

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы освещения напольного склада

Обучающийся

А. Пресняк

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## **Аннотация**

Квалификационная работа посвящена реконструкции системы освещения напольного склада зернового терминала.

В работе приводится краткая характеристика зернового терминала, и основных потребителей электроэнергии.

Произведен анализ состояния системы освещения напольных складов и ее соответствия требованиям нормативных документов, выявлены недостатки и определены основные задачи.

Для решения поставленных задач проведены расчеты по выбору количества светильников, их расположения и определению величины светового потока, выбору кабелей, защитных и коммутационных аппаратов.

Разработанный проект реконструкции системы освещения напольных складов позволяет повысить уровень освещенности внутри напольных складов и обеспечить соответствие уровня освещенности внутри складов требованиям нормативных документов.

Работа представлена пояснительной запиской объемом 46 страниц, в которую входит 6 таблиц с исходными данными и результатами расчётов, 13 графических рисунков, шесть чертежей формата А1.

## Содержание

Введение .....	4
1. Анализ объекта проектирования.....	5
2. Описание существующей системы освещения склада .....	9
3. Требования к системам освещения зернового склада .....	13
4. Расчет рабочего освещения .....	16
5. Расчет с помощью ПО Thorn Lighting .....	25
6. Расчет нагрузок системы освещения напольных складов .....	28
7. Выбор кабеля .....	32
8. Выбор аппаратов защиты и управления .....	37
Заключение .....	41
Список используемой литературы и используемых источников ...	43

## Введение

«Специализированный терминал для перевалки зерновых грузов был создан с целью привлечения и перевалки зерна и других навалочных продовольственных грузов из России, Казахстана и стран Балтии на мировой рынок и начал свою деятельность в августе 2005 года.

Терминал расположен в незамерзающем и глубоководном Вентспилсском свободном порту и предлагает клиентам грузовое экспедирование, возможность хранения и перевалки экспортных, импортных, транзитных зерновых и других сельскохозяйственных грузов и продуктов их переработки» [18].

Практически все процессы на предприятии автоматизированы и требуют минимального количества обслуживающего персонала. 90% перегружаемой продукции поступает на территорию предприятия в железнодорожных вагонах, и последующая сортировка и подача вагонов производится с помощью электрифицированных маневровых устройств. Дальнейшая транспортировка продукции осуществляется ленточными конвейерами. Для увеличения мощности предприятия по объему переваливаемых грузов были спроектированы и в 2017 году введены в эксплуатацию дополнительные напольные склады, что позволило довести объем единовременного хранения до 110000 тонн.

Зерновой терминал является крупным потребителем электроэнергии. Основными элементами в структуре потребления электроэнергии терминала являются электродвигатели конвейерных лент, система освещения предприятия и маневровые устройства.

Целью работы является повышение освещенности напольного склада, для которого необходимо провести расчет новой системы освещения. Реконструкция системы освещения напольного склада создаст более комфортные условия для персонала зернового терминала и позволит привести уровень освещенности склада в соответствие нормативным требованиям.

## **1 Анализ объекта проектирования**

Перегружаемая продукция поступает на территорию предприятия в железнодорожных вагонах и далее при помощи электрифицированных маневровых устройств вагоны подаются в узел разгрузки. Далее по системе транспортеров зерно поступает в силосы, где накапливаются и хранятся до прибытия судна экспортные партии.

При погрузке судна по системе транспортеров из-под силосов зерно подается на причал на погрузочные машины. Ленточные конвейеры оснащены электродвигателями, мощность которых зависит от длины ленты и производительности конвейера. На терминале установлены транспортеры с мощностью привода от 50 кВт до 100 кВт.

Для освещения территории предприятия используются мощные уличные прожекторы, а для освещения офисных зданий и транспортерных галерей маломощные люминесцентные и светодиодные лампы.

На предприятии принят план по повышению энергоэффективности и одним из мероприятий, направленных на достижение цели является модернизация систем освещения. В течение 2023 года была произведена замена 85 % люминесцентных ламп на светодиодные во всех помещениях зернового терминала и подземных конвейерных галереях.

Замена компрессорного оборудования позволила снизить расход электроэнергии на 2000 кВтч в месяц.

На рисунках 1-2 представлена схема предприятия, на которой изображены все конвейерные линии и узлы погрузки и разгрузки.

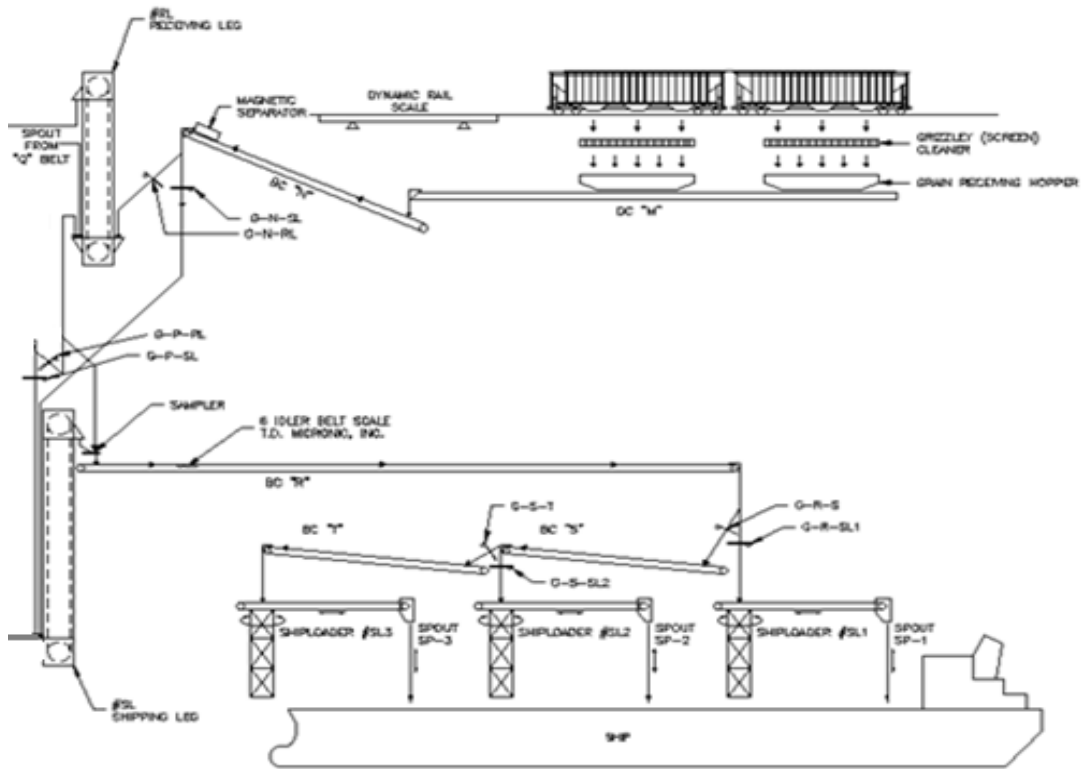


Рисунок 1 - Схема предприятия, узлы разгрузки и погрузки

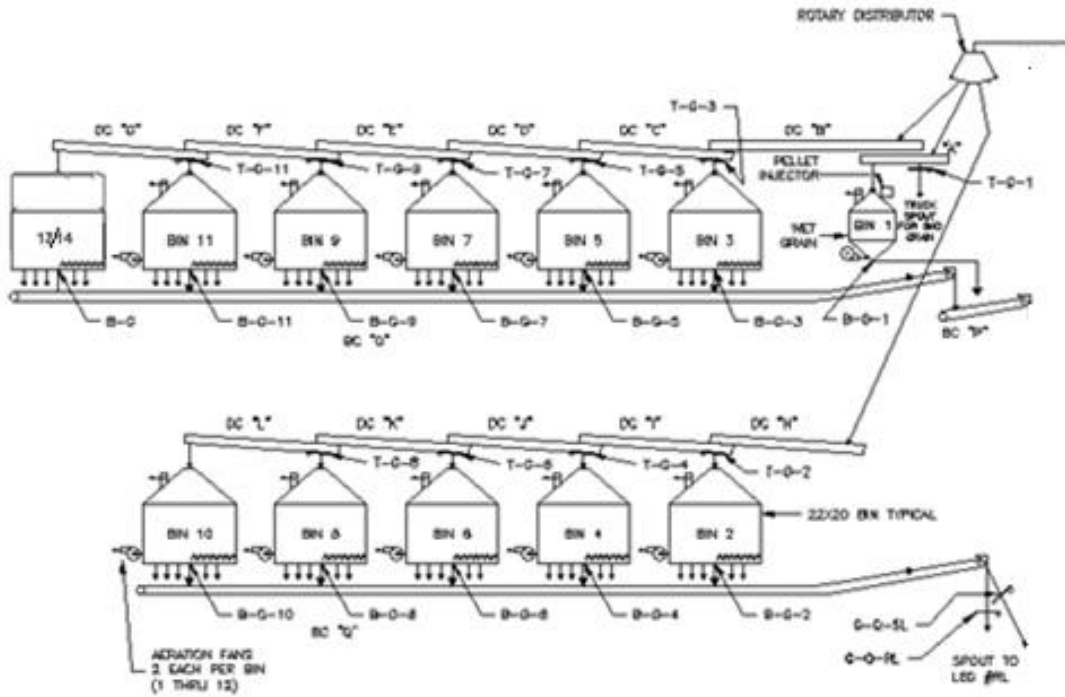


Рисунок 2 - Схема предприятия, зернохранилища.

