УДК 621.31

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В РАМКАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО КРУЖКА «ЭНЕРГОАУДИТОР»

Семёнов А.С.

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
Политехнический институт (филиал), Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru*

Данная статья посвящена исследованиям, проводимым в рамках деятельности студенческого научного кружка «Энергоаудитор». Автором (руководителем студенческого научного кружка) были проанализированы результаты измерений, проделанные членами студенческого научного кружка во второй половине 2018 г. во время прохождения производственной практики и научно-исследовательской работы. Исследованию подлежали значения электромагнитных и электростатических полей; освещенность в учебных помещениях; нагрев коммутационной аппаратуры учебного корпуса; показатели качества электрической энергии учебно-лабораторного корпуса. Представлен список основных членов кружка, занимающихся научными исследованиями и их публикации. Сформулирована цель исследования и выбраны объекты. Подробно описаны методы и средства исследования, включающие в себя современные измерители и анализаторы для проведения энергоаудита. Для всех видов измерений приведены государственные стандарты, нормы и правила, регламентирующие методику и анализ результатов измерения. В результате проделанной работы было выявлено следующее: в исследуемых зонах уровни электростатического и электромагнитного полей не превышают норму; выявлены проблемы с естественным освещением в некоторых учебных кабинетах; температура нагрева коммутационной аппаратуры не превышает критичных для оборудования значений; выявлено соответствие качества электрической энергии учебно-лабораторного корпуса необходимым требованиям. Сделаны заключения о целесообразности продолжения деятельности студенческого научного кружка «Энергоаудитор» и поставлены новые направления научных исследований.

Ключевые слова: студенческий научный кружок, измерения, энергоаудит, освещенность, коммутационная аппаратура, тепловизор, контроль качества электроэнергии, электробезопасность

ANALYSIS OF THE RESULTS OF ELECTROMAGNETIC, THERMAL AND OPTICAL MEASUREMENTS IN THE FRAMEWORK OF THE ACTIVITIES OF THE STUDENT SCIENTIFIC CIRCLE «ENERGY AUDITOR»

Semenov A.S.

*Polytechnic Institute (branch) North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Mirny,
e-mail: sash-alex@yandex.ru*

This article is devoted to research conducted in the framework of the activities of the student scientific circle «Energy Auditor». The author (the head of the student scientific circle) analyzed the results of measurements performed by members of the student scientific circle in the second half of 2018 during the internship and research work. Values of electromagnetic and electrostatic fields were studied; illumination in educational premises; heating switching equipment of the educational building; indicators of the quality of electrical energy of the educational and laboratory building. A list of the main members of the group engaged in scientific research and their publication. Formulated the purpose of the study and selected objects. The methods and means of research are described in detail, including modern gauges and analyzers for energy audit. For all types of measurements are given the rules, norms and rules governing the methodology and analysis of measurement results. As a result of the work done, the following was revealed: in the studied zones, the levels of electrostatic and electromagnetic fields do not exceed the norm; identified problems with natural light in some classrooms; heating temperature of switching equipment does not exceed critical for equipment values; The quality of electricity in the teaching and laboratory building fully complies with the requirements. Conclusions were made about the feasibility of continuing the activities of the student energy group «Energy Auditor» and new research directions were put.

Keywords: student scientific circle, measurements, energy audit, illumination, switching equipment, thermal imager, power quality control, electrical safety

Студенческий научный кружок (СНК) «Энергоаудитор» был создан на базе кафедры «Электроснабжение и электромеханика» Политехнического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Мирном в 2010 г., но свою активную работу (научную и публикационную) он начал с 2016 г. Это связано как с появлением нового на-

учно-исследовательского оборудования на кафедре и переездом в новый учебно-лабораторный корпус, так и с реализацией государственной поддержки талантливой молодежи [1], возможностью получения повышенных государственных академических стипендий по видам деятельности и очного участия во всероссийских и международных научных мероприятиях.

