

9.2.3 Сверхтоки в рабочих режимах осветительной установки

Под сверхтоком понимают любой ток превышающий номинальный [9.27, 9.28 п. 441-11-06]. Такие токи могут возникать как в аварийных (аномальных) режимах осветительной установки, так и рабочих режимах, как правило, при коммутациях цепей или при отклонениях характеристик напряжения от номинальных значений.

Пусковой ток (inrush current в терминах IEC 60050-448) – ток переходного процесса, связанный с подачей напряжения питания на электрическое оборудование (трансформаторы, кабели, конденсаторы, т.д.) [9.27, IEV ref 448-11-30]. В российской версии этого документа используется термин "бросок тока" [9.31, п.448-11-30].

Применительно к осветительным приборам характеристики пускового тока обусловлены несколькими различными физическими процессами и зависят от довольно большого числа факторов, включающих:

- а) вид источника света и пускорегулирующего аппарата;
- б) наличие емкостных элементов компенсации реактивной мощности, сдвига фаз или снижения пульсаций выпрямленного напряжения;
- в) сопротивления цепи питания;
- г) времени задержки включения от момента прохождения синусоиды переменного напряжения через нуль;
- д) температура окружающей среды;
- е) другие факторы.

Все перечисленные факторы в практических задачах учесть крайне трудно, поэтому большей частью их пренебрегают, а пусковой ток моделируют одиночными импульсами:

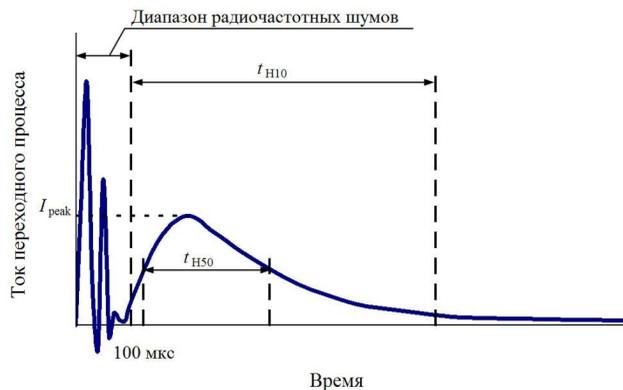
1) большой амплитуды от 10 до 250 кратности номинального тока, но короткими по продолжительности – меньше 0,01 с (рядом производителей автоматических выключателей принимается меньше 0,005 с по причине максимальной амплитуды импульса тока при включении осветительного прибора в момент максимума синусоиды напряжения);

2) относительно небольшой амплитуды от 1,1 до 1,6 (для светодиодных осветительных приборов до 2) [9.32] кратности номинального тока с продолжительностью от сотых секунд до десятков минут, который представляет замену фактического периодического тока 50 Гц аperiodическим с равной работой (выделением тепловой энергии) за целое число периодов напряжения.

Первый тип импульсов характерен для изменения сопротивлений вольфрамовой нити накаливания, индуктивности ПРА или заряда конденсаторов и моделируется с учетом принципов работы электромагнитных расцепителей аппаратов защиты. Второй тип импульсов обусловлен нелинейным сопротивлением газового разряда или процессами при запуске преобразователя в ЭПРА (обычно происходит с паузой после первого пускового импульса) [9.33], как правило, следует учитывать по тепловому воздействию на элементы электросети и аппараты защиты.

При моделировании необходимо обратить внимание на объем информации по пусковому току, который может быть представлен производителем осветительных приборов на основе измерений. Методика измерений регламентируется ПНСТ 639-2022/МЭК 63129:2020 (действует до 2020-07-01) [9.34, п.7.3.1] и не учитывает в характеристиках пускового тока переходные процессы в интервале времени до 100 мкс и радиочастотные шумы (рисунок 9.1).

Пояснение к определению пускового тока осветительного прибора



I_{peak} – пиковый пусковой ток;

$t_{\text{H}10}$, $t_{\text{H}50}$ – длительность импульса пускового тока по уровням 10 % и 50 %.

Рисунок 9.1 - Определение пикового пускового тока I_{peak}
(без учета пиков тока при длительности менее 100 мкс)

Импульс пускового тока осветительного прибора характеризуется пиковым значением и длительностью по уровню 50 % от пикового значения (см. рисунок 9.1). Некоторые производители также приводят информацию по длительности импульса на уровне 10 % и значению интеграла Джоуля для импульса в $\text{А}^2\cdot\text{с}$.