На Терминале имеются следующие здания, сооружения и оборудование, обеспечение работы которых связано с потреблением электроэнергии:

- одиннадцать силосов высотой 22м для хранения зерна (BIN 2-11, 13) площадью 379,9 м<sup>2</sup> каждый;
- один маленький силос (BIN 1, для «мокрого» зерна) площадью 63,6 м<sup>2</sup>;
- два универсальных склада напольного хранения общей площадью 4.928,5 м<sup>2</sup>;
- технические склады площадью 355 м<sup>2</sup>;
- узел разгрузки вагонов и автомашин;
- мобильная станция погрузки автомашин и вагонов;
- статико-динамические железнодорожные весы ORIGIN MWS 3/125-14;
- 3 элеваторных конвейера RL, SL, VL, высотой соответственно 25 м, 32 м и 25 м);
- дистанционные автоматические бункерные весы JesIntake/210000;
- три судопогрузочные машины стрелового типа с вылетом стрелы 32 м;
- здание механических мастерских общей площадью 652 м<sup>2</sup>;
- автомобильные весы;
- производственные здания и помещения;
- вспомогательные здания, сооружения и оборудование;
- двухэтажное административно-бытовое здание общей площадью 677м<sup>2</sup>;
- трансформаторная подстанция 2 × 1000 кВА;
- компрессорное оборудование (2 компрессора по 75 кВт);
- помещения лаборатории общей площадью 300 м<sup>2</sup>;
- маневровое устройство NITEQ с электроприводом.
- гараж;

В связи с тем, что предприятие относится ко второй категории надежности электроснабжения согласно [16], на территории предприятия установлена двухтрансформаторная подстанция мощностью 1000кВа. Установлены трансформаторы аналогичные трансформатору ТМГ 1000/10/0,4 Д/Ун-11 У1.

Обслуживание трансформаторной подстанции по договору выполняет компания, отвечающая поставку электроэнергии терминалу.

Выводы по разделу.

В разделе описана структура терминала, перечислены крупные объекты, обеспечивающие высокий уровень потребления электроэнергии и позволяющие эффективно выполнять функции по хранению и перевалке навалочных продовольственных грузов. Одной из важных задач терминала является повышение энергоэффективности, для этого проводятся мероприятия по модернизации системы освещения с переходом на светодиодные светильники. Также повышение энергоэффективности достигается применением современного силового оборудования, компрессоров, электродвигателей.



## 2 Описание существующей системы освещения склада

Предприятие имеет разветвленную систему наружного освещения, освещения складов, железнодорожных подъездных путей с достаточно высоким потреблением электроэнергии.

В таблице 1 приведены сведения об основных технических характеристиках систем освещения и среднегодовые статистические данные предприятия, полученные при анализе данных за последние 3 года эксплуатации.

Таблица 1 – Обобщенные среднегодовые показатели потребления систем освещения

Наименование системы освещения	Система управления освещением	Количество и установленная мощность светильников		Суммарная установленная мощность	Время работы системы за год, часов	Суммарный объем электропотребления за год, кВт
		шт.	Вт	кВт		
Прилегающая территория силосных складов	Централизованная	20	250	5,00	300	1500
Прилегающая территория напольных складов	Централизованная	16	100	1,60	300	480
Прилегающая территория административно-бытовых корпусов	Автоматизированная	15	250	3,75	2900	10875
	Централизованная	21	60	1,26	300	378
Административно-бытовых корпусов	нет	220	18	3,96	2180	8632,8
	Централизованная	68	36	2,45	2180	5336,6
Напольных складов	Централизованная	10	250	2,50	200	500
Технологические помещения	Централизованная	63	36	2,27	300	680,4
Всего				22,79		28382,8

На рисунках 3-4 представлены напольные склады зернового терминала с естественным освещением.

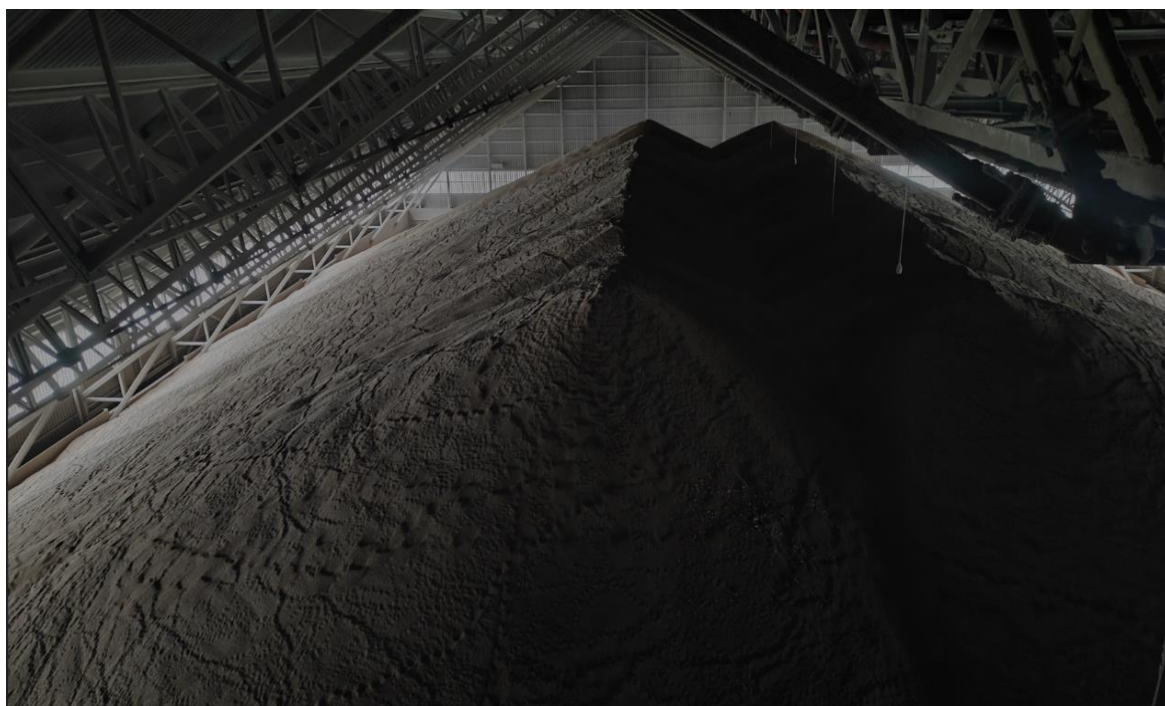


Рисунок 3 – Напольный склад терминала №12

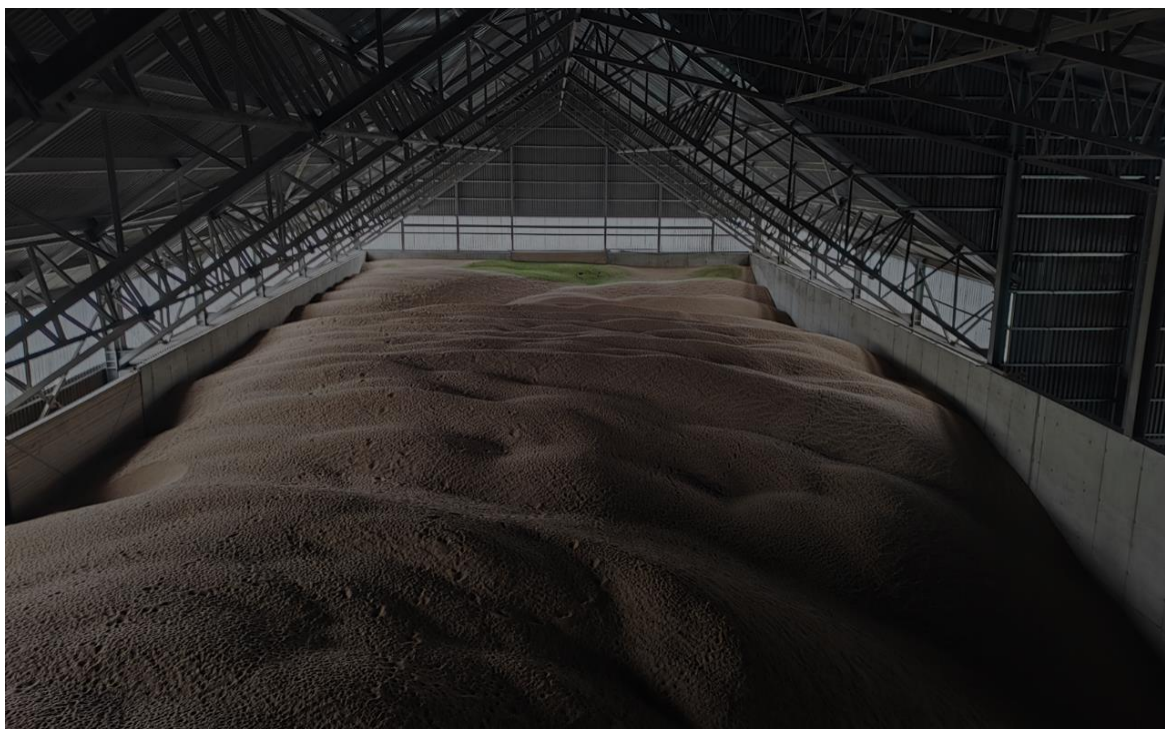


Рисунок 4 – Напольный склад терминала №14

Напольные склады зернового терминала применяются для временного хранения различных зерновых культур и при заполнении и выгрузке концентрация зерновой пыли повышается, что приводит к заметному снижению уровня освещения.

