

# **СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

## **ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ**

### **О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ШИНОПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

БАРАБАШ В. М.  
Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

### **НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

ВЛАСЕНКО Е. О.  
Научный руководитель – Олешкевич М. М., к. т. н., доцент

### **ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ НАРУЖНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

ПОЛЫН А. Н.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКАМИ ИЗ АМОΡФНЫХ СПЛАВОВ**

ГУРИНОВИЧ Е. А.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

ЛЯЛЮГО А. Ю.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ И СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

МЕТЕЛИЦА Д.В., АЛЕКСЕВИЧ С.Т.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОВРЕМЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

ЛЕЩЁВ С. А.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

ГОРНОВСКИЙ И.Ю., КУЛЬЧИНСКИЙ Н.Н.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

### **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

МАРХЕЛЬ О.Л., ПИСАРУК Т.В.  
Научный руководитель – Козловская В.Б., к.т.н., доцент

### **ВЫБОР ЧИСЛА ВКЛЮЧЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ**

КАРЧЕВСКАЯ В.Р.  
Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

### **ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

ВОРОБЕЙ В. В.  
Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

УДК 621.31(075.8)

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ШИНОПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Барабаш В. М.

Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

В цехах промышленных предприятий при благоприятных условиях окружающей среды и упорядоченном расположении цеховых распределительных устройств (РУ) питающие сети могут быть выполнены магистральными шинопроводами (МШ) или кабельными линиями (КЛ). По сравнению с КЛ магистральные шинопроводы обладают рядом преимуществ, к основным относятся: компактная конструкция; гибкость и мобильность; более низкая стоимость (по сравнению с кабелями той же пропускной способности); возможность монтажа на любые несущие конструкции; низкий уровень электромагнитного излучения; несложное техническое обслуживание; эстетичный внешний вид. Недостатками МШ являются меньшее удобство эксплуатации и возможность нарушения электроснабжения большого числа электроприёмников при повреждении шинопровода.

В работе выполнена сравнительная оценка применения в питающих сетях напряжением до 1 кВ МШ и КЛ по потерям мощности и напряжения. Для этого рассмотрены два варианта конструктивного исполнения питающей сети цеха промышленного предприятия, предназначенной для электроснабжения четырех групп потребителей электроэнергии:

- 1) магистральным шинопроводом;
- 2) четырьмя кабельными линиями по радиальной схеме.

Для упрощения принято линейное расположение потребителей с одинаковыми расстояниями между соседними группами – 50 м. Расстояние от шин РУ напряжением до 1 кВ трансформаторной подстанции до первой нагрузки также равно 50 м. Таким образом, МШ состоит из четырех участков длиной 50 м каждый. Во втором варианте исполнения питающей сети (при кабельной канализации электроэнергии) необходимо использовать четыре линии длиной 50, 100, 150 и 200 м. Нагрузки групп электроприемников  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_4$  приняты одинаковыми и равными 240 А с коэффициентом мощности  $\cos\varphi = 0,9$ .

Магистральный шинопровод выбирается по номинальному току силового трансформатора. Расчеты произведены для трансформатора с номинальной мощностью 1250 кВ·А. В результате выбран МШ типа ШМА5, имеющий номинальный ток 1600 А. В альтернативном варианте сети для питания потребителей необходимо применить пятижильные кабели с сечением фазных жил 185 мм<sup>2</sup>, выбранных по допустимому нагреву расчетным током.

Потери мощности (кВт) на  $i$ -м участке МШ и в  $i$ -й КЛ определялись по формуле [1]

$$\Delta P_i = 3I_i^2 r_0 l_i 10^{-3},$$

$I_i$  - ток, протекающий по  $i$ -му участку МШ (по  $i$ -й КЛ), А;

$r_0$  - погонное активное сопротивление шинопровода (КЛ), Ом/км;

$l_i$  - длина  $i$ -го участка МШ ( $i$ -й КЛ), км.

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1- Потери активной мощности в КЛ и МШ

Линия (участок МШ)	Потери мощности, кВт	
	КЛ	МШ
1	1,46	4,15
2	2,92	2,33
3	4,38	1,04
4	5,84	0,26
Итого:	14,6	7,78

Проведенный расчет показывает, что по сравнению со схемой питания по кабельным линиям при применении магистрального шинпровода суммарные потери мощности уменьшаются на 46,8 %.

Потери напряжения (%) на  $i$ -м участке МШ и в  $i$ -й КЛ определяются по выражению [1]

$$\Delta U_i = \frac{\sqrt{3} I_i l_i (r_0 \cos \varphi_i + x_0 \sin \varphi_i)}{U_{ном}} 100$$

где  $\cos \varphi_i$  - значение коэффициента мощности на  $i$ -м участке МШ ( $i$ -й КЛ);  $x_0$  - погонное реактивное сопротивление шинпровода (КЛ), Ом/км;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение сети, В.

Значение напряжения (%) в конце  $j$ -й линии, т.е. подведенного к потребителю, рассчитывается по формуле

$$U_j = U_{шт} - \Delta U_i$$

где  $U_{шт}$  - напряжение на шинах РУ трансформаторной подстанции,  $U_{шт} = 105\%$ .

Расчет величины напряжения в конце  $j$ -го участка МШ выполняется по выражению

$$U_j = U_{шт} - \sum_{i=1}^m \Delta U_i$$

где  $m$  - количество участков МШ на пути от точки  $j$  до шин источника питания.

Результаты расчёта уровней напряжения в рассматриваемой электрической сети приведены в таблице 2.

Таблица 2- Результаты расчёта уровней напряжения при применении МШ и КЛ

Линия (участок МШ)	Напряжение в конце	
	КЛ	участка МШ
	%	%
1	104,03	104,31
2	103,07	103,79
3	102,1	103,45
4	101,13	103,28

Анализ уровней напряжения на шинах цеховых РУ при применении магистрального шинпровода и кабельных линий до 1 кВ при одинаковой нагрузке показывает, что при использовании магистрального шинпровода у потребителей электроэнергии поддерживается более высокий уровень напряжения (примерно на 2 %), чем при применении кабельных линий.

**Вывод**

В рассмотренном случае применение магистрального шинпровода для электроснабжения потребителей является более целесообразным, так как по сравнению с кабельными линиями суммарные потери мощности в сети уменьшаются на 46,8 % и примерно на 2 % выше поддерживаются уровни напряжения, подведенные к РУ потребителей электроэнергии.

**Литература**

1.Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Интермет-Инжиниринг, 2005.-671с.

## НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Власенко Е. О.

Научный руководитель – Олешкевич М. М., к. т. н., доцент

Прежде всего, нужно отметить, что суммарная установленная мощность действующих фотоэлектрических станций в 2012 году увеличилась на 30 тыс. МВт и к началу 2013 года достигла 101 тыс. МВт. Эти значения говорят о том, что для фотоэлектрической отрасли существует сильный глобальный рынок и можно сделать прогноз, согласно которому к 2015 г. стоимость производства 1 кВт электроэнергии фотоэлектрическими станциями будет составлять 0,07-0,1 евро за кВт-ч.

Сегодня мировая солнечная энергетика развивается высокими темпами, солнечные электростанции становятся частью энергетической инфраструктуры, стремительный рост количества и общей мощности электростанций, работающих на гелиосырье, предполагает также рост влияния солнечных технологий на экономику, что может стать стимулом для экономического развития экваториальных стран, обладающих максимальным «солнечным» ресурсом.