Для импульсов второго типа, которые по длительности больше одного полуцикла напряжения в электросети (0,01 с для 50 Гц, часть производителей определяет этот тип импульсов по длительности больше 0,005 с для 50 Гц), значение пускового тока $I_{\text{пуск}}$ принимается равным пиковому значению импульса I_{peak} и используется для выбора аппаратов защиты по коэффициенту пускового тока $k_{\text{пуск}}$

$$k_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} / I_{\text{н}} = I_{\text{peak}} / I_{\text{н}}, \text{ если } t_{\text{H}50} \geq 0,01 \text{ с.}$$

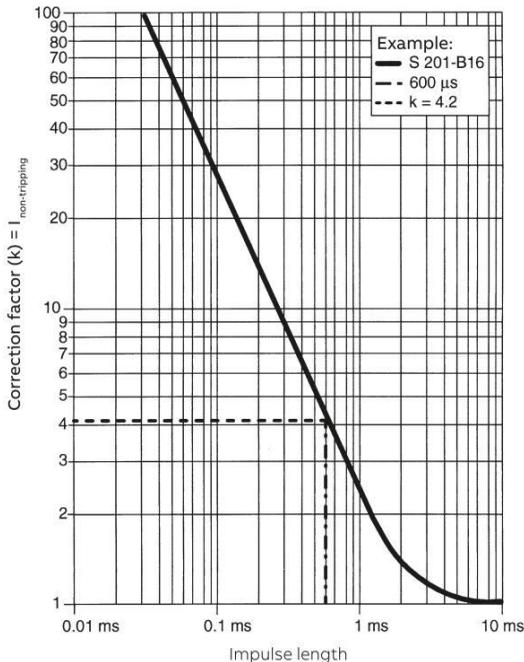
где $I_{\text{н}}$ – номинальный ток осветительного прибора, А; для большей точности расчетов следует использовать значение приведенное к номинальному напряжению в электросети по статической характеристике (см. таблицу 9.7), для светодиодных светильников с ЭПРА допускается принимать в расчетах номинальный ток без корректировки на номинальное напряжение сети.

Как следствие отсутствия нормативных методик по определению пускового тока для коротких импульсов первого типа в практических задачах приходится иметь дело с неполнотой исходной информации. В зависимости от объема принимаемых допущений ранжируем методики по степени снижения достоверности результата:

- 1) на основе зависимости АBB Group при известных значениях пикового тока и длительности импульса по уровню 50 %;
- 2) по статистической зависимости времени импульса от мощности осветительного прибора при известном значении пикового тока;
- 3) по статистической зависимости коэффициента пускового тока от мощности светодиодного осветительного прибора.

Определение пускового тока на основе зависимости ABB Group

Группа компаний ABB в своих каталогах предоставляет информацию по характеристике срабатывания модульных автоматических выключателей серии S200 от импульсных токов [9.35]. Зависимость представлена на рисунке 9.2.



Correction factor (k) – коэффициент приведения k ;

$I_{\text{non-tripping}}$ – фактический неотключающий ток электромагнитного расцепителя;

Impulse length – длительность импульса

Рисунок 9.2 – Зависимость неотключающего тока (коэффициент приведения) автоматического выключателя S201-B16 от длительности импульса по уровню 50 %

Для модульного автоматического выключателя фактический неотключающий ток электромагнитного расцепителя $I_{\text{non-tripping}}$, А, предлагается определять по формуле:

$$I_{\text{non-tripping}} = k c_{\text{nt}} I_n,$$

где k – коэффициент приведения по зависимости на рисунке 9.2, %;

c_{nt} – кратность условного тока нерасщепления электромагнитного расцепителя в соответствии с типом автоматического выключателя;

I_n – номинальный ток автоматического выключателя.

Если пиковый пусковой ток меньше фактического неотключающего тока электромагнитного расцепителя то срабатывания автоматического выключателя не произойдет, т.е.