Для освещения складов применяются подвесные светильники в пылезащищенном исполнении, но существующая система искусственного освещения направлена на переходные мостики вдоль конвейерных лент, предназначена для обслуживания оборудования и не освещает нижнюю часть склада.

На момент строительства в техническом задании не было предусмотрено искусственное освещение всей площади склада, все работы по загрузке и разгрузке планировалось производить в автоматизированном режиме.

Технологические процессы претерпели изменения и, как показала практика, при работе большегрузной техники сильно возрастает уровень запыленности и существующий уровень освещения недостаточен. Низкий уровень освещенности складских помещений снижает уровень безопасности при проведении работ и не соответствует требованиям санитарных норм и норм безопасности [20].

Так же уровень освещения не всегда достаточен при проведении работ по зачистке и санитарной обработке в периоды между отдачей и приемом партий груза, фактически эти работы возможно производить только в дневное время при достаточном уровне естественного освещения.

Согласно [16] управление искусственным освещением складского комплекса должно быть централизованным и это требование выполняется.

Напольные склады зернового терминала состоят из двух независимых секций и узла разгрузки и может рассматриваться как два независимых сооружения. Электроснабжение складских помещений осуществляется отдельным кабелем АХМК-1-4×240 длиной 200м от двухтрансформаторной подстанции, расположенной на территории зернового терминала.

Кабель АХМК-1-4×240 представлен на рисунке 5 [24].



Рисунок 5 – Кабель АХМК-1-4×240

Основные характеристики кабеля Кабель АХМК-1-4×240:

- трехжильный кабель с алюминиевыми жилами;
- внутренняя полиэтиленовая изоляция;
- броня из оцинкованной ленты;
- ПВХ стойкая к УФ излучению оболочка;
- Минимальная температура кабеля минус 50 °С;
- Максимальная температура кабеля 90 °С;
- Сопротивление при 20 °С - 0,125 Ом/км.

Выводы по разделу.

Представлена общая информация о системах освещения терминала, описана существующая система освещения напольных складов. Основным недостатком является недостаточный уровень освещенности. Необходимо привести освещенность напольных складов в соответствие нормативным требованиям и обеспечить искусственное рабочее освещение в нижней части складов.

### **3 Требования к системам освещения зернового склада**

Выбор системы освещения является важным шагом при проектировании терминала. Для освещения складских помещений может применяться как естественное, так и искусственное освещение.

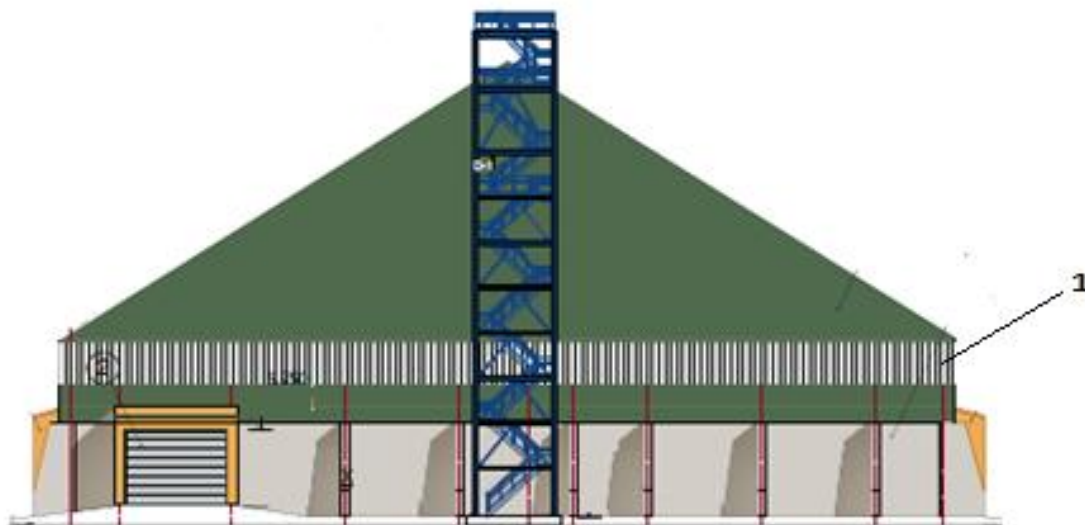
При выборе искусственных источников света должны выполняться нормы, регламентируемые стандартами [16], а также требования технического задания по экономичности, мощности, стоимости.

Согласно ГОСТ Р 59294-2021 [11] в производственных помещениях в качестве осветительных установок должны применяться энергоэффективные источники света – светодиоды, разрядные источники.

Освещение напольного зернового склада целесообразно производить светильниками, расположенными под потолком вдоль всего склада с равным шагом, получая «равномерное искусственное освещение. Общее равномерное искусственное освещение помещений – это освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения и создают равномерное распределение освещенности на рабочих местах» [19].

Склады имеют двускатную крышу с большим углом наклона, на рисунке 6 представлено изображение фасада напольного склада №12 из проектной документации и исходя из конструкции здания будет технологически удобно светильники расположить под потолком в два ряда вдоль склада с креплением к технологическим мостикам обслуживания и перекрытиям. Это будет в дальнейшем подтверждено расчетами.

Склад №14 более узкий и не имеет расположенной по центру погрузочной машины, поэтому светильники будет удобно расположить по центру в один ряд.



1 – полупрозрачные панели для естественного освещения.

Рисунок 6 – Фасад напольного склада №12

Планы складских помещений и узла разгрузки с нанесенной на него системой освещения представлены на графических листах 1 и 2 [4].

Минимальный уровень освещения складского помещения принимаем 75 лк в соответствии с требованиями [22].

Складские помещения зернового терминала предназначены для накапливания грузовых партий перегружаемого груза и большую часть времени используется без постоянного присутствия персонала.

В процессе заполнения складов персонал осуществляет общее периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при периодическом пребывании людей в помещении, что, согласно нормам, требует минимального искусственного освещения в 75 лк [8, 9].

При проектировании терминала в техническом задании не было заложено требования к уровню искусственного освещения. Для оптимизации складирования зерна на площади помещения склада используются

механические средства, ковшевой погрузчик, которые эксплуатируются в сильно запылённых условиях.

Согласно СНиП 23-08-95 и ГОСТ Р 56852-2016 [10] помещения с воздушной средой содержащий высокую концентрацию пыли имеет коэффициент запаса для искусственного освещения равный 1,4-2.

С учётом перечисленных требований и пожеланий ответственных за погрузочно-разгрузочные работы будем исходить из необходимости обеспечить уровень освещенности напольных складов на уровне 75лк.

В таблице 2 приведены необходимые для дальнейших расчетов характеристики помещений.

Таблица 2 – Характеристики помещений

Название помещения	А, м	В, м	Н, м	Е, лк	К <sub>отр</sub> , %
Склад №12	69	40	20	75	70/50/30
Склад №14	54	20	15	75	70/50/30

Выводы по разделу.

Описаны условия эксплуатации напольных складов терминала, требования к уровню освещенности и перечислены основные характеристики напольных складов необходимые для дальнейших расчетов. По нормативным требованиям уровень освещенности склада составляет 75 лк. Определен наиболее удобный с точки зрения монтажа вариант расположения светильников. Конструктивные особенности склада №12 позволяют установить два ряда светильников вдоль всего помещения. Размеры склада №14 и отсутствие помех в центре помещения позволяют установить один ряд светильников.

#### 4 Расчет рабочего освещения

Основной задачей данного расчёта является определение характеристик светотехнического оборудования необходимого для улучшения показателей освещенности на зерновом терминале.

Важным требованием также является снижение затрат на новое оборудование и работу по модернизации освещения. Выбранная схема расположения светильников должна быть оптимальной исходя из особенностей планировки склада и распределения груза при заполнении склада.

При дальнейшем расчёте будем придерживаться схемы расположения светильников вдоль склада в два ряда складском помещении №12 и в один ряд в складском помещении №14.

«При расчёте искусственного освещения необходимо принять систему освещения, выбрать источник света, определить нормировано освещённость рабочих поверхностей, распределить светильники по потолку, определить мощность и количество светильников для создания равномерного и достаточного освещения рабочих мест.