Однако лидерами по развитию отрасли всё же являются в Европе - Германия (прирост на 7,6 тыс. МВт), Италия (3,3 тыс. МВт) и Франция (1,2 тыс. МВт), за пределами Европы - Китай (3,5-4,5 тыс. МВт), на втором месте – США (3,2 тыс. МВт), на третьем – Япония (2,5 тыс. МВт). Стоит отметить тот факт, что благодаря спонсорской поддержке австрийской компании Active Solar в Украине за последние 2 года были построены и введены эксплуатацию фотоэлектрические станции суммарной мощностью порядка 350 МВт, причём завершённый в начале этого года солнечный парк "Перово", стал крупнейшим действующим фотоэлектрическим парком в мире по показателю установленной мощности.

При этом следует учитывать, что бурному росту солнечной энергетике в этих странах способствует такая политика государства, которая предоставляет владельцам солнечных электростанций льготные зеленые тарифы на подключение, стимулирующие развитие энергетики, не загрязняющей атмосферу выбросами CO<sub>2</sub>.

Новому этапу развития солнечной энергетике способствовало также то, что за прошедший год цены на солнечные панели упали на 25%, (частично, это вызвано протекционистской политикой стран-производителей в отношении импорта фотоэлектрических панелей из других стран, вызванной желанием поддержать собственного производителя), поэтому в странах была проведена активная маркетинговая проработка сфер использования и рынков сбыта солнечноэнергетических модулей и созданы и воплощены в жизнь образовательные и информационные программы по проблемам экономного энергопотребления и энергосбережения.

В заключении стоит отметить, что работа солнечных модулей позволяет избежать попадания в атмосферу 53 млн. тонн углекислого газа в год, проводя последовательную энергосберегающую политику, в одной только Германии можно создать как минимум 500 тысяч новых рабочих мест, а объем сэкономленных средств за счет энергосберегающих технологий до 2020 года может достичь 50 миллиардов евро.

УДК 621.311.6.03

## ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ НАРУЖНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Полын А. Н.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Комплектные трансформаторные подстанции наружной (КТПН) установки предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинального напряжения 6(10)/0,4 кВ в сетях электроснабжения промышленных предприятий, сельских и городских населенных пунктах. Подстанции изготавливаются согласно опросному листу, составленного для каждого заказчика индивидуально, с детальной проработкой основного, и дополнительного оборудования, учитывая все пожелания заказчика. КТПН не предназначены для работы в среде, содержащей токопроводящую пыль, едкие пары и газы, разрушающие металл и изоляцию; в местах, подверженных сильной тряске, вибрации и ударам; на передвижных установках.

Рассмотрим следующие типы КТПН:

1. КТПН киоскового типа;
2. КТПН с воздушным вводом.

Корпус подстанции киоскового выполняется в зависимости от района эксплуатации. Каркас собирается из металлического профиля, при этом основой служит труба и швеллер, сэндвич-панелями из пенополиуретана. Для разделения отсеков КТПН используется листовая металл. Вся конструкция надежно проваривается, после чего изделие отправляется в покрасочную камеру. Затем каркас обшивается профилированным листом, тип которого соответствует климатическому исполнению У1. Для производства утепленных блок - модулей используются сэндвич – панели, благодаря которым, при помощи обогревателей внутри помещения, поддерживается необходимая для эксплуатации электрооборудования температура. Подстанция комплектуется:

1) устройством ввода высокого напряжения (ВН), собирающегося из камер КСО со следующими коммутационными аппаратами: - разъединителями типа РВЗ, РВФЗ; автогазовыми выключателями нагрузки типа ВНА, элегазовыми выключателями нагрузки типа SL-12; предохранителями типа ПКТ; вакуумными выключателями типа ВВ/TEL, ВБСК и ВБП, VF-12, а также, по заказу, другими типами высоковольтных коммутационных аппаратов;

2) масляными трансформаторами, трансформаторами масляными герметичными, сухими, или заполненными жидким негорючим диэлектриком;

3) щитом низкого напряжения (НН) на базе панелей ЩО-70 с выключателями-разъединителями, рубильниками, предохранителями, стационарными автоматическими выключателями серии ВА, Электрон, Протон и др.

По заказу в КТПН предусматриваются дополнительные электрические и механические блокировки, а также возможность подключения наружного освещения с режимами ручного, или автоматического включения и отключения.

КТПН с воздушным вводом подключается к воздушной линии посредством разъединителя РЛНД 1-10/400У1, который поставляется по заказу и устанавливается на ближайшей опоре. Количество отходящих линий и их токи указываются заказчиком. С заказчиком согласуются не только технические требования и решения, но и многоцветное, адаптивное к месту установки цветовое решение оболочки, нанесение индивидуальных логотипов и т.д.

Уровень защищенности подстанций от воздействия окружающей среды соответствует классу IP23. Все внутренние и внешние металлические поверхности устанавливаемого оборудования имеют покрытие, нанесенное методом порошковой полимеризации, независимо от цвета. Жесткий каркас подстанции позволяет транспортировать её в сборе с силовым трансформатором мощностью до 160 кВ·А к

месту установки. Свыше 160 кВ·А трансформатор транспортируется отдельно. Комплектация подстанции:

При наличии воздушного ввода в подстанции на вводах устанавливаются разрядники типа РВО или (по специальному заказу) ограничители перенапряжений ОПН. Кроме того, по заказу, разрядники или ограничители перенапряжений устанавливаются на сборных шинах распределительных устройств ВН и НН.

Подстанция оборудуется схемой питания собственных нужд со щитом бесперебойного питания. Возможно оснащение различными видами механических и электрических блокировок.

Распределительные устройства НН на подстанции могут быть оснащены тамбуром для внутреннего обслуживания, который функционально обеспечивает более комфортные условия для работающего персонала.

По заказу КТПН оснащается охрано-пожарной сигнализацией, а также комплектуется средствами индивидуальной защиты и огнетушителями.

Основные преимущества комплектных трансформаторных подстанций наружной установки:

- поставляются на объект отдельными блок-модулями с установленной аппаратурой;
- возможность исполнения коммерческого учета электроэнергии на стороне высокого напряжения;
- возможность применения в комплексе АСУ ТП;
- применение собственных схем АВР на стороне высокого напряжения;
- полная заводская готовность;
- покрытие металлоконструкции методом холодного оцинкования;
- возможность применения в комплексе автоматизированной системы управления технологическими процессами.

УДК 621.311.6.03

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКАМИ ИЗ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ**

Гуринович Е. А.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Конструкция силовых трансформаторов, как масляных, так и сухих, уже более столетия является практически неизменной: магнитопровод, обмотки, бак (для масляных трансформаторов); однако постоянно происходит процесс совершенствования отдельных конструктивных элементов. Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов — это применение магнитопроводов из аморфных сплавов.

Аморфный сплав - это определенный вид прецизионного сплава. Путем химического подбора и метода охлаждения, которое проводится со скоростью, превышающую скорость кристаллизации достигается аморфное состояние металла. Одним из основных отличий аморфного сплава от электротехнической стали - отсутствие периодичности в расположении атомов. А так же эти сплавы отличаются от кристаллических сплавов большей устойчивостью к коррозии, они прочнее в несколько раз и с лучшей электромагнитной характеристикой. Благодаря современной технологии стало возможно получение сердечников различных диаметров, начиная от нескольких миллиметров заканчивая полуметровым диаметром.

Магнитопровод из аморфных сплавов состоит из трёх колец – двух внутренних и одного наружного, навитых из лент аморфной стали. Толщина ленты 0,025 мм. Наружная поверхность каждого кольца – лента из обычной электротехнической стали, выполняющая роль замковой пластины. Кольца магнитопровода покрыты защитным слоем из эпоксидной смолы (кроме областей стыка). Стыки располагаются в нижней части магнитопровода.