$$I_{\text{peak}} < I_{\text{non-tripping}},$$

$$I_{\text{peak}} / k < c_{\text{nt}} I_{\text{n}},$$

следовательно для первого типа импульсов

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{peak}} / k,$$

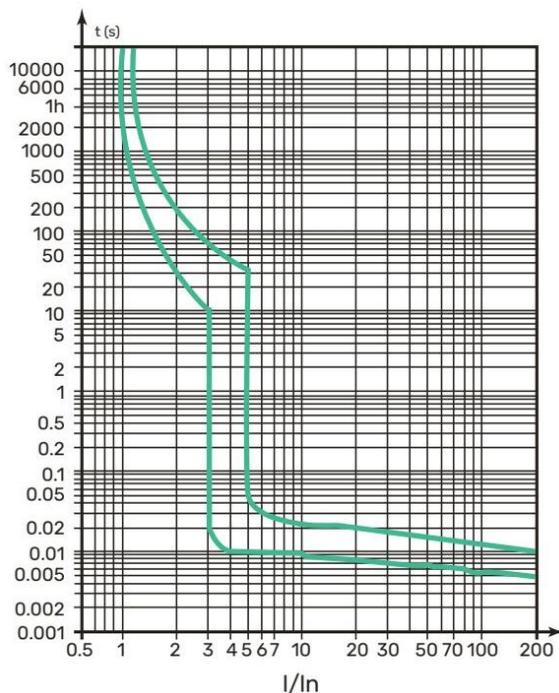
$$k_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} / I_{\text{n}} = I_{\text{peak}} / k I_{\text{n}}, \text{ если } t_{\text{H50}} < 0,01 \text{ с.}$$

Допущением при определении пускового тока осветительного прибора в данном методике является распространение зависимости для автоматического выключателя S201-B16, который производится группой компаний АБВ, на все модульные автоматические выключатели комбинированного типа как этого производителя, так и других производителей. Достоверность результатов такого допущения не подтверждена исследованиями, но такая практика нашла широкое применение среди производителей светодиодных осветительных приборов и ЭПРА к ним [9.33]. Большинство рекомендаций по выбору допустимого количества осветительных приборов защищаемых автоматическим выключателем определенного типа по кратности тока электромагнитного расцепителя и номинального тока разработаны на основе указанной зависимости [9.22, п.4.6.2; 9.36].

В инженерной работе ответственность за результаты возлагается на исполнителя, в задачи которого включается выбор достоверной исходной информации и методик моделирования (расчета). Поэтому в вопросе применения зависимости АБВ Group представленной на рисунке 9.2 хотелось бы иметь какие-либо подтверждения ее достоверности. Для этого рассмотрим результаты эксперимента с включением трех ламп накаливания 75 Вт (напряжение 230 В, рабочий ток $3 \cdot 75 / 230 = 0,98 \text{ А}$) в линии защищаемой модульным автоматическим выключателем типа В 1 (номинальный ток 1 А, неотключающего тока расцепителя 3 А). Из курса физики известно, что вольфрамовая спираль при нагреве от комнатной температуры до рабочей около 3000 К изменяет свое активное сопротивление примерно в 13 – 14 раз. Следовательно, действующее значение тока в начале пуска теоретически будет больше рабочего во столько же раз.

В литературе приводятся данные, что время пускового тока лампы накаливания до достижения рабочего тока составляет примерно 0,06 с [9.6, п. 8.8]. Если принять, что аperiodический импульс тока (заменяем фактическую затухающую синусоиду) уменьшается по экспоненте из-за нагрева нити накала, то длительность импульса по уровню 50 % составит 0,005 с. При таком времени импульс можно было бы отнести ко второму типу и приравнять пиковое значение импульса значению пускового тока.

Согласно времятоковой характеристике (рисунок 9.3) при времени импульса 0,005 с условный ток нерасцепления составляет 150 А, что значительно больше пускового тока ламп накаливания равного примерно 14 А. Автоматический выключатель не должен отключить линию, но по результатам эксперимента регистрируется срабатывание электромагнитного расцепителя от сверхтока.



$t(s)$ – время в секундах;

I/I_n – кратность условного тока нерасцепления/расцепления к номинальному

Рисунок 9.3 – Времятоковая характеристика автоматического выключателя TGB1N-63 В 1 [9.37, стр 3]

Рассмотрим пусковой ток ламп накаливания, как импульс первого типа. В этом варианте для времени t_{H50} равного 0,005 с приведенный коэффициент k составит 1,07 (рисунок 9.2), а пусковой ток

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{peak}} / k = 14/1,07 = 13 \text{ A.}$$

Условие по неотключающему току электромагнитного расцепителя

$$I_{\text{peak}} / k = 13 \text{ A} < c_{\text{нт}} I_n = 3 \cdot 1 = 3 \text{ A} \text{ – не выполняется.}$$

При таком значении пускового тока автоматический выключатель должен отключиться электромагнитным расцепителем из-за сверхтока в линии, что подтверждается в эксперименте. Однако, при пусковом токе 13 А должен отключиться не только автоматический выключатель типа В 1, но и типа В 3 (неотключающий ток 9 А). Последнее в эксперименте не подтверждается.