Для расчёта искусственного освещения используется один из трёх методов:

- по коэффициенту использования светового потока;
- точечный метод;
- метод удельной мощности.

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчёта общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов. При расчёте учитывается прямой и отраженный свет» [23].

В зависимости от условий окружающей среды и класса помещения перед началом расчета выбирается тип светильника.



Напольный склад предназначен для хранения зерновых культур и представляет собой единый объем без каких-либо затеняющих предметов внутри, а потолок, стены и пол являются поверхностями, отражающими свет.

Выбор типа светильника осуществляется согласно справочным материалам, таблица П.1.11[23].

Следующей формулой определяется количество необходимых светильников [23, 13]:

$$N = \frac{E \cdot K_{\text{зап}} \cdot z \cdot S}{F \cdot n \cdot \eta}, \quad (1)$$

«где  $E$  – нормируемая освещённость, лк;

$K_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса;

$z$  – коэффициент минимальной освещенности;

$S$  – освещаемая площадь;

$F$  – световой поток лампы;

$n$  – число ламп в светильнике;

$\eta$  – коэффициент использования, от. ед.

Коэффициент использования определяется по табл. П. 1.13, П. 1.14 в зависимости от группы светильников, коэффициентов отражения потолка, стен и пола табл. П. 1.11 и индекса помещения» [23].

Индекс помещения рассчитывается по формуле [3]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A+B)}, \quad (2)$$

«где  $A$ ,  $B$  – длина и ширина помещения;

$H_p$  – высота подвеса светильников (расстояние от рабочей поверхности до светильника) показана на рисунке 7.

$$H_p = H - h_p - h_c, \quad (3)$$

где  $H$  – высота помещения;

$h_p$  – высота рабочего места (принимается 1,0 м при работе стоя);

$h_c$  – высота свеса (расстояние от потолка до светильника).

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены принимается равным  $0,5 H_p$ .

Количество рядов:

$$n = \frac{B}{1,4 \cdot H_p}, \quad (4)$$

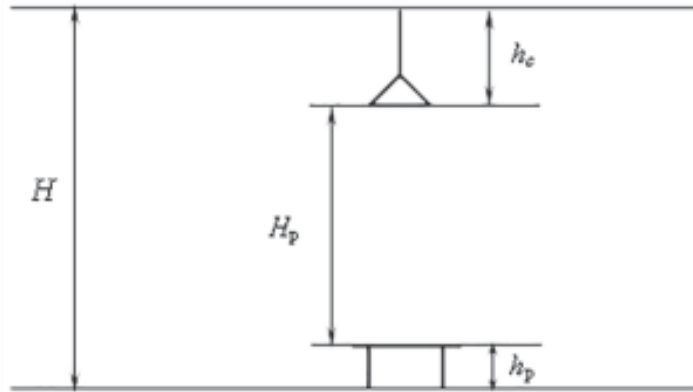


Рисунок 7 – Высота подвеса светильника» [23]

Высота подвеса в складе №12  $H_p = 15$  м, в складе №14  $H_p = 13$  м.

При существующих размерах склада №12 расположение светильников в два ряда оправдано и соответствует условиям в формуле (4) [21]:

$$n_{12} = \frac{40}{1,4 \cdot 15} = 1,9 .$$

Для склада № 14 количество рядов:

$$n_{14} = \frac{20}{1,4 \cdot 13} = 1,2 .$$

По формуле (2) находится индекс помещения для склада №12 [23]:

$$i_{12} = \frac{69 \cdot 40}{15 \cdot (69 + 40)} = 1,69,$$

аналогично находится индекс помещения для складского помещения №14:

$$i_{14} = \frac{54 \cdot 20}{13 \cdot (54 + 20)} = 1,12.$$

Площадь склада определяется формулой:

$$S = A \cdot B. \quad (5)$$

Площадь напольного склада №12:

$$S_{12} = 69 \cdot 40 = 2760 \text{ м}^2.$$

Площадь напольного склада №14:

$$S_{14} = 54 \cdot 20 = 1080 \text{ м}^2.$$

Для складских помещений примем коэффициент использования светового потока в соответствии с таблицей П. 1.13 [21] равным  $\eta_{12} = 0,80$  для склада №12 и  $\eta_{14} = 0,74$  для склада №14.

Количество необходимых светильников для напольного склада №12 находим по формуле (1).

Предварительно выберем промышленный светильник со световым потоком  $F = 20000$  лм.

$$N_{12} = \frac{75 \cdot 1,4 \cdot 1,1 \cdot 2760}{20000 \cdot 1 \cdot 0,8} = 19,9.$$

Для напольного склада №14 количество светильников, подвешенных в один ряд:

$$N_{14} = \frac{75 \cdot 1,4 \cdot 1,1 \cdot 1080}{20000 \cdot 1 \cdot 0,74} = 8,2.$$

Складе №12 светильники будут расположены в два ряда и расстояние между рядами определяется формулой [21].

$$L_{\text{ряд}} = \frac{B}{n}, \quad (6)$$

$$L_{\text{ряд}12} = \frac{40}{2} = 20 \text{ м.}$$

В каждом ряду расстояние между центрами светильников рассчитывается по формуле [21]:

$$L_{\text{центр}} = \frac{A \cdot n}{N}. \quad (7)$$

Расстояние между центрами светильников в складе №12:

$$L_{\text{центр}12} = \frac{69 \cdot 2}{20} = 6,9 \text{ м,}$$

расстояние между центрами светильников в складе №14:

$$L_{\text{центр14}} = \frac{54 \cdot 1}{8} = 6,75 \text{ м.}$$

Согласно технической документации на складские помещения, расстояние между перекрытиями несущей конструкции составляет 6 м в складе №12 и в складе №14. Светильники будем крепить к балкам несущей конструкции, поэтому принимаем расстояние между центрами светильников:

$$L_{\text{центр12}} = L_{\text{центр14}} = L_{\text{центр14}} = 6 \text{ м.}$$

С учётом перечисленных условий для упрощения монтажа принимаем количество светильников в ряду равным количеству поперечных балок перекрытий  $n=11$  и получаем расстояние от крайних светильников до стен в складе №12:

$$L_{\text{ст12.1}} = A - L_{\text{центр12}} \cdot 11, \quad (8)$$

$$L_{\text{ст12.1}} = 69 - 6 \cdot 11 = 3 \text{ м.}$$

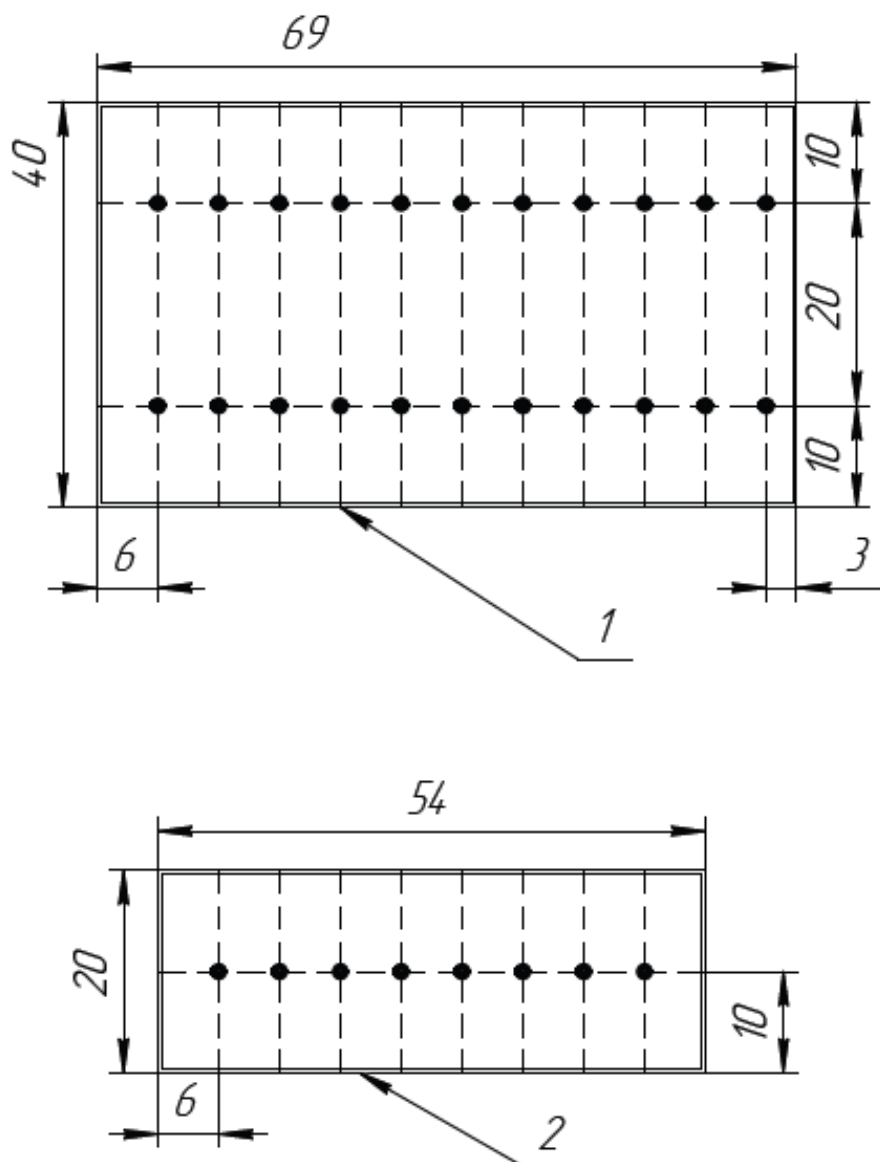
Остальные расстояние от светильников до стены равны ширине пролёта между несущими конструкциями:

$$L_{\text{ст12.2}} = 6 \text{ м,}$$

$$L_{\text{ст14.1}} = 6 \text{ м,}$$

$$L_{\text{ст14.2}} = 6 \text{ м.}$$

На рисунке 8 изображен план расположения светильников для склада №12 и №14.