Трансформаторы с сердечниками из аморфных сплавов заметно проигрывают традиционным в массе и по габаритным размерам. Благодаря аморфным сплавам обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали. Трансформатор с сердечником из аморфных сплавов имеет больший КПД. Перегрузочная способность и срок службы у трансформаторов с сердечником из аморфных сплавов аналогичны таковым у традиционных трансформаторов. Недостатком сердечников из аморфных материалов является их более высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами — у японской фирмы Hitachi эта разница достигает 15 — 20%. Однако в настоящее время зарубежные производители реализуют аморфную сталь уже по цене порядка 3 долл. США за килограмм, что делает применение этого материала в силовых трансформаторах экономически оправданным. Срок окупаемости такого трансформатора составляет 4 - 6 лет. Недостатки по габаритам и массе данного трансформатора связаны в основном с несовершенством технологического процесса при производстве аморфной стали и изготовления сердечников из нее в частности. И, хотя, такие трансформаторы имеют большую стоимость, за счет своей экономичности, в долгосрочной перспективе оказываются более выгодным вложением.



УДК 621.311.6.03

## **КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Лялюго А. Ю.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Оплата электроэнергии (ЭЭ) ухудшенного качества – это траты впустую, а следовательно, прямой ущерб. Качество электроэнергии (КЭ) в Республике Беларусь регламентируется документом ГОСТ 13109-97 «...Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1]. В этом документе обозначено 11 показателей качества электроэнергии (ПКЭ), некоторые ненормируемые ПКЭ учитывают случайные, или стохастические, ухудшения качества электроэнергии, остальные же (нормируемые) учитывают непосредственно качество электроэнергии по основным её параметрам: напряжению, частоте – и производным от них – дозе фликера и различным временным показателям. Эти первостепенные показатели качества отвечают за потери электроэнергии в сетях и электроустановках.

Величина удельных потерь в сетях электропередачи должна быть минимально возможной, иначе ущерб будет велик, ведь общая протяжённость сетей очень большая. Без их модернизации потери электроэнергии могут оказаться очень большими, вместе с тем может быть ухудшено и качество электроэнергии, а следствием этого обычно является выход из строя электрооборудования потребителя или его некорректная работа, приводящая к ущербу. Промышленные предприятия обычно расширяются быстрее, чем модернизируется сеть электроснабжения (СЭС), поэтому на уже существующую сеть, рассчитанную для определённых потребителей, «навешивают» новых. В результате в сети появляются критические падения напряжения на конечных участках, и ухудшается качество электроэнергии питаемых этой сетью потребителей. Таким образом, из старой, но надёжной и хоть как-то работающей сети, мы получаем сеть с большими потерями электроэнергии, большим количеством отказов и выходов из строя дорогостоящего оборудования.

С 1 января 2012 г. в Республике Беларусь начали действовать новые «Правила электроснабжения». Этот закон действует аналогично «Гражданскому Кодексу», согласно которому ущерб, причинённый стороне потерпевшего, возмещается виновной стороной. Таким образом, если в Вашей сети оборудование вышло из строя или Вы понесли убытки в результате нарушения технологического процесса по причине некачественной электроэнергии, энергоснабжающая компания обязана оплатить Вам ущерб полностью или частично в зависимости от решения Суда. Стоит заметить, что данные Правила содержат обратимые условия в отношении качества электроэнергии, так как его может ухудшить как энергоснабжающая организация, так и сам потребитель. Тогда ущерб, разделяется между сторонами и возмещается пропорционально их вкладам в искажение того или иного ПКЭ.

Часто все ПКЭ удовлетворяют требованиям ГОСТ, однако электроустановка всё равно работает ненормально. Такая ситуация возможна ввиду недостаточности учёта случайностей, отражённых в различии нормально и предельно допустимых ПКЭ. Как известно, нормально допустимые показатели учитывают случайные события, например, перерыв в питании прибора либо удар молнии и другие. Если бы мы исключали эти случайности ввиду невозможности их положительного исхода или же повышали требования к качеству ЭЭ, то нормально допустимых ПКЭ мы не использовали бы вовсе.

Если некоторые ПКЭ выйдут за определённые пределы, достаточные для выполнения условий ГОСТ и Договора электроснабжения, в совокупности суммарное искажение может оказаться достаточным для того, чтобы вывести из строя установленное оборудование или нарушить технологический процесс производства. В таком случае возникает противоречивая ситуация, когда виновник есть, но закон

защищает его, и ущерб потребителя «некачественной» электроэнергии никто возмещать не обязан.

Эксперты по КЭ считают [2], что величина интервала времени для нормально допустимых значений ПКЭ, принятая равной 95 %, завышена, и поэтому вполне достаточно было бы для некоторых ПКЭ ограничить её на уровне 97-99 %. В течение этого интервала времени испорченные внезапным отключением прибора данные, или случайные измерения, вызванные коммутационными или атмосферными перенапряжениями, отсеются, и массив будет заполнен только достоверными данными. Пока это изменение не будет принято, ситуация, возможно, так и останется неразрешённой, а права потребителей будут нарушаться.

Чтобы оценить ущерб от ухудшения качества электроэнергии нужно классифицировать его в зависимости от причин ухудшения КЭ. Для классификации разделим все потери из-за снижения качества ЭЭ на технические (потери в токоведущих частях электроустановок, потери холостого хода), технологические (снижение производительности оборудования, выход некачественной продукции) и коммерческие (выход из строя оборудования). Каждая группа потерь отличается величиной ущерба, и вероятностью его появления, а общие убытки будут определяться произведением этих величин. Далее нужно рассчитать риски и определить надёжность оборудования, что является трудоёмкой задачей и в общем случае никогда не выполняется.

Финансовый ущерб складывается из следующих составляющих:

- 1) убытки из-за выхода из строя технологического оборудования, который произошёл вследствие превышения:
  - а) коэффициента перенапряжения (импульсного напряжения);
  - б) коэффициента несинусоидальности напряжения (коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения) [3, 5];
  - в) коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности [4];
  - г) коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности;
- 2) убытки из-за кратковременного останова (замедления) технологического процесса, который произошёл вследствие:
  - а) провала напряжения;
  - б) превышения по нижней границе установившегося отклонения напряжения;
  - в) превышения по нижней границе установившегося отклонения частоты;
- 3) убытки из-за потерь электроэнергии при длительном воздействии на электроустановки электроэнергии сниженного качества:
  - а) потери ЭЭ из-за протекания токов нулевой последовательности;
  - б) потери ЭЭ из-за протекания токов обратной последовательности;
  - в) потери ЭЭ из-за несинусоидальности кривой напряжения;
  - г) потери ЭЭ из-за установившегося изменения частоты.

Отметим, что потери электрической энергии из-за её ухудшения в некоторых случаях составляют большую часть общих потерь ЭЭ. Несмотря на некоторые подвижки в решении проблемы качества электроэнергии со стороны специалистов и чиновников, проблема все ещё не решена. Необходимо постепенно уменьшать этот ущерб, пока проблема не носит критический характер.

#### Литература

1. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»

2. Надёжность и качество электроснабжения предприятий: учебное пособие / Александров Д. С., Щербаков Е. Ф. – Ульяновск: УлГТУ, 2010 – 155 с.
3. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 2000 – 331 с., ил.
4. А.В. Сапрыка. Повышение энергоэффективности осветительных комплексов с учётом качества электрической энергии. Монография. – Харьков: ХНАМГ, 2009 – 126 с.
5. Жежеленко И.В., Саенко Ю. Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с., 74 ил.