Построенный по осциллограмме график пускового тока (рисунок 9.4) показывает, что гипотеза об экспоненциальном аperiodическом импульсе несостоятельна, так как в двух первых синусоидах напряжения ток изменяется интенсивнее. Кроме того токовый импульс в первом полупериоде синусоиды не пропорционален напряжению из-за нелинейности активного сопротивления нити накала при нагреве.

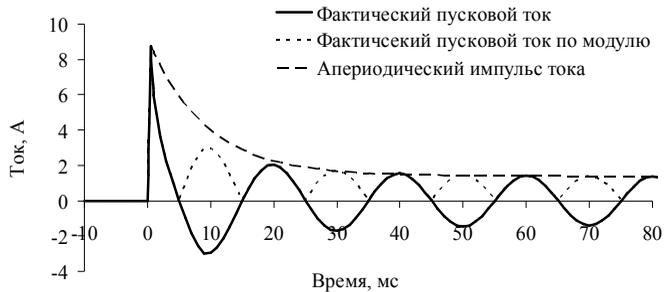


Рисунок 9.4 – График пускового тока ламп накаливания (три лампы мощностью по 75 Вт)

Рассмотрим еще одну гипотезу, что на электромагнитный расцепитель автоматического выключателя влияние оказывает только импульс тока который появляется в первый полупериод синусоиды вблизи ее максимума. При появлении пускового импульса тока вблизи точек прохождения напряжения через нуль превышение его пикового значения над рабочим **не значительно, также как и в светодиодных осветительных приборах.**

Фактический пик первого импульса тока в эксперименте составил 9 А при времени t_{150} – 18 мс. Тогда приведенный коэффициент k составит 1,5 (рисунок 9.2), а пусковой ток – 6 А.

Условие по неотключающему току электромагнитного расцепителя автоматического выключателя типа В 1

$$I_{\text{peak}} / k = 6 \text{ А} < c_{\text{нт}} I_n = 3 \cdot 1 = 3 \text{ А} \text{ – не выполняется,}$$

а для автоматического выключателя типа В 3

$$I_{\text{peak}} / k = 6 \text{ А} < c_{\text{нт}} I_n = 3 \cdot 3 = 9 \text{ А} \text{ – условие выполняется,}$$

что соответствует результатам эксперимента и доказывает правильность гипотезы о принятии в качестве пускового тока лампы накаливания только импульса в первый полупериод синусоиды напряжения вблизи ее максимума.

Определение пускового тока при известном пиковом значении импульсного тока

В случае отсутствия в паспорте осветительного прибора информация о длительности импульса пускового тока, а также возможности узнать какой ЭПРА установлен в светодиодном осветительном приборе рекомендуется воспользоваться статистической зависимостью на рисунке 9.5.

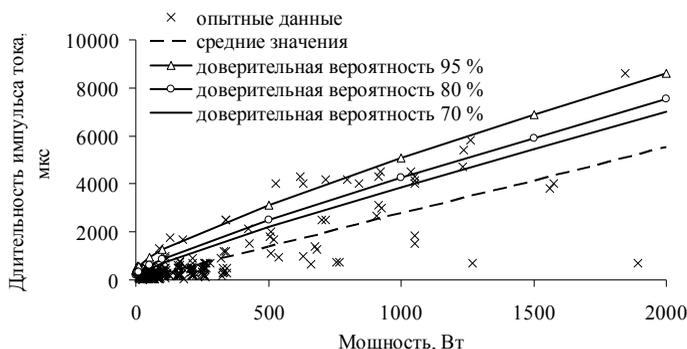


Рисунок 9.5 – Зависимость длительности импульса пускового тока по уровню 50 % от мощности светодиодного осветительного прибора

Выбор уровня доверительной вероятности зависит от потенциального риска при ложном срабатывании автоматического выключателя и отсутствии света на объекте в течение времени, которое необходимо для включения выключателя персоналом вручную. Для рабочего освещения целесообразно принимать уровень доверительной вероятности 70 % или 80 %, а для аварийного освещения 95 %. Уровни доверительной вероятности могут быть повышены исходя из фактической оценки рисков на объекте.

Необходимо помнить, что необоснованное завышение уровней доверительной вероятности приводит к перерасходу материальных и финансовых средств в целом на осветительную электросеть, так как жесткие ограничения количества защищаемых осветительных приборов одним автоматическим выключателем может привести к необходимости увеличения как самих аппаратов защиты, так и линий электропередачи.