1 – Склад №12; 2 – Склад №14

Рисунок 8 – План расположения светильников в помещениях складов №12 и №14

Для расчётов использовались параметры производственных светильников HiPak Gen4 / HIPAK G4 M LED20000-840 WB HF QC5 [26], их и намечаем к установке.

Светильники НИРАК G4 M LED20000, представленные на рисунке 9, применяются в качестве основных осветительных установок в обоих складских помещениях.



Рисунок 9 – Светодиодный светильник НИРАК G4 M LED20000

Основные технические характеристики используемых светильников:

- «источник излучения светодиодный;
- потребляемая мощность 102 Вт;
- световой поток 20000 лм;
- габариты  $\text{Ø}280 \times 170$  мм;
- вес 3,18 кг;
- температура цвета 4000 К;
- класс защиты от пыли IP5x;
- окружающая температура от минус 30 °С до плюс 50 °С» [26].

Уровень защиты IP5х позволяет эксплуатировать осветительную установку в сильно запыленных помещениях так как обеспечивает герметичность установки и невозможность проникновения пыли внутрь.

В данном случае не актуальна защита от попадания струй воды, светильники эксплуатируются в закрытом помещении с пониженным уровнем влажности.

Конструкция используемых светильников позволяет крепить их в подвешенном состоянии тросами к металлоконструкциям и лестничным пролетам в верхней части склада.

В каталоге производителя [26] представлены различные варианты крепления светильников. Выберем для установки комплект из карабина с цепью номер 96502605 по каталогу [26] позволяющий регулировать высоту подвеса в случае необходимости.

Результаты расчетов рабочего освещения напольных складов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расположение светильников рабочего освещения

Помещение	$H_p$ , м	$n$	$L_{\text{центр}}$ , м	$L_{\text{ст}}$ , м	$L_{\text{ряд}}$ , м	$N$
Склад №12	15	2	6	3/6	10	22
Склад №14	13	1	6	6	-	8

Выводы по разделу.

Произведен расчет рабочего освещения напольных складов терминала, определено количество светильников необходимое для получения заданного уровня освещенности и вариант их расположения. Выбрана модель светильников НИРАК G4 M LED20000, удовлетворяющая результатам вычислений. Расчеты подтвердили возможность установки светильников в два ряда в складе №12 и в один ряд в складе №14. Светильники будут крепиться к балкам перекрытий с шагом 6 м. Общее необходимое количество светильников с яркостью 20000 лм составляет 30 штук.



## 5 Расчет с помощью ПО Thorn Lighting

Согласно расчетам, проведенным по методу коэффициента использования светового потока в пункте 4 были получены параметры расположения светильников по площади складов и выбрана мощность и марка доступных к приобретению качественных светильников.

Для проверки правильности сделанного выбора и проведенных расчетов можно произвести расчет результирующей освещенности для выбранной модели светильников с помощью программного обеспечения производителя светильников Thorn Lighting.

Для проведения расчета в систему Thorn Lighting CalcExpress необходимо ввести параметры помещений, высоту установки светильников и коэффициенты отражения от пола, стен и потолка, которые были взяты из справочной литературы [23, 2].

Для складских помещений были использованы следующие величины коэффициентов отражения для поверхностей складских помещений [23, 2]:

- коэффициент отражения для стен 50 %;
- коэффициент отражения для потолка 70 %;
- коэффициент отражения для пола 30 %.

Программное обеспечение Thorn Lighting может использоваться для полностью автоматического расчета, в результате которого будет получено количество необходимых светильников, их оптимальное расположение и высота установки, либо с использованием условий для учета особенностей конкретного помещения.

В качестве дополнительных параметров были использованы полученные в предыдущих расчетах значения количества рядов устанавливаемых светильников для каждого из складов, 2 ряда светильников для склада №12 и один ряд светильников для склада №14.

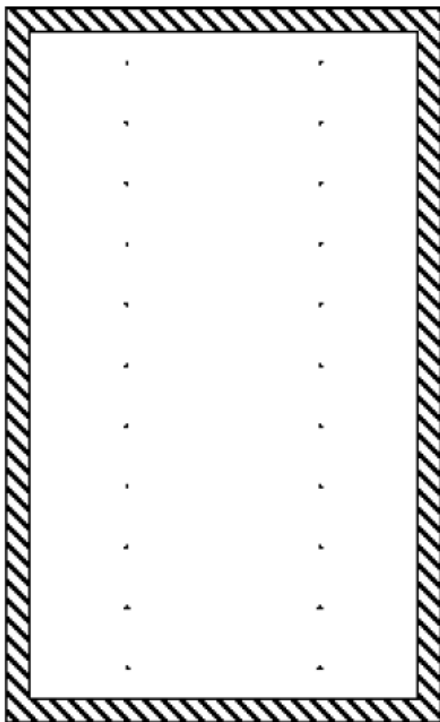
Автоматический расчет в программном обеспечении Thorn Lighting позволяет более точно учесть параметры выбранного светильника и получить

значения уровня освещенности максимально приближенные к действительным.

Результаты автоматического расчета представлены на рисунках 10-11.

**THORN**

Склад 12



<b>Average illuminance:</b>	<b>104 lx</b>
Direct:	97 lx
Indirect:	7 lx
<b>No. of Luminaires:</b>	<b>22 Pieces</b>
Total luminous flux:	Dimming level: 100 % 440000 lm
Total power:	2244 W
<b>11 luminaire rows each with 2 luminaires</b>	
Longitudinal spacing:	6.273 m
Transverse spacing:	20.000 m
Luminaires / m2:	0.008 Pieces
Height above WP:	15.030 m
Length of pendant:	0.500 m
Spec. Connected load:	0.88 W/m²
Connected load:	0.71 W/m²/100lx

Dimensions: Length=69.00 m; Width=40.00 m; Height=16.70 m; Working plane (WP)=1.00 m; A=2760.00 m²; Room index=1.68  
 Reflection factor (Ceiling / Walls / Floor): 70 % / 50 % / 30 %  
 Maintenance factor: 0.80

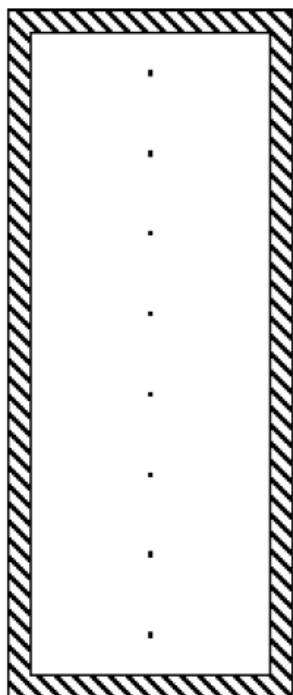
The original value of the installation is based on a 1-year maintenance interval and high-purity rooms. In order to keep the maintenance value of illuminance, it is recommended to replace faulty lamps immediately and to clean the luminaires regularly.

No.	Pieces	Order No.	Designation
001 Luminaire	22	96636208	HIPAK G4 M LED20000-840 WB HF QC5

You can find more product information quickly and easily via the Internet in the Thorn Product Catalogue (includes product photos, descriptions and photometric data etc.). Open your Internet browser and enter the following link in the address bar:

Рисунок 10 – Автоматический расчет освещенности для склада №12

## Склад 14



<b>Average illuminance:</b>		<b>96 lx</b>
Direct:		90 lx
Indirect:		6 lx
<b>No. of Luminaires:</b>		<b>8 Pieces</b>
Total luminous flux:	Dimming level: 100 %	160000 lm
Total power:		816 W
<b>8 luminaire rows each with 1 luminaires</b>		
Longitudinal spacing:		6.750 m
Transverse spacing:		20.000 m
Luminaires / m2:		0.007 Pieces
Height above WP:		13.030 m
Length of pendant:		0.500 m
Spec. Connected load:		0.82 W/m <sup>2</sup>
Connected load:		0.76 W/m <sup>2</sup> /100lx

Dimensions: Length=54.00 m; Width=20.00 m; Height=14.70 m; Working plane (WP)=1.00 m; A=1080.00 m<sup>2</sup>; Room index=1.12  
 Reflection factor (Ceiling / Walls / Floor): 70 % / 50 % / 30 %  
 Maintenance factor: 0.80

The original value of the installation is based on a 1-year maintenance interval and high-purity rooms. In order to keep the maintenance value of illuminance, it is recommended to replace faulty lamps immediately and to clean the luminaires regularly.

