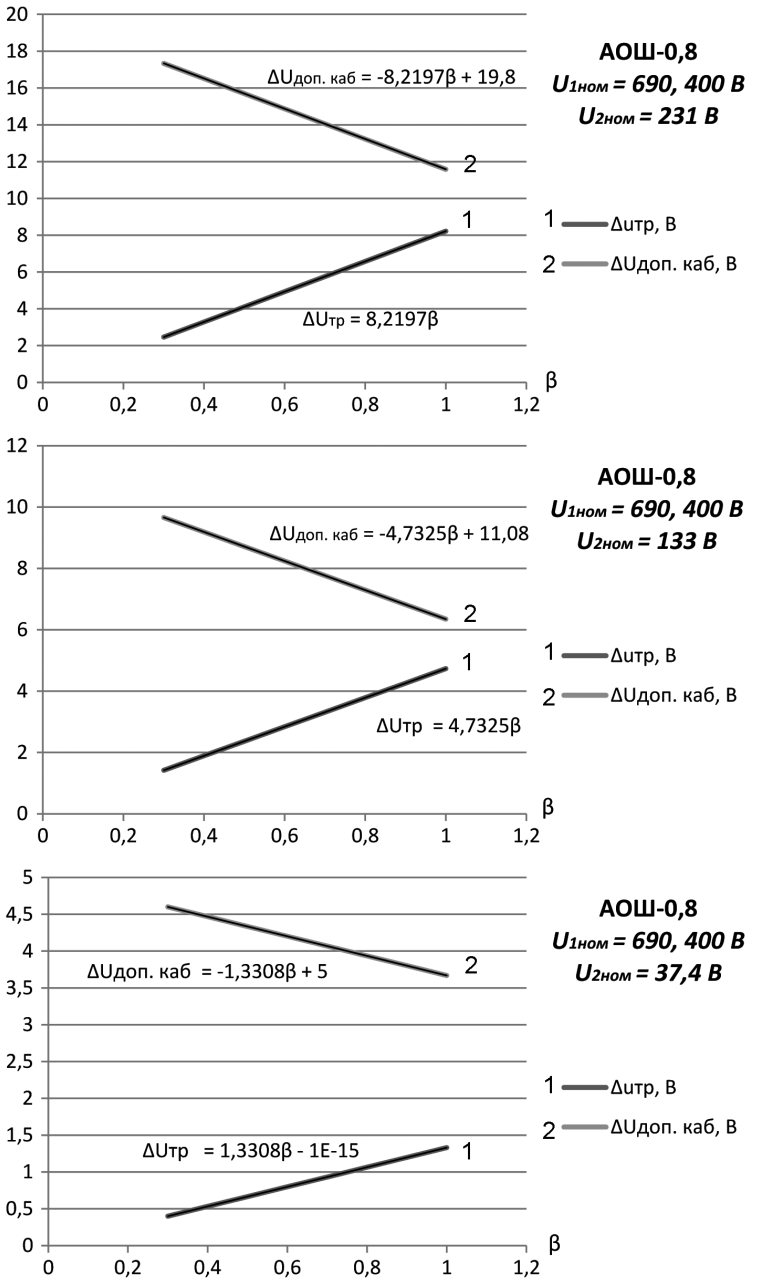


Рис. 1. Потери напряжения в трансформаторе и кабельной сети

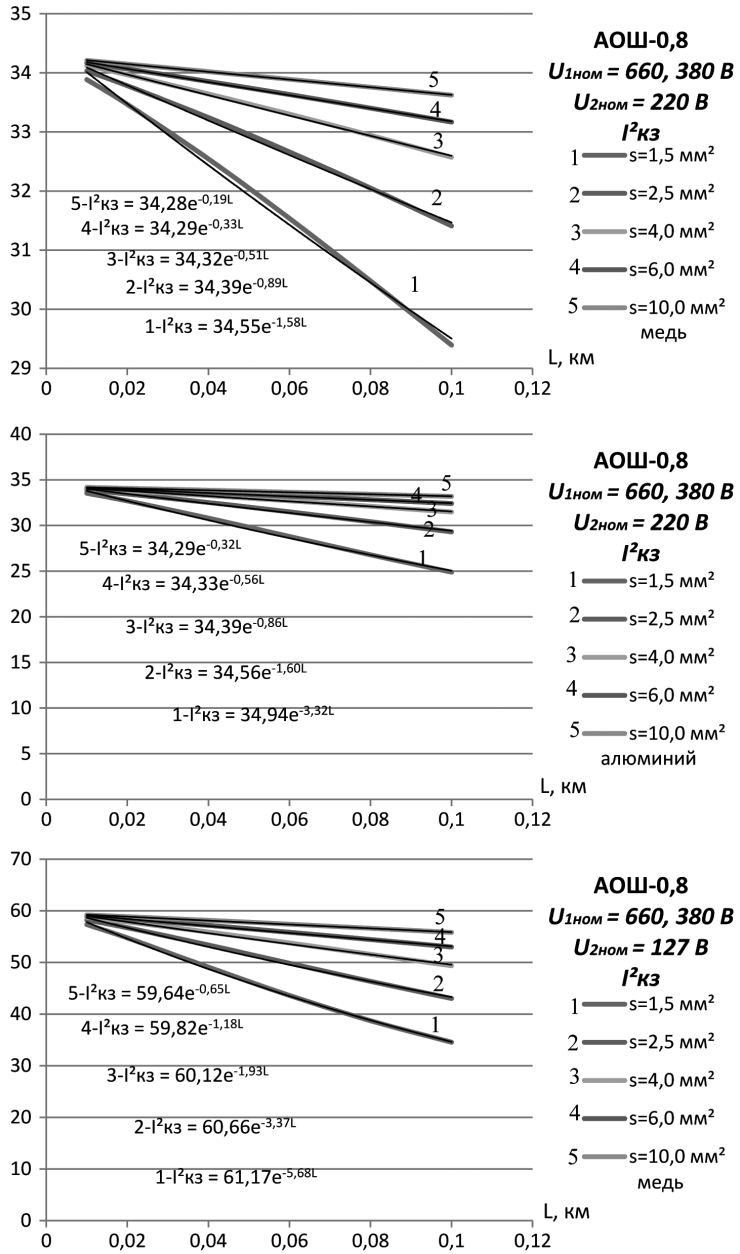
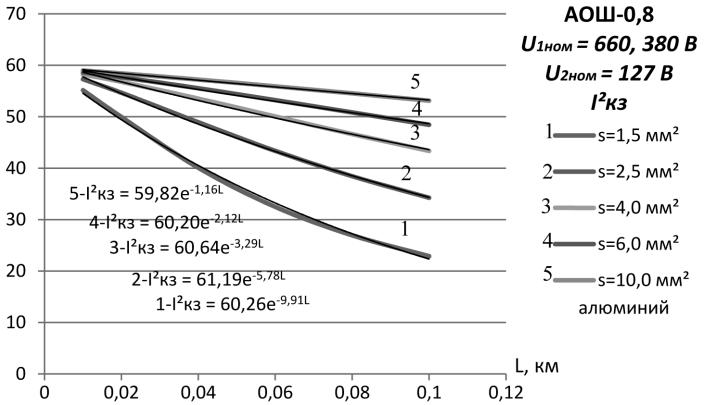
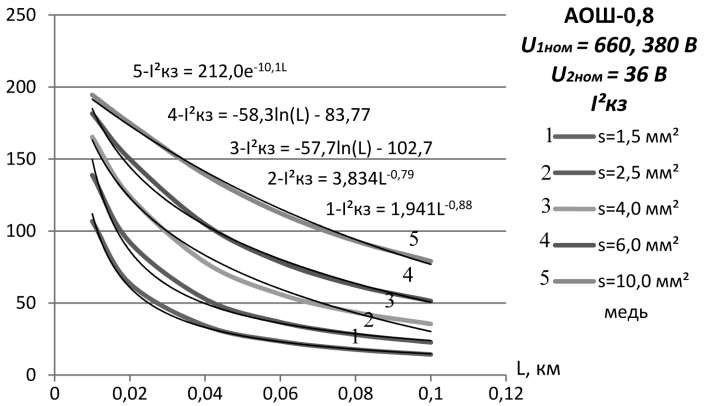


Рис. 2. Двухфазные токи КЗ в кабельной осветительной линии при питании от аппарата АОШ-0,8





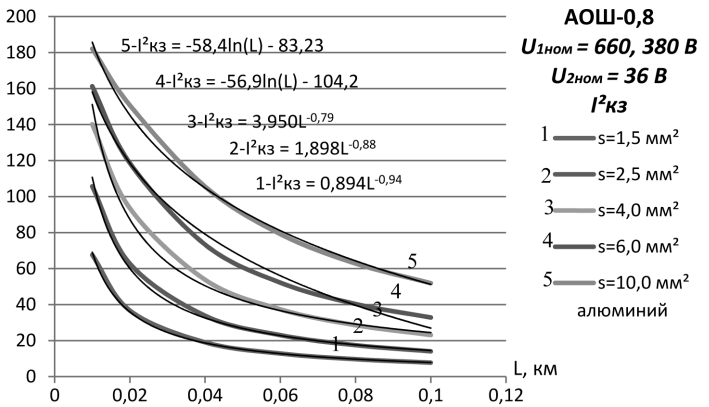


Рис. 2. Двухфазные токи КЗ в кабельной осветительной линии при питании от аппарата АОШ-0,8