После определения длительности импульса исходной информации достаточно, чтобы провести определение пускового тока на основе зависимости ABB Group.

Определение пускового тока при полном отсутствии информации о характеристиках импульса

В самом неблагоприятном варианте при полном отсутствии информации о характеристиках импульса пускового тока от производителя осветительного прибора рекомендуется воспользоваться статистической зависимостью на рисунке 9.6, которая получена на основе выборки 250 серий ЭПРА (отдельные серии включают несколько моделей с идентичными характеристиками пускового и номинального токов) производства Mean Well, Tridonic, Inventronics, Sosen, Philips, Helvar, Moons'.

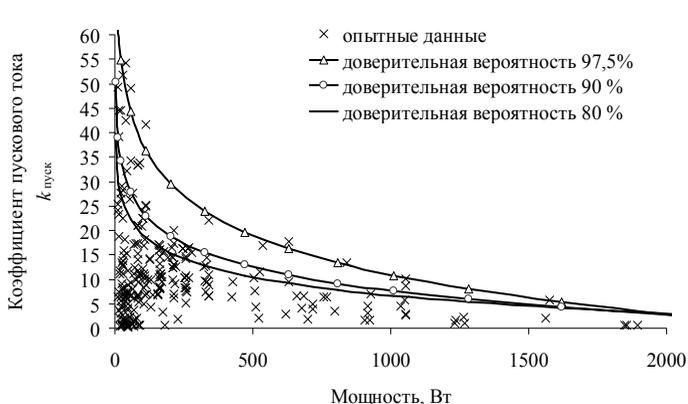


Рисунок 9.6 – Зависимость коэффициента пускового тока от мощности светодиодного осветительного прибора

Пояснения по выбору уровня доверительной вероятности приведены в методике "Определение пускового тока при известном пиковом значении импульсного тока". Для рабочего освещения целесообразно принимать уровень доверительной вероятности 80 % или 90 %, а для аварийного освещения 97,5 %. Повышения уровней доверительной вероятности проводится исходя из фактической оценки рисков на объекте и дополнительных материальных и финансовых затрат на электросеть.

Методика наименее трудоемка по сравнению с рассмотренными выше, но результаты оценки пускового тока имеют наибольшую погрешность.

Для всех трех методик определения пускового тока при коротком импульсе первого типа характерно еще одно допущение. Значение пускового тока осветительных приборов согласно ПНСТ 639-2022/МЭК 63129:2020 [9.34, п. 8.3.2] пропорционально увеличивается их количеству, т.е. обладают свойством аддитивности.

В реальных условиях эксплуатации значения пускового тока нескольких осветительных приборов всегда немного меньше суммы пусковых токов от каждого прибора. Это объясняется допусками в характеристиках пусковых токов и, следовательно, вероятностью несовпадения максимумов импульсов, а также дополнительным сопротивлением осветительной электросети и увеличением постоянной времени цепи для нарастания тока.

Сверхток, который возникает при подаче напряжения на осветительные приборы, принято называть пусковой ток $I_{пуск}$, А

$$I_{пуск} = k_{пуск} I_p, \tag{9.50}$$

где $k_{пуск}$ – коэффициент пускового тока; справочные значения представлены в таблице 9.8;

I_p – расчетный ток цепи осветительной установки, А.

Таблица 9.8 – Коэффициенты пускового тока осветительных приборов

Источник света	ПРА	Коэффициент пускового тока для действия	
		на мгновенный расцепитель	теплового
Лампа накаливания	–	6 – 10	–*
Люминесцентная лампа	ЭМПРА	–	–
	ЭПРА	Нет данных	Нет данных
Газоразрядная лампа высокого давления (металлогалогенная, натриевая, ртутная)	ЭМПРА	–	1,2 – 1,3
	ЭПРА	Нет данных	Нет данных
	ЭМПРА	Нет данных	Нет данных
Светодиод	ЭМПРА	Определяется по таблице 9.9	–
	ЭПРА	–	–

Таблица 9.9 – Формулы расчета коэффициента пускового тока светодиодных осветительных приборов по действию на мгновенный расцепитель автоматического выключателя