УДК 621.311.6.03

## **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ И СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Метелица Д.В., Алексевич С.Т.

Научный руководитель – Колосова И.В.

В ходе производственного процесса всегда возникали вопросы качественного и экономичного освещения рабочих зон и поверхностей. С момента изобретения лампы накаливания прошло более 120 лет и на смену им приходят всё более надёжные и экономичные источники света, такие как индукционные лампы, лампы ДРЛ и светодиодные светильники. Рассмотрим строение, принцип действия, достоинства и недостатки данных ламп.

Лампа ДРЛ состоит из колбы, цоколя, горелки, основного электрода, поджигающего электрода, токоограничительного резистора.

Принцип действия лампы ДРЛ. При подаче на лампу питающего напряжения, между близко расположенными основным и зажигающим электродом, возникает тлеющий разряд. Возникновение в полости горелки достаточно большого числа носителей заряда (свободных электронов и положительных ионов) способствует пробое промежутка между основными электродами и зажиганию между ними тлеющего разряда, который практически мгновенно переходит в дуговой. Стабилизация электрических и световых параметров лампы наступает через 10 — 15 минут после включения.

Достоинством ламп ДРЛ является: высокая световая отдача (до 55 лм/Вт); большой срок службы (10000 ч); компактность; не критичность к условиям окружающей среды. К недостаткам ламп ДРЛ можно отнести: возможность работы только на переменном токе; наличие балластного дросселя; длительность разгорания (7 - 10 мин.); пульсации светового потока; уменьшение светового потока к концу службы.

Светодиодный источник света состоит из: светодиода, электронной платы, радиатора охлаждения; рассеивателя; цоколя.

В устройстве светодиодов значение имеет процесс, происходящий после того, как через диод прошёл ток. В тот момент осуществляется рекомбинация носителей электрического заряда. Отрицательно заряженные электроны занимают место в положительно заряженных ионах кристаллической решётки полупроводника. И когда электрон и дырка встречаются, происходит выделение энергии, излучается фотон, квант света. Если излучение не происходит, высвобожденная энергия переходит в тепловую, нагревая вещество.

Достоинством светодиодных ламп является: экономичность, виброустойчивость, богатая цветовая гамма, большой срок службы, механическая надёжность, отсутствие инерционности. К недостаткам ламп можно отнести: высокая стоимость светодиодов, высокие требования к качеству теплоотвода, влияние перепадов напряжения на срок службы, преимущественно направленное свечение.

Индукционная лампа состоит из трёх основных частей: газоразрядной трубки, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, магнитного кольца или стержня (феррита) с индукционной катушкой, электронного балласта (генератора высокочастотного тока). Электронный балласт вырабатывает высокочастотный ток, протекающий по индукционной катушке на магнитном кольце или стержне. Электромагнит и индукционная катушка создают газовый разряд в высокочастотном электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора.

Достоинством ламп ДРЛ является: срок службы 60-150 тыс.час. т.е. >5 лет, светоотдача 80-160 лм/Вт, низкая температура нагрева лампы, КПД ~90%, индекс цветопередачи Ra>80, температура нагрева лампы 40°-60°, изменения яркости от 30 до 100%, экологичность. К недостаткам: высокая стоимость.

В ходе экономического сравнения определили, что стоимость ламп ДРЛ – 3 у.е., светодиодной – 633 у.е., индукционной – 216 у.е. Среднее время работы лампы ДРЛ – 10 часов; светодиодной – 100 часов, индукционная – 150 часов. Эксплуатационные расходы ламп ДРЛ – 189 у.е. в год, светодиодной – 152 у.е. в год, индукционной – 133 у.е. в год.

Как видим - минимальные эксплуатационные расходы у индукционной лампы, немного больше у светодиодной лампы. По общим затратам за 10 лет использование индукционного светильника наиболее выгодно, общие затраты минимальны из всех рассматриваемых светильников. Ключевым моментом при выборе является также то, что начальная стоимость индукционного светильника намного ниже, чем светодиодного. Единственным достоинством светильников с лампами ДРЛ является их относительно низкая стоимость, однако общие затраты при использовании индукционных ламп становятся ниже, чем при использовании ламп ДРЛ всего через 2,5 года, а при использовании светодиодных светильников – через 6,5 лет.

Таким образом, применение индукционных и светодиодных светильников в промышленности целесообразно, а наиболее приемлемым вариантом, по техническим и экономическим параметрам является индукционный светильник.

УДК 621.311.6.03

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СОВРЕМЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Лещёв С. А.

Научный руководитель – Колосова И.В.

Если верить Правилам приборного учета электрической энергии в Республике Беларусь, АСКУЭ (автоматизированная система контроля и учета электроэнергии) - система технических и программных средств для автоматизированного дистанционного измерения, сбора, передачи, хранения, накопления, обработки, анализа, отображения и документирования результатов потребления электроэнергии в территориально распределенных точках учета, расположенных на объектах энергоснабжающей организации и (или) потребителей.

Попытки создания АСКУЭ связаны с появлением микропроцессорных устройств, однако дороговизна последних делала системы учета доступными только крупным промышленным предприятиям. Разработку АСКУЭ вели целые НИИ.

Решение задачи предполагало оснащение индукционных счетчиков электрической энергии датчиками оборотов; создание устройств, способных вести подсчет поступающих импульсов и передавать полученный результат в ЭВМ; накопление в ЭВМ результатов подсчета и формирование отчетных документов.

Первые системы учета были крайне дорогими, ненадежными и малоинформативными комплексами, но они позволили сформировать базу для создания автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии следующих поколений.

Переломным этапом в развитии АСКУЭ стало появление персональных компьютеров и создание электронных электросчётчиков. Ещё больший импульс развитию систем автоматизированного учёта придало повсеместное внедрение сотовой связи, что позволило создать беспроводные системы, так как вопрос организации каналов связи являлся одним из основных в данном направлении.

Для организации современной системы АСКУЭ необходимо в точках учёта энергии установить высокоточные средства учёта - электронные счётчики, цифровые сигналы передать в так называемые «сумматоры», снабженные памятью, создать систему связи (как правило, последнее время для этого используют GSM – связь), обеспечивающую дальнейшую передачу информации в местные (на предприятии) и на верхние уровни, затем организовать и оснастить центры обработки информации современными компьютерами и программным обеспечением.

Много линий связи к устройствам сбора и передачи данных (УСПД) не нужно. Достаточно поставить разветвитель приблизительно к месту установки счетчиков и подключить их к УСПД. Устройство сбора и передачи данных в свою очередь можно подсоединить к GSM модему для передачи данных через спутниковую связь на такой же GSM модем расположенный в центре обработки данных. Это облегчит передачу и обслуживание передающей сети. Далее информация обрабатывается и передается в вышестоящие инстанции. Для того чтобы избежать отказов модема, можно резервно использовать GPS приемник либо модем.

Эффект от внедрения АСКУЭ составляет до 30% экономии энергоресурсов и финансовых расходов. Система позволяет контролировать энергопотребление по всем объектам учёта и видам электроэнергии. Она сигнализирует о выходе контролируемой величины за допустимые пределы и оценивает величину отклонения.

АСКУЭ может автоматически отключать потребителей от сети или, наоборот, подключать. Она поддерживает во всей системе единое время. По запросу оператора система выведет на печать любые параметры. В настоящее время практически на всех крупных предприятиях страны наблюдаются значительные административные, структурные и технические изменения, связанные с прогрессом в области

информационно-сетевых и энергоресурсосберегающих технологий с вложением значительных средств в техническое перевооружение предприятий. При этом АСКУЭ предусматривает:

- переход предприятий на многотарифное обслуживание, что, как правило, сопровождается, значительным снижением объемов платежей за электроэнергию (на 10-25%),
- возможностью организации оптовых закупок электрической энергии по более низким тарифам.