осветительных трансформаторов мощностью 0,8 и 1,6 кВ·А. ООО «Промышленное предприятие шахтной электроаппаратуры» (ООО «ПП ШЭЛА») с 2014 г. приступило к выпуску осветительных аппаратов АОШ-0,8; АОШ-1,6; АОШ-2,5 и АОШ-5,0 [6].

В табл. 1 представлены технические характеристики трехфазных осветительных аппаратов, выпускаемыми ООО «ПП ШЭЛА».

В данной работе были выполнены основные расчеты по осветительным трансформаторам и осветительным кабельным сетям с целью определения потерь напряжения в осветительных трансформаторах разной мощности, потерь напряжения в кабельных осветительных сетях, расчет 3-х и 2-х фазных токов короткого замыкания в отходящих кабельных линиях. При выполнении расчетов были использованы материалы [7–12]. В табл. 2 приведены расчетные данные осветительного аппарата АОШ-0,8 и питаемых от него осветительных кабельных сетей.

На рис. 1 представлены зависимости потери напряжения в трансформаторе аппарата АОШ-0,8 и в осветительной кабельной сети при различном напряжении вторичной обмотки трансформатора. На рис. 2 приведены зависимости 2-х фазных токов короткого замыкания в осветительной кабельной сети с медными и алюминиевыми жилами при питании от осветительного трансформатора АОШ-0,8 с различными номинальными напряжениями во вторичной обмотке трансформатора.

В работе также были получены соответствующие зависимости и от других осветительных аппаратов АОШ, выпускаемых ООО «ПП ШЭЛА».

Выводы

Полученные зависимости могут быть приняты к использованию при проектировании осветительной сети в подземных горных выработках промышленных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2002.

2. *СП 52.13330.2011* Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – М., 2011.

3. *ГОСТ Р 55733-2013* Освещение подземных горных выработок. Основные требования и методы измерений. – М., 2014.

4. *Федеральный* закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 года.

5. *Петров Г. М.* Электрификация объектов при строительстве городских подземных сооружений: Учебник. – М.: изд-во «Горная книга», Изд-во МГГУ, 2011. – 522 с.

6. *Аппараты* осветительные шахтные типа АОШ-0,8; АОШ-1,6; АОШ-2,5; АОШ-5,0. Руководство по эксплуатации. – Тула, изд-во ООО «ПП ШЭЛА», 2015.

7. *Истомин А. М.*, *Кутепов А. Г.*, *Петров Г. М.* К устройству светодиодного освещения в подземных горных выработках // Научный вестник МГГУ (электронный журнал). – 2013. – № 10. – С. 25–37.

8. *Истомин А. М.*, *Петров Г. М.*, *Кутепов А. Г.* Современный подход к устройству освещения в подземных горных выработках // Горный информационный аналитический бюллетень. – 2014. – № 1. – С. 304–310.

9. *Справочная* книга по светотехнике / Под. ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.

10. *Освещение* на вашем рабочем месте //armot-irk.ru URL: http://www.armot-irk.ru/articles/stat_osv.html (дата обращения: 30.11.2016).

11. *Освещение* в шахтерских шахтах. Требования к освещению на месте труда шахтера // meduniver.com URL: http://meduniver.com/Medical/Gigiena_truda/216.html (дата обращения: 30.11.2016).

12. *Светотехнический* выбор светильников // infopedia.su URL: http://infopedia.su/4x64fc.html (дата обращения: 30.11.2016). ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Истомин Анатолий Михайлович – генеральный директор, ООО «Производственное предприятие Шахтной электроаппаратуры» (ООО «ПП ШЭЛА»), e-mail: shela@shela71.ru,
Петров Геннадий Михайлович[1] – кандидат технических наук, профессор, e-mail: petrovgm@mail.ru,
Антипов Евгений Васильевич[1] – студент, e-mail: souzli@ya.ru,
[1] МГИ НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 82–91.