Наличие данных о токе пускового импульса		Доверительная вероятность результата, %	Формула	Номер формулы
I_{peak}	t_{H50}			
Да	Да	–	$k_{пуск} = I_{peak} / (k I_n)$,	9.51
			$\begin{cases} k = 3600/t_{H50}^{1,05}, \\ \text{если } t_{H50} \leq 1500\text{мкс;} \\ k = 1/(1,08 - 720/t_{H50}), \\ \text{если } 1500 \text{ мкс} < t_{H50} < 10000\text{мкс.} \end{cases}$	9.52
Да	Нет	95 %	Формулы (9.51) и (9.52)	9.53
		80 %	$t_{H50} = (19 + 1,65 \sqrt{1000P_y})^2$,	
		70 %	$t_{H50} = (10 + 1,65 \sqrt{1000P_y})^2$,	
Нет	Нет	97,5 %	$k_{пуск} = 91 - 11,6 \ln(1000P_y)$	9.54
		90 %	$k_{пуск} = 56 - 7 \ln(1000P_y)$	
		80 %	$k_{пуск} = 44 - 5,4 \ln(1000P_y)$	

Примечания.

- I_{peak} – пиковый пусковой ток (см. рисунок 9.1), А;
- t_{H50} – длительность импульса пускового тока по уровню 50 % (см. рисунок 9.1), мкс; все выражения справедливы для $t_{H50} < 10000$ мкс.
- k – коэффициент приведения пикового тока (см. рисунок 9.2).
- I_n – номинальный ток осветительного прибора, А; определяется по технической документации на осветительный прибор.
- P_y – установленная мощность осветительного прибора (см. пункт 9.1), кВт.
- Рекомендации по выбору уровня доверительной вероятности приведены в "Пояснение к определению пускового тока осветительного прибора".

Пример 9.2.3А

Исходные данные по заданию А.

Данные по установленным мощностям и расчетным токам из примеров 9.1А, 9.2.2А.

Определение пикового значения и длительности импульса пускового тока для осветительного прибора Доломант-Г СОКр-5-120-02 основано на информации производителя, что в светильнике установлен ЭПРА XLG-50 [9.25] (если ЭПРА не известен см. пример 9.2.3В) со следующими характеристиками:

- номинальное напряжение $U_n = 230$ В;
- номинальный ток $I_n = 0,29$ А.
- пиковый пусковой ток $I_{\text{peak}} = 50$ А;
- длительность импульса пускового тока по уровню 50 % $t_{\text{H50}} = 350$ мкс.

Коэффициент приведения пикового тока определяется по формуле (9.52) при условии $t_{\text{H50}} \leq 1500$ мкс:

$$k = 3600 / 350^{1,05} = 7,67.$$

Коэффициент пускового тока определяется по формуле (9.51):

$$k_{\text{пуск}} = 50 / (7,67 \cdot 0,29) = 22,5.$$

На основе данных таблицы 9.9 по формуле (9.50) определяется пусковой ток в проводниках осветительной установки железнодорожного парка (таблица 9.11Пр).

Таблица 9.11Пр – Расчетные пусковые токи в фазных и нулевых рабочих проводниках цепей осветительной установки

Осветительная установка, часть	Расчёт
Одна пара осветительных приборов	$I_{\text{пуск2ОПЛ}} = 22,5 \cdot 0,41 = 9,23$ А
Одна жесткая поперечина	$I_{\text{пускPL}} = 22,5 \cdot 2,47 = 55,6$ А
Жесткие поперечины в левом плече парка	$I_{\text{пускJL}} = 22,5 \cdot 4,93 = 110,9$ А
	$I_{\text{пускJN}} = 22,5 \cdot 3,49 = 78,5$ А
Жесткие поперечины всего железнодорожного парка	$I_{\text{пускΣL}} = 22,5 \cdot 9,86 = 221,9$ А
	$I_{\text{пускΣN}} = 22,5 \cdot 5,51 = 124,0$ А

Пример 9.2.3В

Исходные данные по заданию В. Номинальное напряжение сети $U_{\text{нс}}$ равно 230 В.

Данные по установленным мощностям и расчетным токам из примеров 9.1В, 9.2.2В.

Номинальная мощность осветительного прибора $P_{\text{ноп}}$ принята равной 0,046 кВт (см. пример 9.1В).

Коэффициент пускового тока определяется по формуле (9.54) при доверительной вероятности 80 %, так как осветительная установка отнесена к III категории по надежности электроснабжения:

$$k_{\text{пуск}} = 44 - 5,4 \ln(1000 \cdot 0,046) = 23,3.$$

На основе данных таблицы 9.10 по формуле (9.50) определяется пусковой ток в проводниках осветительной установки железнодорожного парка (таблица 9.12Пр).