Эффективная эксплуатация АСКУЭ позволяет уменьшить очень важный для любого промышленного предприятия показатель - удельную энергоёмкость. Снижение этого показателя за счет установки такой системы связано с решением задач покупки энергии по более низкой цене с одной стороны и совершенствования управления электропотреблением внутри предприятия с другой.

Подобная система окажется немного дороже, но последующая выгода будет очевидна. Система поможет организовать централизованный учет расхода электроэнергии на множестве объектов с передачей данных в Центр сбора информации, нормализовать отношения поставщиков и потребителей электроэнергии, продлить срок службы технологического оборудования за счет оптимизации режимов, повысить дисциплину и эффективность работы аварийных служб, обеспечить реализацию энергосберегающих технологий.

В последнее время с увеличением стоимости энергоресурсов и развитием оптового рынка электроэнергии у руководителей промышленных предприятий резко возрос интерес к внедрению Автоматизированных Информационно-Измерительных Систем Коммерческого Учета Энергии (АИИС КУЭ), обеспечивающих проведение расчётов за электроэнергию. И это оправдано. Ведь такая система позволит непосредственно использовать результаты замеров для финансовых расчётов и исключить все ручные операции в АСКУЭ. Именно за такой системой автоматизированного контроля и учета электроэнергии будущее любого современного промышленного предприятия.

УДК 621.311.6.03

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Горновский И.Ю., Кульчинский Н.Н.  
Научный руководитель – Колосова И.В.

Целью данной работы было создание программы по автоматическому расчету систем внешнего электроснабжения промышленного предприятия. Энергетика характеризуется работой с большими объемами информации. Ее основной особенностью является постоянное обновление во времени. К таким данным можно отнести параметры, а также режимы работы энергетического оборудования, технологических процессов, электрических и т.д. Информация об электропотреблении позволяет оценить качество и оптимальность проекта систем электроснабжения и точность применяемой методики определения расчетных нагрузок, осуществить прогноз максимальной мощности на заданный период.

Программа может выполнять расчет электрических нагрузок предприятия, строить и исследовать графики нагрузок. В ближайшем будущем планируется расширить функциональные возможности программы путем программных дополнений: прогнозирования нагрузок методом Байеса, расчета потерь мощности и энергии, параметров качества напряжения и т.д.

Электрические нагрузки определяются приближенным методом коэффициента спроса ( $k_c$ ), коэффициента реактивной мощности ( $tg\varphi$ ) и установленной мощности  $P_n$  [1]. При расчетах электроснабжения используются характерные суточные (рабочего и выходного дня) и годовые графики нагрузок. Эти графики показывают характер изменения нагрузок во времени, свойственный предприятию данной отрасли промышленности, т.е. типовой суточный график нагрузки. Типовой график, как правило, представляется в процентах по отношению к максимальной нагрузке. С помощью программы пересчитывается типовой график в именованных единицах (МВт), принимая  $P_p = 100\%$ . Данные расчеты являются основными для последующего выбора мощности трансформаторных подстанций и т.д.

Метод Байеса позволяет произвести прогнозирование заявляемой мощности за определённый период, с использованием в качестве исходных данных серии ежесуточных замеров максимальной получасовой мощности в течение 6-ти и более кварталов. Алгоритм прогноза мощности условно разделён на три этапа. В течение указанного времени ежесуточно вводится в базу данных максимальная получасовая мощность и при предварительном прогнозе путем расчета получаем заявляемую максимальную мощность.

Расчет параметров качества напряжения планируется реализовывать при помощи статистических методов оценки качества напряжения, таких как закон нормального распределения случайной величины [2].

На начальном этапе проектирования было решено реализовывать данный проект при помощи web языков программирования и верстки, а именно:

- HTML;
- CSS;
- JavaScript;
- Библиотека JQuery;
- Библиотека JQuery UI;
- Библиотека HighCharts.js.

Мы выбрали HTML5 по нескольким причинам: доступность из любой точки мира благодаря интернету; кроссплатформенность (любое устройство с поддержкой HTML и JavaScript); малый объем данных (с подключением библиотек удаленно – 40



кБ); отсутствие баз данных, требований к площадке размещения; работоспособность без установки дополнительного программного обеспечения.

#### **Литература**

1. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок.- М.: Энергоатомиздат, 1989.-528с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике.- Л.: Энергоатомиздат, 1990.-208с.
3. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1985.-640с.

УДК 621.3

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Мархель О.Л., Писарук Т.В.

Научный руководитель – Козловская В.Б., к.т.н., доцент

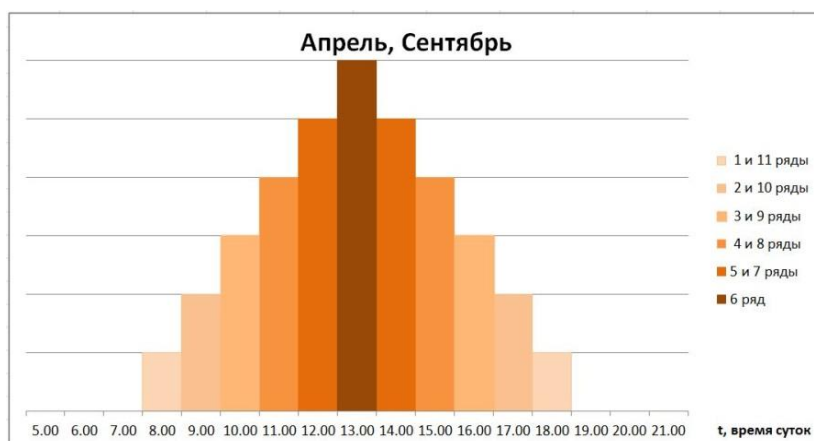
Одной из наиболее значимых проблем нашего времени является проблема экономии электрической энергии, что, по большей части, связано с истощением невозобновляемых источников энергии. На данный момент существует два способа решения этой задачи: поиск альтернативных источников энергии или путей снижения потребления. Последний способ является более простым с точки зрения практической реализации и, тем не менее, довольно эффективным.

Наиболее распространенными способами снижения расхода электроэнергии на освещение являются: использование более экономичных ламп, использование регуляторов яркости освещения, рациональная цветовая отделка помещений, увеличение количества источников естественного освещения, регулярная очистка стекол и светильников и т.п.

Рассмотрим подробнее возможность экономии электроэнергии за счет управления освещением с использованием датчиков освещенности. Принцип действия этих датчиков заключается в том, что они измеряют действующее значение освещенности и, в зависимости от этого, формируют выходное напряжение, т.е. осуществляют контроль над наружной освещенностью и регулируют работу осветительной установки.

Для оценки возможной экономии электроэнергии при использовании датчиков можно рассмотреть различные варианты работы осветительной установки цеха промышленного предприятия с размерами  $200 \times 80 \times 6$  м. Светотехнический расчет выполняется в соответствии с [1]. В результате проведенных расчетов получим, что для освещения заданного промышленного помещения необходимо 11 рядов светильников по 125 в каждом. Тип светильников примем ЛСП10-2 $\times$ 58-ЛБ58-Д-IP65  $\eta = 84\%$ . В каждом светильнике находится по 2 лампы со световым потоком 5200 лм.