No.	Pieces	Order No.	Designation
001 Luminaire	8	96636208	HIPAK G4 M LED20000-840 WB HF QC5

You can find more product information quickly and easily via the Internet in the Thorn Product Catalogue (includes product photos, descriptions and photometric data etc.). Open your Internet browser and enter the following link in the address bar:

## Рисунок 11 – Автоматический расчет освещенности для склада №14

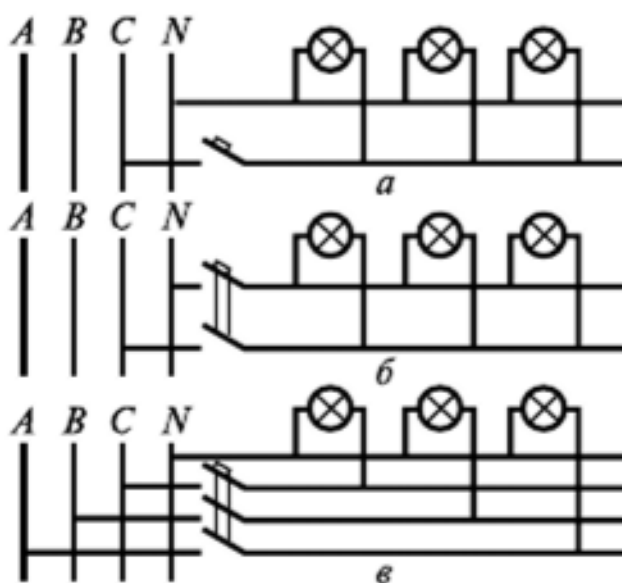
Выводы по разделу.

Результаты моделирования рабочего освещения с помощью программного обеспечения производителя светильников Thorn Lighting подтверждают правильность сделанного выбора. Выбранное количество светильников, их яркость и схема из расположения позволяют получить равномерное искусственное освещение с требуемой яркостью в каждом из рассматриваемых напольных складов.

## 6 Расчет нагрузок системы освещения напольных складов

Система освещения складских помещений подключены к основному распределительному шкафу, обозначенному в проектной документации как GS1.

Основной распределительный шкаф GS1 запитан от распределительной подстанции, расположенной на территории терминала. В этом щите запитаны линии рабочего освещения, аварийного освещения, противопожарная сигнализация. Для подключения дополнительных линий рабочего освещения будет использоваться трехфазная схема подключения, представленная на рисунке 12 в [1].



а – двухпроводная; б – двухпроводная для взрывоопасных помещений класса В-1; в – четырехпроводная, защищаемая трехполюсным автоматическим выключателем.

Рисунок 12 – Схемы групповых линий

В складских помещениях большой протяженности для системы освещения возможно применение кабелей с креплением по тросу или самонесущих кабелей [1].

«В трехфазных четырехпроводных группах с питанием ламп фазным напряжением рекомендуется присоединять отдельные лампы к фазам сети в следующем порядке: А, В, С, А, В, С - при использовании распределения ламп между фазами для ограничения коэффициента пульсации, а также в случаях, когда при отключении одной или двух фаз требуется сохранять уменьшенную освещенность по всей площади помещения» [1].

Для выбранной схемы электроснабжения расчётный ток нагрузки определяется формулой:

$$I_p = \frac{P_{св} \cdot N_{\phi}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos\varphi}, \quad (9)$$

где  $P_{св}$  – расчетная максимальная нагрузка, Вт;

$N_{\phi}$  – количество светильников подключенных к одной фазе;

$U_{\phi}$  – напряжение сети, В;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности, для светодиодных светильников принимаемый равным 0,95.

Необходимо распределить наиболее равномерно светильники по фазам при использовании выбранной схемы подключения светильников в напольных складах.

В складском помещении №12 будет подключено 2 линии светильников. В каждой линии по 11 штук и для равномерного распределения получим следующее распределение мощности по фазам для каждой группы светильников:

$$P_A = 4 \cdot P_{св} = 4 \cdot 102 = 408 \text{ Вт};$$

$$P_B = 4 \cdot P_{св} = 4 \cdot 102 = 408 \text{ Вт};$$

$$P_C = 3 \cdot P_{CB} = 3 \cdot 102 = 306 \text{ Вт.}$$

Аналогично для второй линии из 11 светильников в складском помещении №12:

$$P_A = 4 \cdot P_{CB} = 4 \cdot 102 = 408 \text{ Вт;}$$

$$P_B = 3 \cdot P_{CB} = 3 \cdot 102 = 306 \text{ Вт;}$$

$$P_C = 4 \cdot P_{CB} = 4 \cdot 102 = 408 \text{ Вт.}$$

В складском помещении №14 будет подключена 1 линия светильников. В линии 8 штук и для равномерного распределения получим следующее распределение мощности по фазам для группы светильников в напольном складе №14:

$$P_A = 2 \cdot P_{CB} = 2 \cdot 102 = 204 \text{ Вт;}$$

$$P_B = 3 \cdot P_{CB} = 3 \cdot 102 = 306 \text{ Вт;}$$

$$P_C = 3 \cdot P_{CB} = 3 \cdot 102 = 306 \text{ Вт.}$$

Расчетный ток для одной линии светильников определяем по формуле 9 и для склада №12 получим:

$$I_{p12.1} = \frac{102 \cdot 11}{3 \cdot 220 \cdot 0,95} = 1,79 \text{ А,}$$

$$I_{p12.2} = \frac{102 \cdot 11}{3 \cdot 220 \cdot 0,95} = 1,79 \text{ А.}$$

В складском помещении №14 расчетный ток составит:

$$I_{p14,1} = \frac{102 \cdot 8}{3 \cdot 220 \cdot 0,95} = 1,3 \text{ А.}$$

Результаты расчётов нагрузок системы освещения напольных складов сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов нагрузок системы освещения

Линия светильников	$N$	$I_p, A$	$\cos\varphi$	$N_\phi$	$P_A, Вт$	$P_B, Вт$	$P_C, Вт$
12.1	11	1,79	0,95	4/4/3	408	408	306
12.2	11	1,79	0,95	4/3/4	408	306	408
14	8	1,3	0,95	2/3/3	204	306	306

Выводы по разделу.

Трехфазная схема подключения светильников в напольных складах терминала обеспечит равномерность нагрузки по фазам и обеспечит уменьшенную освещенность, в случае если одна или две фазы будут отключены. Рассчитаны токи для каждой линии светильников, расчетный ток для каждой линии в складе №12 составляет  $I_p = 1,79 A$ , в складе №14  $I_p = 1,3 A$ . Светильники будут подключены тремя линиями четырехжильным кабелем. В каждой линии светильники разделены на три группы для равномерного распределения подключенных светильников по фазам.

## 7 Выбор кабеля

Полученные значения рабочих токов для системы освещения напольных складов позволяют выбрать кабель для подключения светильников.

Кабель для системы рабочего освещения напольных складов будет прокладываться по существующим лоткам и далее вдоль несущих конструкций складов на высоте крепления светильников. Трассы прокладки кабелей системы освещения указаны в графической части работы.

Поскольку большая часть кабеля, используемого для подключения светильников, должна быть закреплена в пролетах воздушных конструкций, то будет использоваться крепление кабеля к тросу, растянутому вдоль несущих конструкций.

Для подключения светильников по всей площади напольных складов будет использован кабель марки АВВГнг с алюминиевыми жилами, ПВХ изоляцией и не поддерживающий горение. Прокладка кабеля по существующим лоткам там, где это возможно также упрощает процесс подключения светильников.

Полученные значения расчетного тока для всех групп светильников позволяют выбрать сечение жил кабеля. По условию минимально допустимого сечения для обеспечения механической прочности [13] выбираем кабель АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE) УХЛ1 0.66кВ с площадью сечения жил 2,5 мм<sup>2</sup>.

По значению рабочего тока осветительной сети в складском помещении №12 условием проверки кабеля будет:

$$I_{p12.1} < I_{\text{доп}}, \quad (10)$$

$$I_{p12.2} < I_{\text{доп}}. \quad (11)$$

По значению рабочего тока осветительной сети в складском помещении №14 условием проверки кабеля будет:



$$I_{p14} < I_{\text{доп}} \quad (12)$$

Согласно таблице 1.3.7 «допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных» [15] для выбранного кабеля с алюминиевыми жилами с сечением  $2,5 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$ .

$$19 \text{ А} \geq 1,79 \text{ А},$$

$$19 \text{ А} \geq 1,3 \text{ А}.$$

Условие по длительному рабочему току выполняется, кабель подобран верно.