Таблица 9.12Пр – Расчетные пусковые токи в фазных и нулевых рабочих проводниках цепей осветительной установки

Осветительная установка, часть	Расчёт
Одна пара осветительных приборов	$I_{\text{пуск}2\text{ОПЛ}} = 23,3 \cdot 0,42 = 9,79 \text{ А}$
Одна жесткая поперечина	$I_{\text{пускPL}} = 23,3 \cdot 2,52 = 58,7 \text{ А}$
Жесткие поперечины в левом плече парка	$I_{\text{пускЛЛ}} = 23,3 \cdot 7,55 = 175,9 \text{ А}$
	$I_{\text{пускЛН}} = 23,3 \cdot 7,55 = 175,9 \text{ А}$
Жесткие поперечины в правом плече парка	$I_{\text{пускПЛ}} = 23,3 \cdot 5,03 = 117,2 \text{ А}$
	$I_{\text{пускПН}} = 23,3 \cdot 5,03 = 117,2 \text{ А}$
Жесткие поперечины всего железнодорожного парка	$I_{\text{пуск}\Sigma\text{Л}} = 23,3 \cdot 12,59 = 293,3 \text{ А}$
	$I_{\text{пуск}\Sigma\text{Н}} = 23,3 \cdot 12,59 = 293,3 \text{ А}$

Список использованных источников

9.1 СТБ 2574-2020 Электроэнергетика. Основные термины и определения [Текст] – С Изм. №1, изм. №2. – Введ. 10.08.2020.

9.2 ГОСТ 19431-2023 Энергетика и электрификация. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Взамен ГОСТ 19431-84 ; введ. 25.09.2023 // ИПС «Стандарт». – Режим доступа : <https://ips3.belgiss.by/TnpaDetail.php?UrlId=687212>. – Дата доступа : 01.11.2024.

9.3 ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009) Напряжения стандартные [Текст] – С Изм. 1. – Взамен ГОСТ29322-92; введ. 01.06.2017

9.4 ГОСТ 21128-83 Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В [Текст] – С Изм. 1 – Взамен ГОСТ 21128-75 (СТ СЭВ 779-77); введ. 17.12.1992.

9.5 Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь. – Введ. 1.07.2016 г.

9.6 Козловская, В. Б. Электрическое освещение: учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. Минск: Техноперспектива, 201, – 543 с, [12] л, цв. ил.

9.7 Кабышев, А. В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие / А. В. Кабышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 185 с.

9.8 Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг – Л.: Энергоиздат. Ленинград. отд-ние, 1981. – 288 с., ил.

9.9 Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – 2-е изд. – М.: Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с : ил.

9.10 Руководящий технический материал. Проектирование электроустановок. О расчете электрических нагрузок. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92* (технический циркуляр ВНИГМ Тяжпромэлектропроект №359-92 от 30 июля 1992 г.) [Текст] – Взамен "Указаний по расчету электрических нагрузок", шифр М788-1068, 1990 г.; введ. 01.01.1993.

9.11 Радкевич, В. Н. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 03 "Электроснабжение (по отраслям)" / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. – Минск: БНТУ, 2013. – 124 с.

9.12 Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин – Изд. 3-е, стер. – М.; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 328 с.

9.13 Будзко, И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник / И. А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 356 с.: ил.

9.14 ТКП 460-2017 (33240) Порядок расчета величины технологического расхода электрической энергии на ее передачу по электрическим сетям, учитываемой при финансовых расчетах за электроэнергию между энергоснабжающей организацией и потребителем (абонентом) [Текст] – С Изм. №1, изм. №2 – Взамен ТКП 460-2012; введ. 22.06.2017.

9.15 Правила устройства электроустановок : главы, действующие в Республике Беларусь [Электронный ресурс] – 6-е изд., перераб. и доп. – Минск: Экономэнерго, 2015 – Режим доступа: <https://energodoc.by/js/pdfjs/web/viewer.html?file=/file/fulltext-view/9332.pdf> – Дата доступа: 25.11.2024.

9.16 ГОСТ Р 50571.5.52-2011/МЭК 60364-5-52:2009 Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки. [Текст] – Взамен ГОСТ Р 50571.15-97 (МЭК 6064-5-52-93); введ. 13.12.2011.

9.17 СН 4.04.01-2019 Системы электрооборудования жилых и общественных зданий [Текст] – С Изм. №1 – С отменой ТКП 45-4.04-326-2018 (33020); введ. 29.11.2019.