Освещение цеха также происходит за счет естественного света. Принимая во внимание динамику уровня естественного освещения в период рабочего дня в зависимости от месяца и времени суток, а также опираясь на данные календаря восходов и заходов солнца, можем приблизительно разделить весь календарный год на пары по два месяца со схожей продолжительностью светового дня. Исходя из этого,



составим гистограммы зависимости количества работающих рядов светильников от времени суток, а также зависимости времени работы рядов светильников от их расположения. На рис. 1 и 2 представлены такие зависимости на примере месяцев апрель, сентябрь.

Рисунок 1. Зависимость количества работающих рядов светильников от времени суток для месяцев: апрель, сентябрь



Рисунок 2. Зависимость времени работы рядов светильников от времени суток для месяцев: апрель, сентябрь

Используя данный метод последовательного отключения рядов светильников определим годовой расход электрической энергии на освещение помещения промышленного предприятия:

$$W_{\text{год}} = 1,2 \cdot T_{\text{год}} \cdot n_{\text{св}} \cdot P_{\text{св}} \cdot N_R,$$

где  $T_{\text{год}}$  - годовое число часов работы всех светильников, ч;

$P_{\text{св}}$  - номинальная мощность одной лампы, Вт.

Чтобы наглядно показать эффективность использования предложенного выше метода, можем, для сравнения, определить годовой расход электроэнергии на освещение по общему выражению [1]:

$$W_{\text{го}} = P_{\text{ро}} \cdot T_{\text{max о}},$$

где  $P_{\text{ро}}$  - расчетная активная нагрузка освещения, кВт;

$T_{\text{max о}}$  - годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки, ч.

С иной точки зрения, годовой расход электроэнергии можем также определить, принимая во внимание тот факт, что включение и выключение светильников осуществляется персоналом в зависимости от субъективного восприятия наружной освещенности:

$$W_{\text{год1}} = 1,2 \cdot T_{\text{год1}} \cdot n_{\text{св}} \cdot P_{\text{св}} \cdot N_R,$$

где  $T_{\text{год1}}$  - годовое число часов работы всех светильников при включении/выключении их персоналом, ч.

Если использовать предложенный метод последовательного отключения рядов светильников в соответствии с продолжительностью светового дня, то придем к результату, что для освещения условного помещения на протяжении года было затрачено 513,0912МВт·ч, во втором же случае расход составляет 561,600МВт·ч. Для сравнения также было посчитано количество потребляемой энергии при бесконтрольном отключении рядов светильников. Полученные энергозатраты составили 575,2266МВт·ч.

Таким образом, сэкономленная энергия составляет 62,1354МВт·ч, что при тарифе на электроэнергию для предприятий в 14 центов за киловатт, или 1194,62 белорусских рублей, составляет 74 228 192 бел. руб.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод о том, что предложенная методика расчета расхода электроэнергии, учитывающая время работы рядов светильников в каждом периоде года, является эффективной и актуальной, а применение датчиков освещенности, лежащее в основе данного метода, позволяет значительно снизить расход электрической энергии на освещение.

Техническое исполнение данной системы светорегулирования предлагается реализовать двумя способами: используя систему регулирования автоматическим освещением в виде шкафа управления и 6 датчиков освещенности, либо систему фотореле освещенности ФРО-03, которую производит компания «Максима Электроникс». Данная система предназначена для автоматического включения электрических источников освещения (лампы, прожекторы и тому подобное) при наступлении условий недостаточной видимости. Работает по радиоканалу, не требует прокладки проводов.

Датчик освещенности крепится в место, где он будет освещаться солнечным светом, и при достижении определенного порога – посылать сигнал на включение/выключение исполнительному устройству. Применяется для поддержки постоянного освещения в помещениях (например, в цехах, офисах и т.п. с целью экономии электроэнергии). Датчик реагирует на достижение достаточного освещения (утром освещение искусственное, далее солнце достаточно освещает помещение) и дает команду на выключение искусственных источников света. При наступлении условий недостаточной видимости (тучи, сумерки и т.п.) - включает лампы либо другие источники света. Эталон освещенности заложен программно. При желании его можно изменить несложным программированием. Предлагается также брелок - пульт радиоуправления исполнительным устройством. Имеет приоритет перед датчиком освещения, т.е. фонарь, выключенный брелоком, датчик уже не включит и наоборот.

К одному датчику либо брелоку можно подключить несколько исполнительных устройств. Одно исполнительное устройство может коммутировать нагрузку на реле до 3 Ампер, и запоминать до 14 датчиков освещенности и брелоков.

Стоимостные показатели системы:

Название	Цена, рос.руб	Цена, бел.руб.	Количество оборудования	Суммарная стоимость, бел.руб.
Датчик беспроводной	750	205 500	6	1 233 000
Исполнительное устройство	1250	342 500	1	342 500
Брелок	750	205 500	1	205 500
Итого:				1 781 000

Таким образом, можно сделать вывод, что использование данной системы управления освещением позволяет экономить значительные средства.

### Литература

1. Электрическое освещение : учебник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Техноперспектива, 2011. – 543 с., [12] л. цв. ил.

УДК 621.311

## ВЫБОР ЧИСЛА ВКЛЮЧЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Карчевская В.Р.

Научный руководитель – Прокопенко Л.В.

Известно, что изменение числа включенных трансформаторов на подстанциях является одним из мероприятий по снижению потерь мощности и энергии в электрических сетях. Это мероприятие достаточно широко применяется, поскольку при его реализации не требуется дополнительных капитальных вложений.

Величина граничной мощности, при которой целесообразно переходить от  $n$  работающих трансформаторов к  $n-1$ , определяется по известному выражению

$$S_{Г} = S_{Н} \sqrt{\frac{n(n-1)\Delta P_{С}}{\Delta P_{М}}} \quad (1)$$

где  $S_{Н}$  – номинальная мощность трансформаторов подстанции;

$\Delta P_{С}$  – потери активной мощности в стали трансформатора (потери холостого хода);

$\Delta P_{М}$  – потери активной мощности в меди (нагрузочные потери).

Выражение (1) применяется для случая, когда на подстанции установлены одинаковые по всем паспортным параметрам трансформаторы.

Вывод выражения (1) сделан в предположении, что рабочее напряжение сети совпадает с номинальным напряжением трансформаторов.

В реальных условиях эксплуатации электрических сетей промышленных предприятий рабочее напряжение может существенно отличаться от номинальных напряжений трансформаторов.

Например, при отклонении рабочего напряжения по отношению к номинальному напряжению трансформаторов на  $a\%$ , потери в стали трансформатора рассчитываются по выражению

$$\Delta P_{С} = \Delta P_{СНОМ} \left(1 \pm \frac{a}{100}\right)^2$$

а потери в меди

$$\Delta P_{М} = \frac{\Delta P_{МНОМ}}{\left(1 \pm \frac{a}{100}\right)^2}$$

С учетом этого выражение для расчета граничной мощности будет иметь вид:

$$S_{Г} = S_{Н} \left(1 \pm \frac{a}{100}\right)^2 \sqrt{\frac{n(n-1)\Delta P_{С}}{\Delta P_{М}}} \quad (2)$$

Если рабочее напряжение на трансформаторах превышает их номинальное, то величина  $a$  имеет знак «плюс», в противном случае – «минус».

Например, на подстанции установлены два трансформатора ТМГ11-1000/10-У1 с одинаковыми параметрами. Величина граничной мощности будет равна:

а) при неучете отклонения рабочего напряжения  $S_{Г} = 509$  кВ;

б) при отклонении  $a=+5\%$   $S_{Г} = 561$  кВ;

в) при отклонении  $a=-5\%$   $S_{Г} = 460$  кВ.