Также необходимо «проверить выбранный кабель на соответствие нормам качества электрической энергии. Отклонение напряжения характеризуется показателем установившегося отклонения напряжения, для которого установлены следующие нормы:

– нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на выводах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 5$  и  $\pm 10$  % от номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 721 и ГОСТ 21128» [12].

Падение напряжения не должно быть выше 5% для каждого кабеля системы освещения напольных складов и определяется формулой [2, 23]:

$$\Delta U = \frac{\sum P \cdot L \cdot 10^5 \cdot \rho}{S \cdot U_{\text{н}}^2}, \quad (13)$$

«где  $\sum P$  – суммарная расчётная активная нагрузка, кВт;

$L$  – длина участка, м;

$\rho$  – удельное сопротивление материала, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$U_n$  – номинальное фазное напряжение сети, В» [2].

С учетом распределения нагрузки по фазам для наиболее нагруженной фазы получаем значение падения напряжения для однофазной нагрузки:

$$\Delta U = \frac{\sum P_{\phi} \cdot L \cdot 10^5 \cdot \rho}{S \cdot U_{\phi}^2}, \quad (14)$$

«где  $\sum P_{\phi}$  - суммарная расчётная активная нагрузка фазы, кВт;

$L$  – длина участка, м;

$\rho$  – удельное сопротивление материала, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$U_{\phi}$  - номинальное фазное напряжение сети, В» [2].

Для напольного склада №12 по формуле (14) при четырех светильниках, подключенных на одну фазу и длине участка  $L=90$  м, значение падения напряжения получаем:

$$\Delta U_{12} = \frac{0,408 \cdot 90 \cdot 10^5 \cdot 0,028}{2,5 \cdot 220^2} = 0,85 \text{ \%}.$$

Для напольного склада №14 по формуле (14) значение падения напряжения при трех светильниках, подключенных на одну фазу и длине участка  $L=130$  м, получаем:

$$\Delta U_{14} = \frac{0,306 \cdot 130 \cdot 10^5 \cdot 0,028}{2,5 \cdot 220^2} = 0,92 \text{ \%}.$$

Потеря напряжения, рассчитанная для самого удаленного светильника, составит 0,85% для напольного склада №12 и 0,92% для напольного склада №14.

$$\Delta U_{12} \leq 5\%,$$

$$\Delta U_{14} \leq 5\%.$$

Выбранный кабель АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE) УХЛ1 по проведенным проверкам нормам качества электрической энергии согласно ГОСТ 13109 – 97 [12] и может быть принят к установке для подключения рабочего освещения напольных складов терминала.

Кабель АВВГ включает в себя токопроводящие жилы из алюминия и изоляционный материал – поливинилхлоридный пластик. Внешний вид кабеля АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE) УХЛ1 представлен на рисунке 13.

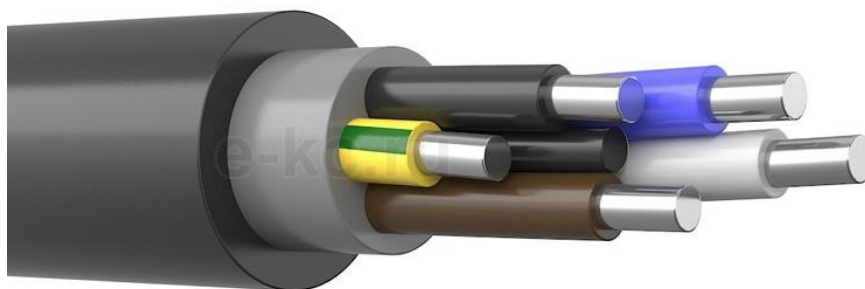


Рисунок 13 – Кабель АВТ-4×2,5

«Алюминиевый кабель АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE) УХЛ1 предназначен для передачи и распределения электрической энергии в силовых и осветительных сетях, для наружной прокладки, для прокладки без ограничения разности уровней по трассе прокладки, в том числе на вертикальных участках, для прокладки групповых кабельных линий.

Кабель может функционировать в температурном режиме внешнего пространства минус 50 °С до плюс 50 °С, влажность до 98% при плюс 40 °С. Максимальный возможный нагрев не больше плюс 70 °С» [14].

Элементы конструкции кабеля АВВГ:

- алюминиевые токопроводящие жилы сечением  $2,5 \text{ мм}^2$  соответствуют классу 1 по ГОСТ 22483-77.2 [5];
- негорючий поливинилхлоридный пластикат в качестве оболочки;
- ПВХ изоляция;
- изолированные жилы скручены в сердечник.

В таблице 5 сведены результаты расчетов рабочих токов, потерь напряжения и выбора кабеля.

Таблица 5 – Марка кабеля и расчетные нагрузки

Помещение	Марка кабеля	$L$ , м	Количество и сечение жил, $\text{мм}^2$	$I_{\text{доп}}$ , А	$\Delta U$ , %	$I_p$ , А
Склад 12	АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE)	90	4×2,5	19	0,85	1,79
	АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE)	90	4×2,5	19	0,85	1,79
Склад 14	АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE)	130	4×2,5	19	0,92	1,3

Выводы по разделу.

Выбран кабель АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE) УХЛ1 для подключения светильников в напольных складах терминала. Произведена проверка выбранного кабеля по длительному рабочему току и расчет потерь напряжения для самых удалённых от центра питания светильников. Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами  $2,5 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$ . Выбор сечения жил  $2,5 \text{ мм}^2$  обусловлен требованием обеспечения механической прочности. Максимальные потери напряжения не превышают 5%, что соответствует нормам качества электрической энергии.

## 8 Выбор аппаратов защиты и управления

При выборе варианта управления системой рабочего освещения напольных складов зернового терминала было принято решение не создавать отдельную линию управления от складского помещения до диспетчерского пульта управления, так как это повлечет за собой значительные изменения в схеме контроля и автоматизации управления складами и повышение расходов на увеличение освещенности напольных складов.

Одним из вариантов подключения разрабатываемого рабочего освещения напольных складов к системе управления складами является объединение управления новыми группами светильников с существующим рабочим освещением лестниц и переходных мостиков обслуживания конвейерных линий. Принято решение по внедрению этого варианта, так как это позволит исключить затраты на прокладку дополнительного кабеля управления и внесение изменений в систему контроля освещения территории зернового терминала и складских помещений.

Подключение групп светильников будет осуществляться в распределительном шкафу обозначенном в технической документации терминала как GS1 [18] с использованием защитных аппаратов, автоматических выключателей и контакторов.

«Автоматический выключатель: контактный коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать токи при нормальных условиях в цепи, а также включать, проводить в течение нормированного времени и отключать токи при нормированных ненормальных условиях в цепи, таких как короткое замыкание» [6].

«Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок автоматических выключателей, служащих для защиты отдельных участков сети, во всех случаях следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам

электроприемников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках» [17].

Электрическую осветительную сеть напольных складов с прокладкой кабеля в лотках и воздушных линиях защищаем от токов коротких замыканий. Наиболее удобными в эксплуатации являются автоматические выключатели с электромагнитными и тепловыми расцепителями.

По расчетному току линии определяются параметры защитных аппаратов. Ток электромагнитного расцепителя автомата [13]:

$$I_{эм} \geq k \cdot I_p, \quad (15)$$

где  $k$  – коэффициент учета пусковых токов (для светодиодных ламп  $k=1,1$ ).

Ток теплового расцепителя автомата [13]:

$$I_T \geq I_p. \quad (16)$$

Условия для выбора автоматических выключателей для каждой линии системы освещения напольного склада №12 получим, определив расчетное значение тока электромагнитного расцепителя:

$$I_{эм12,p} = 1,1 \cdot 1,79 = 1,97 \text{ А},$$

Условия для выбора автоматических выключателей для линии системы освещения напольного склада №14 получим, определив расчетное значение тока электромагнитного расцепителя:

$$I_{эм14,p} = 1,1 \cdot 1,3 = 1,43 \text{ А}.$$

Выберем для установки автоматический выключатель АСТІ-9 LITE К60N ВЗР 10А [25]. Выбранный автоматический выключатель удовлетворяет условию проверки (15):

$$I_{эм} \geq 1,79,$$

$$I_{эм} \geq 1,3.$$

Основные характеристики автоматического выключателя АСТІ-9 LITE К60N ВЗР 10А:

- Номинальный ток 10 А;
- Количество фаз 3;
- Номинальное напряжение 400 В;
- Отключающая характеристика (уставка) тип С;
- Отключающая способность 4,5 кА;
- Электромагнитный расцепитель фиксированный;
- Тепловой расцепитель фиксированный.

Для удаленного управления системой освещения напольных складов используются трехфазные контакторы с дистанционным управлением. Напряжение цепи управления составляет  $U_y = 220В$ .

При выборе контакторов необходимо выполнить условие, при котором номинальный ток контактора должен быть равен или больше номинального тока защитного устройства [7].

В цепях управления системой освещения напольных складов терминала используются трехфазные контакторы с номинальным током  $I_n = 16А$ . Выберем для установки три контактора аналогичные используемым в сети управления освещением терминала Acti9 iCT 16A 3P 3NO 220/240V 50HZ.