UDC 622.012.2

A.M. Istomin, G.M. Petrov, E.V. Antipov

STUDY OF ELECTRICAL NETWORK OF ILLUMINATION IN THE UNDERGROUND MOUNTAIN WORKINGS

Numerous light sources currently in use in Russia have far differing parameters. Underground mines increasingly more use illuminators with LED lamps. The author has earlier evaluated efficiency of various light sources and described arrangement and operation of illuminators in underground openings.

In accordance with the regulatory documents, mines are to use special design lamps to conform with the specificity and conditions of operation.

Lighting mains are supplied by special lighting transformers, apparatuses and starter units. Application of LED lamps allows great reduction in rated capacity of mine lighting mains, and lower capacity lighting transformers are now in demand.

Mine Electric Equipment Production Plant (PP SHELA), in conformity with the changed terms, in 2014 launched manufacture of lighting equipment models AOSh-0.8, AOSh-1.6,

AOSh-2.5 and AOSh-5.0 with the transformers with the rated capacities of 0.8, 1.6, 2.5 and 5.0 kV·A, respectively. It is required to determine basic design parameters of transformers and lighting mains to be supplied from these transformer models.

This article gives calculated data for lighting mains installed in underground openings: loss of voltage in the transformers; loss of voltage in the lighting mains; two-phase and three-phase outgoing cable lines. The obtained relationships are accepted by the manufacture for the use in design of lighting mains for mines.

Key words: illumination, light-emitting, lighting transformers, aggregates and apparatuses, underground mountain workings.

AUTHORS

Istomin A.M., General Director, e-mail: shela@shela71.ru,
LLC «Production enterprise of coal Mine electrical equipment»,
Kireevsk, Russia,
Petrov G.M.[1], Candidate of Technical Sciences,
Professor, e-mail: petrovgm@mail.ru,
Antipov E.V.[1], Student, e-mail: souzli@ya.ru
[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. *Pravila ustroystva elektroustanovok*. 7-e izd. (Rules for electrical, 7-th edition), Moscow, ZAO «Energoservis», 2002.

2. *Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie SP 52.13330.2011. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-05-95* (Natural and artificial lighting. SP 52.13330.2011. Updated edition of Construction Norms and Regulations SNiP 23-05-95), Moscow, 2011.

3. *Osveshchenie podzemnykh gornykh vyrabotok. Osnovnye trebovaniya i metody izmereniy GOST R 55733-2013* (Illumination of underground excavations. Basic standards and measurement techniques. State Standart R 55733-2013), Moscow, 2014.

4. *Federal'nyy zakon № 261-FZ «Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii»* ot 23 noyabrya 2009 goda (Federal Law No. 261FS on Energy Saving and Improved Energy Efficiency, and on Amendment of Individual Laws of the Russian Federation, dated November 23, 2009).

5. Petrov G. M. *Elektrifikatsiya ob"ektov pri stroitel'stve gorodskikh podzemnykh sooruzheniy*: Uchebnik (Electrification in construction of underground urban structures. Textbook), Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», Izd-vo MGGU, 2011, 522 p.

6. *Apparaty osvetitel'nye shakhtnye tipa AOSh-0,8; AOSh-1,6; AOSh-2,5; AOSh-5,0.* Rukovodstvo po ekspluatatsii (Аппараты осветительные шахтные типа АОШ-0,8; АОШ-1,6; АОШ-2,5; АОШ-5,0. User manual), Tula, izd-vo ООО «PP ShELA», 2015.

7. Istomin A. M., Kutepov A. G., Petrov G. M. *Nauchnyy vestnik MGGU (elektronnyy zhurnal)*. 2013, no 10, pp. 25–37.

8. Istomin A. M., Petrov G. M., Kutepov A. G. *Gornyy informatsionnyy analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 1, pp. 304–310.

9. *Spravochnaya kniga po svetotekhnike*. Pod. red. Yu. B. Ayzenberga (The reference book on light engineering. Ayzenberg Yu. B. (Ed.)), Moscow, Energoatomizdat, 1995, 528 p.

10. *Osveshchenie na vashem rabochem meste* //armot-irk.ru URL: http://www.armot-irk.ru/articles/stat_osv.html (accessed: 30.11.2016).

11. *Osveshchenie v shakhterskikh shakhtakh. Trebovaniya k osveshcheniyu na meste truda shakhtera*//meduniver.com URL:http://meduniver.com/Medical/Gigiena_truda/216.html (accessed: 30.11.2016).

12. *Svetotekhnicheskiy vybor svetil'nikov* // infopedia.su URL: http://infopedia.su/4x64fc.html (accessed: 30.11.2016).