Результаты расчетов показывают, что при отклонении рабочего напряжения на трансформаторах на +5% и при нулевом регулировочном ответвлении значение граничной мощности подстанции, при которой целесообразно перейти от двух работающих трансформаторов к одному будет примерно на 10% больше, чем рассчитанное без учета отклонения напряжения сети, т.е. с учетом действительного напряжения сети в ряде случаев задача по расчету граничной мощности будет существенно уточнена, на 10% и более.

УДК 621.3.072.8

## ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЗАМЕНЫ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Воробей В. В.

Научный руководитель - Радкевич В.Н., к. т. н., доцент

Уменьшения расхода электроэнергии на нерегулируемый электропривод производственных механизмов можно достичь заменой малонагруженных электродвигателей.

Известно, что КПД электродвигателя

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_1},$$

где  $P_1$  – активная мощность, потребляемая двигателем из сети;  $\Delta P_{\Sigma}$  – суммарные потери мощности в двигателе,

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{пост} + \Delta P_{пер},$$

где  $\Delta P_{пост}$  и  $\Delta P_{пер}$  – соответственно постоянные и переменные потери мощности в двигателе.

К постоянным потерям мощности относятся магнитные потери в стали электродвигателя, а также механические потери на трение в подшипниках и вентиляцию. Потери в стали зависят от магнитной индукции, частоты перемагничивания и не зависят от нагрузки [1]:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{ст(ном)} \cdot B_*^2 \cdot f_*^{1,3},$$

где  $\Delta P_{ст(ном)}$  – потери в стали при номинальной индукции и частоте;  $B_*$  и  $f_*$  – соответственно магнитная индукция и частота тока в относительных единицах по отношению к номинальным.

Переменные потери мощности пропорциональны квадрату тока нагрузки двигателя и включают в себя электрические потери в обмотках статора и ротора.

С учетом сказанного можно записать выражение для КПД электродвигателя в следующем виде:

$$\eta = \frac{P_{полезн}}{P_{потреб}} = \frac{P_{ном} \cdot k_{нг}}{P_1} = \frac{P_{ном} \cdot k_{нг}}{P_{ном} \cdot k_{нг} + \Delta P_{пост} + \Delta P_{пер} \cdot k_{нг}^2},$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность электродвигателя;  $k_{нг}$  – коэффициент нагрузки двигателя,

$$k_{нг} = P_{раб} / P_{ном},$$

где  $P_{раб}$  – средняя мощность, развиваемая двигателем в соответствии с потребностями механизма.

Таким образом, КПД электродвигателя существенно зависит от нагрузки на валу. Очевидно, что при работе с неполной нагрузкой КПД двигателя снижается. Типовые кривые зависимости КПД и коэффициента мощности асинхронного электродвигателя от нагрузки, выраженной в относительных единицах, представлены на рисунке 1.

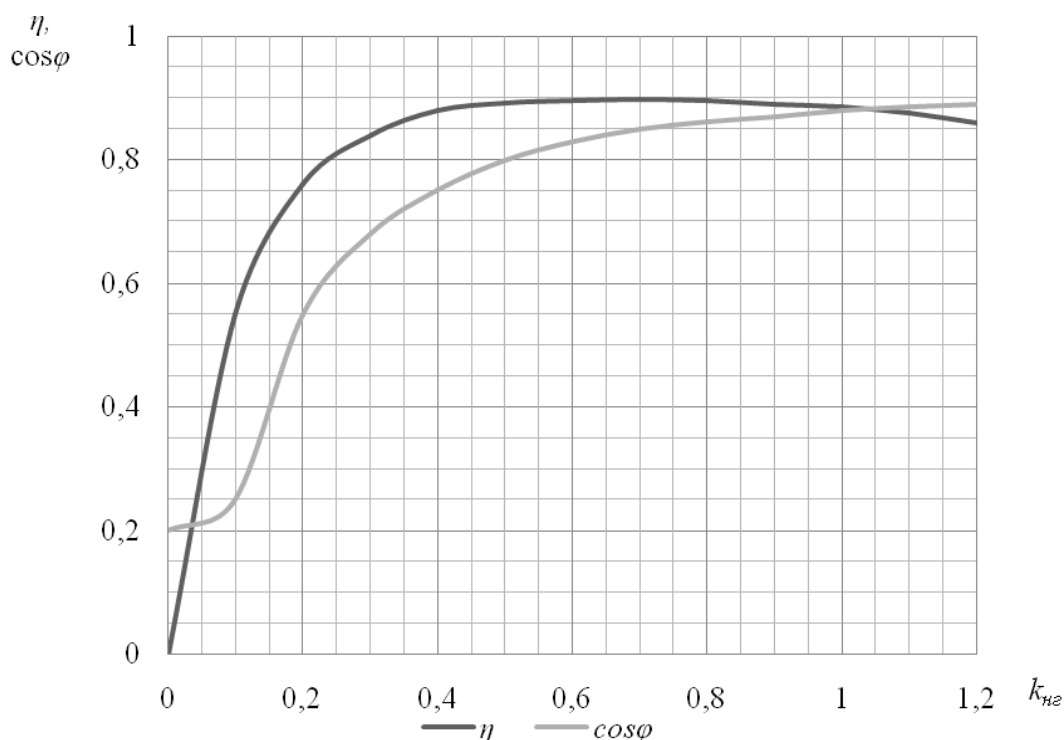


Рисунок 1 – Типовые зависимости КПД и  $\cos\varphi$  асинхронного двигателя от нагрузки

Из рисунка 1 видно, что максимальный КПД у асинхронных электродвигателей достигается при относительных нагрузках 0,6–0,85 и при дальнейшем их увеличении до номинальных значений остается практически неизменным. Использование же электродвигателей завышенной номинальной мощности приводит к снижению технико-экономических показателей их работы, росту капитальных вложений и эксплуатационных расходов. Однако многочисленные обследования промышленных предприятий показывают, что большинство установленных электродвигателей работает при относительных нагрузках, не превышающих 0,4–0,6. Часто коэффициенты нагрузки имеют значения 0,2–0,3. При этом КПД электродвигателя снижается на 2–6%, а  $\cos\varphi$  – на 20–25%, что приводит к увеличению потерь и расхода электроэнергии. Следовательно, для обеспечения рационального электропотребления необходимо, чтобы асинхронные электродвигатели были загружены в соответствии с их номинальной мощностью.

В то же время, замена всех недогруженных электродвигателей нерациональна с экономической точки зрения. Такая замена однозначно целесообразна, когда средняя нагрузка двигателя составляет менее 40% номинальной мощности. В остальных случаях целесообразность замены электродвигателей должна подтверждаться технико-экономическими расчетами. При этом следует учитывать, что чем ниже номинальная мощность электродвигателя, тем меньше номинальные значения КПД и коэффициента мощности. Кроме того, необходимо помнить, что значительного экономического эффекта можно достичь за счет перестановки малонагруженных электродвигателей при относительно небольших затратах.

Для решения этой трудоемкой задачи разработана компьютерная программа, которая позволяет оценить возможный эффект (снижение потерь мощности и расхода электроэнергии) от замены малонагруженного асинхронного электродвигателя электродвигателем меньшей мощности. В качестве исходных данных программа требует ввода каталожных параметров заменяемого электродвигателя, коэффициента нагрузки и каталожных параметров нового электродвигателя.

Основные возможности программы рассмотрим на примере асинхронного двигателя типа 4A180S4Y3 номинальной мощностью 22 кВт.



Программа позволяет выделить постоянные и переменные потери мощности из состава суммарных потерь, что дает возможность построить зависимости потерь мощности в электродвигателе от коэффициента его нагрузки. На рисунке 2 представлены эти зависимости для рассматриваемого асинхронного двигателя типа 4А180S4У3.