9.18 IEEE Standart Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. IEEE Std 1459TM-2010 (Revision of IEEE Std 1459-2000) [Электронный ресурс] / IEEE Power & Energy Society. – Режим доступа: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589271/mod_resource/content/1/IEEE%20Std%201459-2010.pdf – Дата доступа: 29.11.2024.

9.19 Emanuel, Alexander Eigeles. Power definitions and the physical mechanism of power flow [Электронный ресурс] / Alexander Eigeles Emanuel. – p. cm. – Includes index. ISBN 978-0-470-66074-4 (cloth) – Режим доступа: <https://skillexperto.com/index/power-definitions-and-the-physical-mechanism-of-power-flow/> – Дата доступа: 29.11.2024.

9.20 ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ) [Текст] – Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 01.04.2016.

9.21 ГОСТ ИЕС 61000-3-2-2021 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-2. Нормы. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с входным током не более 16 А на

фазу) [Текст] – Взамен ГОСТ ИЕС 61000-3-2–2017, ГОСТ 30804.3.2-2013; введ. 01.02.2023.

9.22 Руководство по устройству электроустановок [Электронный ресурс] / Life is on, Schneider Electric – Schneider Electric, 2019. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/instructions/schneider-electric/generatory elektrosnabzhenie/24847> – Дата доступа: 29.11.2024.

9.23 Жежеленко, И. В. высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: энергоатомиздат, 2000 – 331 с., ил.

9.24 Исследование высших гармоник тока, генерируемых энергосберегающими источниками света / Г. Я. Вагин [и др.] // Промышленная энергетика. – 2014 – №6 – С.51–55.

9.25 50W Constant Power Mode LED Driver. XLG-50 series [Электронный ресурс] / Mean Well. // File Name:XLG-50-SPEC 2019-07-12 – Режим доступа: <https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=XLG-50> – Дата доступа : 02.12.2024.

9.26 Светодиодный осветительный комплекс серии "СОКр-5-02". Паспорт / ООО "ДОЛОМАНТ-Т". – 4с.

9.27 Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary [Электронный ресурс] / International Electrotechnical Commission – URL: <https://www.electropedia.org/> (дата обращения : 24.02.2025).

9.28 ГОСТ ИЕС 60050-441-2015 Международный электротехнический словарь. Часть 441. Аппаратура коммутационная, аппаратура управления и плавкие предохранители (IEC 60060-441:1984, Amd 1:2000, IDT) [Текст] – Введ. 01.05.2017.

9.29 Управление качеством электроэнергии: учебное пособие / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 347 с.: ил.

9.30 Оценка и повышение эффективности работы осветительных установок промышленных предприятий / В.А. Анищенко, [и др.]. – Минск : БНТУ, 2014. – 218 с. – ISBN 978-985-550-478-9.

9.31 ПНСТ 751-2022 (МЭК 60050-448:1995) Международный электротехнический словарь. Глава 448. Защита энергетических систем (IEC 60050-448:1995, MOD) – Введ. 10.10.2022.

9.32 Системы освещения. Техническое руководство. Цели освещения: решения для управления и защиты / Life is on, Schneider Electric – Schneider Electric, 2019. – Режим доступа: <https://www.se.com/kz/ru/download/document/МКР-BRC-LIGHT-19/> – Дата доступа: 29.11.2024.

9.33 Пономарев, Д. В. Пусковые токи led-драйверов, их значение и измерение [Электронный ресурс] / ООО «ПТК "АРГОС-

ЭЛЕКТРОН"» – URL:https://argos-electron.ru/news/puskovye_toki_led_drayverov_ikh_znachenie_i_izmerenie/ (дата обращения: 07.06.2025).

9.34 ПНСТ 639-2022/МЭК 63129:2020 Светотехнические изделия. Методы измерения пусковых токов. – Введ. 28.02.2022.

9.35 Electrical installation solutions for buildings – Technical details. MCBs. [Электронный ресурс] / ABB Group // B01_Electrical installation solutions for buildings_part B_01_MCBs_[EN]_(PDF) – URL:<https://library.abb.com/r?cid=9aac100489> (дата обращения: 07.06.2025).

9.36 Inventronics Circuit Breakers / Inventronics – URL:<https://www.inventronics-co.com/wp-content/uploads/2018/04/Circuit-Breaker-App-Note.pdf>

9.37 Каталог. Модульное оборудование: [пром. кат.] TENGGEN. – [Б. м. : б. и.]. – 2024. – 119 с. : цв. ил.