Основные характеристики модульного контактора Acti9 iCT 16A 3P 3NO:

- Номинальный ток 16 А;
- Количество фаз 3;

- Номинальное напряжение 400 В;
- Напряжение цепи управления 220 В;
- Количество нормально открытых контактов 3;
- Макс. мощность ламп 2000 Вт;
- Степень защиты IP20.

В силу принципа действия вследствие потребления катушкой контакторы постоянно рассеивают тепло и поэтому при установке контакторов в шкафу необходимо между ними оставлять вентиляционные зазоры с помощью специальных вентиляционных прокладок [25].

В таблице 6 сведены результаты выбора аппаратов защиты и управления.

Таблица 6 – Результаты выбора аппаратов защиты и управления

Линия освещения	$I_p$ , А	Марка автомата	$I_{эм}$ , А	Марка контактора	$I_n$ , А
12.1	1,79	ACTI9 LITE K60N B3P 10A	10	Acti9 iCT 16A 3P 3NO	16
12.2	1,79	ACTI9 LITE K60N B3P 10A	10	Acti9 iCT 16A 3P 3NO	16
14	1,3	ACTI9 LITE K60N B3P 10A	10	Acti9 iCT 16A 3P 3NO	16

Выводы по разделу.

Определены условия выбора аппаратов защиты, выбраны соответствующие этим условиям автоматические выключатели ACTI9 LITE K60N B3P, трехфазные автоматы с номинальным током 10 А. В системе управления освещением складов применяются контакторы из линии Acti9 iCT, поэтому были выбраны совместимые с ними и существующей сетью управления контакторы Acti9 iCT 16A 3P 3NO, трехфазные контакторы с номинальным током 16 А, что соответствует требованиям совместимости от производителя [25], номинальный ток контактора 16 А больше номинального тока автоматического выключателя.



## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был произведен анализ состояния системы освещения напольных складских помещений терминала. Были выявлены недостатки в уровне освещенности напольных складов вследствие некорректно составленного технического задания при проектировании.

Искусственное рабочее освещение используется только на лестницах и переходах предназначенных для обслуживания конвейерных лент. Для освещения всей площади склада используется естественное освещение, что не позволяет качественно производить работы, предписанные санитарными нормами по зачистке и дезинфекции напольных складов.

Уровень освещенности складских помещений должен соответствовать требованиям нормативных документов и составлять 75 лк. Необходимость увеличения освещенности складских помещений была согласована с руководством терминала и ответственными за техническое состояние складского оборудования.

На основании нормативных требований и размеров напольных складов терминала были произведены необходимые светотехнические расчеты. Для обеспечения уровня освещенности в 75 лк необходимо использовать 30 светильников со световым потоком 20000 лм.

Были выбраны светодиодные светильники НИРАК G4 M LED20000 с соответствующим световым потоком 20000 лм и возможностью крепления к перекрытиям. Наиболее оптимальным является крепление светильников к элементам конструкции крыши, так как упрощает монтаж и хорошо вписывается в полученное в результате расчета расстояние между светильниками, составляющее 6 м.

Дополнительные расчеты с помощью программного обеспечения, предоставленного производителем выбранных светильников, подтвердили количество выбранных светильников, а выбранная схема их расположения в

два ряда в складе №12 и один ряд в складе №14 обеспечит равномерное искусственное освещение складов с уровнем освещенности 75 лк.

Расчет нагрузок проектируемой системы рабочего освещения напольных складов показал, что для подключения светильников может быть использован кабель с алюминиевыми жилами с минимальным сечением допустимым по условиям обеспечения механической прочности  $2,5 \text{ мм}^2$ . Для подключения светильников будет использован кабель АВВГнг-5×2,5 ОК (N PE) УХЛ1.

Для защиты линий системы рабочего освещения будут использованы трехфазные автоматические выключатели серии АСТІ9 LITE K60N с номинальным током 10 А.

В системе управления освещением складских помещений используются контакторы, управляемые из диспетчерского помещения и наиболее приемлемым вариантом подключения дополнительного рабочего освещения к существующей системе управления будет объединение новых линий освещения с уже существующими. Подключение к существующей системе управления освещением возможно с использованием управляемых контакторов серии Acti9 iCT с номинальным током 16А.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. АО ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект». Проектирование осветительных электроустановок промышленных предприятий. Внутреннее освещение. Нормы технологического проектирования. Москва, 1996.
2. Бабкин И. М. Электрическое освещение промышленных предприятий. Основы расчета: учебное пособие. Архангельск: САФУ, 2019. 78 с.
3. Бондаренко С. И., Петрова А. Н. Электрическое освещение: учебное пособие. Иркутск: ИРНИТУ, 2022. 318 с.
4. ГОСТ 21-608.2021 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации (ред. от 01.01.2022). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/76923/> (дата обращения: 16.04.2024).
5. ГОСТ 22483-2021 Жилы токопроводящие медные и алюминиевые для кабелей, проводов и шнуров. Основные параметры. Технические требования [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации (ред. от 01.09.2021). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/75183/> (дата обращения: 16.04.2024).
6. ГОСТ ИЕС 60934–2015 Выключатели автоматические для оборудования (СВЕ), Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации (ред. от 01.03.2017). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62119/> (дата обращения: 16.04.2024).
7. ГОСТ ИЕС 61095-2015 Межгосударственный стандарт. Контактторы электромеханические бытового и аналогичного назначения [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации (ред. от 01.03.2017). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62215/> (дата обращения: 16.04.2024).
8. ГОСТ Р 54350-2015 Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. Национальный стандарт РФ: Федеральное

агентство по техническому регулированию и метрологии РФ. Москва: ФГУП Стандартиформ, 2015. 45 с.

9. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации (ред. от 01.07.2014). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55477/> (дата обращения: 16.04.2024).

10. ГОСТ Р 56852-2016 Освещение искусственное производственных помещений объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы контроля [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации (ред. от 01.10.2016). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62460/> (дата обращения: 16.04.2024).

11. ГОСТ Р 59294-2021 Источники света, осветительные приборы и системы искусственного освещения. Показатели энергоэффективности и требования [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации (ред. от 01.04.2021). URL: <https://meganorm.ru/Index/75/75418.htm> (дата обращения: 16.04.2024).

12. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]: Межгосударственный стандарт (ред. от 01.07.2014). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54884/> (дата обращения: 16.04.2024).

13. Кабалоев Т. Х., Каргиев М. Г. Проектирование электрического освещения сельскохозяйственных предприятий: учебное пособие. Владикавказ: ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2021. 92 с.

14. ООО «ЭлектроКомплект-Сервис» [Электронный ресурс]: Каталог продукции. URL: [https://e-кc.ru/cena/cable-avvngng-5-2\\_5/](https://e-кc.ru/cena/cable-avvngng-5-2_5/) (дата обращения: 16.04.2024).

15. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Издание 6, 1.3 Выбор сечений проводников по нагреву [Электронный ресурс]: Госэнергонадзор.

Москва, 2000. URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/42611/> (дата обращения: 16.04.2024).

16. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Издание 7, Министерство энергетики РФ. Москва, 2017. 513 с.

17. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. Москва: Инфра-М, 2023. 832 с.

18. Проектная документация по модернизации зернового терминала. Том 1. ВГТ, 2017. 95 с.

19. Свод правил СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Москва: Стандартинформ, 2018. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747646.htm> (дата обращения: 16.04.2024).

20. Свод правил СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Электронный ресурс]: Строительные нормы и правила Российской Федерации. URL: <https://dokipedia.ru/document/5344937> (дата обращения: 16.04.2024).

21. Свод правил СП 419.1325800.2018 Здания производственные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения [Электронный ресурс]: Москва: Стандартинформ, 2019. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293730/4293730845.pdf> (дата обращения: 16.04.2024).

22. Свод правил СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Таблица Л2 [Электронный ресурс]: Москва: Стандартинформ, 2018. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747646.htm> (дата обращения: 16.04.2024).

23. Трунова И. Г. Производственное освещение: проектирование и расчёт. Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 240 с.

24. Reka Cables Ltd, [Электронный ресурс]: Каталог продукции. URL: <https://www.rekacables.com/product-category/axmk/> (дата обращения: 16.04.2024).

25. Schneider Electric, [Электронный ресурс]: Системы освещения. Техническое руководство. Цепи освещения: решения для управления и защиты. URL: [https://www.is-com.ru/files/file\\_d9363b6b8f24ce3382f22eed3362b5ea.pdf](https://www.is-com.ru/files/file_d9363b6b8f24ce3382f22eed3362b5ea.pdf) (дата обращения: 16.04.2024).

26. Thorn Lighting, [Электронный ресурс]: Каталог продукции. URL: [https://www.thornlighting.com/en/products/indoor-lighting/industrial-lighting/HiPak\\_Gen4/hipak-fixed-output/96636208/](https://www.thornlighting.com/en/products/indoor-lighting/industrial-lighting/HiPak_Gen4/hipak-fixed-output/96636208/) (дата обращения: 16.04.2024).