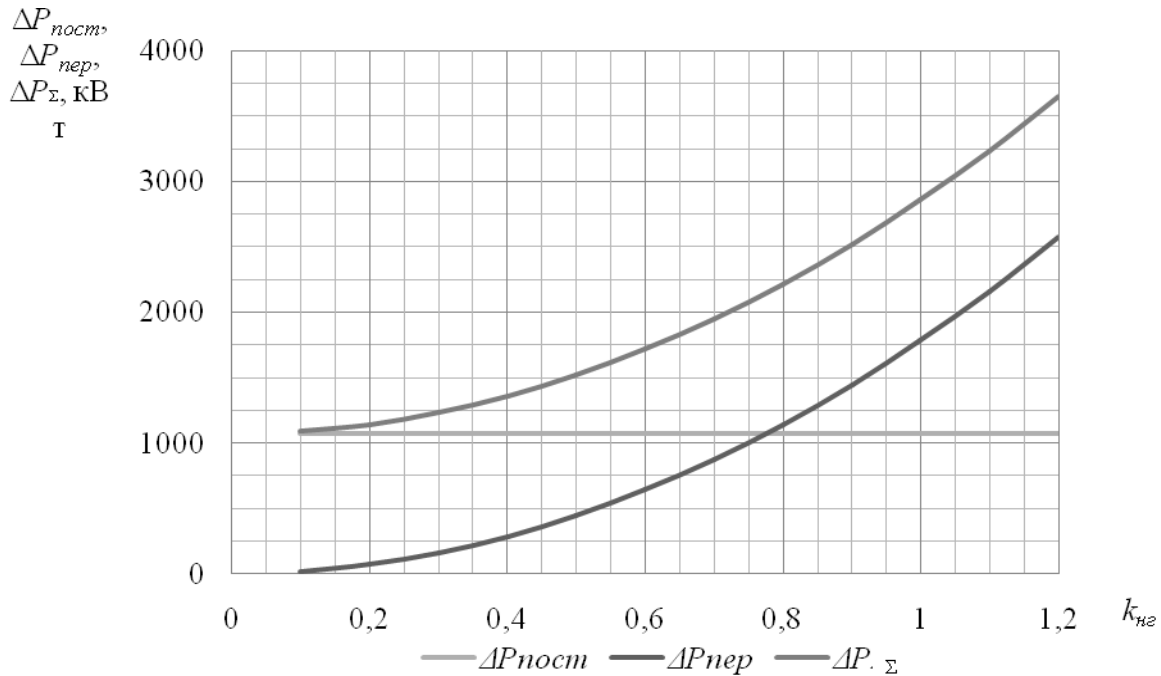


Рисунок 2 – Зависимости постоянных, переменных и суммарных потерь мощности от коэффициента нагрузки для асинхронного электродвигателя типа 4А180S4У3

Значения потерь мощности в электродвигателе, как отмечалось ранее, зависят не только от коэффициента нагрузки, но и от параметров питающей сети. При определении постоянных и переменных потерь мощности программой учитываются фактические значения напряжения и частоты тока питающей сети. Таким образом, разработанная программа может быть использована также и для оценки влияния отклонений напряжения и частоты от номинальных значений на величину потерь мощности в электродвигателе.

Асинхронные двигатели серии 4А рассчитаны на напряжение 380 В. В соответствии ГОСТом 13109-97, нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения на зажимах электроприемников находятся в пределах  $\pm 5\%$  номинального напряжения сети. Следовательно, при номинальном напряжении сети 400 В напряжение на зажимах электро-двигателя в нормальном режиме должно находиться в пределах от 380 В до 420 В. Зависимости суммарных потерь мощности от коэффициента нагрузки при данных напряжения для асинхронного двигателя типа 4А180S4У3 отражены на рисунке 3.

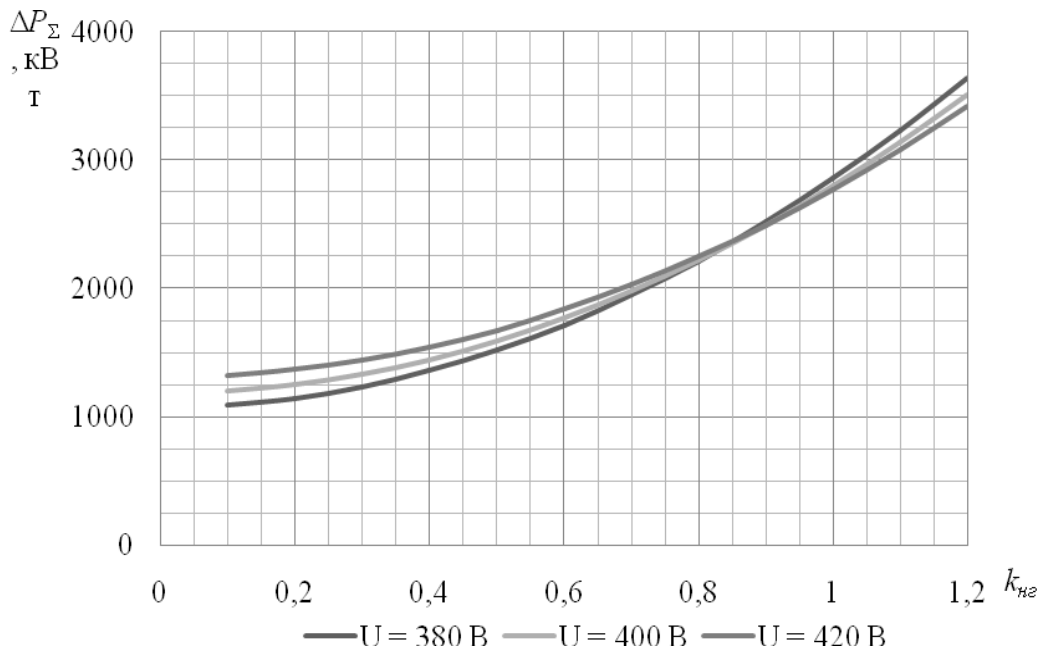


Рисунок 3 – Зависимости суммарных потерь мощности от коэффициента нагрузки для асинхронного электродвигателя типа 4A180S4Y3 при отклонениях напряжения на его зажимах от номинального значения

Из рисунка 3 видно, что повышение напряжения на 5% приводит к существенному (до 10%) увеличению суммарных потерь мощности в малонагруженных электродвигателях. Это объясняется тем, что при малых нагрузках потери в стали во много раз превышают величину нагрузочных потерь (рисунок 2). В этом случае повышение напряжение приводит к значительно меньшему снижению нагрузочных потерь по сравнению с ростом потерь в стали.

### Заключение

Замена малонагруженных асинхронных электродвигателей способствует повышению коэффициента мощности и позволяет снизить расход электроэнергии на нерегулируемый электропривод производственных механизмов. Такая замена однозначно целесообразна, когда средняя нагрузка составляет менее 40% номинальной мощности электродвигателя. В остальных случаях целесообразность замены должна подтверждаться технико-экономическими расчетами, поскольку стоимость электродвигателей велика и зачастую не окупается за счет снижения потерь мощности и электроэнергии. Также необходимо учитывать возможность снижения расхода электроэнергии за счет перестановки малонагруженных электродвигателей, что позволяет получить значительный экономический эффект при относительно небольших затратах. Таким образом, какой бы ни была относительная нагрузка электродвигателя, необходимо проводить анализ целесообразности его замены двигателем меньшей мощности. Помочь в этом может разработанная программа.

### Литература

1. Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд, перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.