В настоящее время членами СНК «Энергоаудитор» являются не только студенты вуза, но и школьники, студенты ссуза, аспиранты, молодые специалисты сторонних организаций. Председателем СНК является Г.А. Матул, зав. лаб. электрообеспечения и электробезопасности кафедры ЭиАПП МПТИ (ф) СВФУ. Костяк СНК состоит из студентов 3 курса направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» А.А. Горшунова, С.В. Кузьменко, Е.И. Сергеева, а также молодых специалистов Бондарева В.А., инженера-программиста МАП «АК «АЛРОСА» (ПАО), С.А. Загоило, преподавателя КСК АК «АЛРОСА» (ПАО), Я.С. Харитонов, начальника участка СТ «Алмазавтоматика» АК «АЛРОСА» (ПАО). Список самых значимых публикаций членов СНК за 2017–2018 гг. приведен в [2–4].

В настоящей статье будут проанализированы результаты электромагнитных, теплофизических и оптических измерений, проведенных членами СНК «Энергоаудитор» в период прохождения производственной практики и научно-исследовательской работы во второй половине 2018 г. Измерениям подлежали уровни электромагнитных и электростатических излучений от электроприборов в лабораториях и в районах ЛЭП 110–220 кВ; показатели освещенности в учебных помещениях при естественном, искусственном и комбинированном освещении; показатели температурных норм, а именно нагрева коммутационных аппаратов в распред. щитах; показатели качества электрической энергии в учебно-лабораторном корпусе. Целью исследования является выявление соответствия либо отклонений от норм действующих ГОСТов, СНИПов, ПБЭУ и т.д.

Материалы и методы исследования

В качестве основной методики исследования применялся инструментальный контроль. Анализ результатов осуществлялся либо с помощью входящих в комплект измерителей программного обеспечения, либо с помощью пакетов прикладных программ LabVIEW, MathCAD, MatLab [5]. Для измерения использовались следующие приборы и анализаторы: МЕГЕОН-07100 – измеритель уровня электромагнитного фона; ЭСПИ-301 – измеритель напряженности электростатического поля; ПИТОН-102 – инфракрасный пирометр; VOLTcraft VC-4in1 – универсальный многофункциональный измерительный прибор освещенности (люксметр), уровня шума (шумомер), термометр, гигрометр; SAT-G90-5 – тепловизор; ELSPEC G-4400 – анализатор показателей качества электроэнергии. Все приборы, для которых таковое предусмотрено, имеют свидетельства о прохождении поверки и занесены в государственный реестр средств измерения. Фактический вид измерителей и анализаторов приведен на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид используемых приборов

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования электромагнитных и электростатических полей

Электромагнитные воздействия на человека в настоящее время уже не редкость. Развитие инфраструктуры и современные технологии стали источником такой проблемы, как опасное биологическое воздействие электростатического и электромагнитного поля. В результате исследований выявлено, что максимальный ток, индуцируемый электростатическим полем, намного выше, чем ток, создаваемый электромагнитным полем. Проявление вредного воздействия магнитного поля возникает на расстоянии 1–1,5 м от проводов фазы линии электропередачи (ЛЭП) при напряженности близкой к 200 А/м, что бывает крайне редко. Поэтому именно электростатическое поле является главным действующим фактором протяженной ЛЭП.

В зависимости от продолжительности пребывания человека в электростатическом поле высоковольтных ЛЭП могут использоваться следующие нормативы [6]. Напряженность поля в кВ/м при допустимом времени пребывания в течение 8-часового рабочего дня приведена в табл. 1.

Таблица 1
Допустимое время пребывания

Напряженность, кВ/м	5	10	15	20–25	25
Время, ч	8	3	1,3	0,15	0

Согласно стандартной методике для измерения полей, которая предусматривает измерения на высоте 1,8 м от уровня земли, были проведены исследования напряженности электрического и магнитного полей по фасаду исследуемых зданий. Исследованиям подвергались здания, находящиеся возле размещения ЛЭП разных уровней напряжения (110–220 кВ). Используемый измеритель отображает среднеквадратическое значение напряженности электрического и электромагнитного полей промышленной частоты (50 Гц) (табл. 2).

Таблица 2

Напряженность полей

Напряженность ЭСП, В/м	1200	1700	1800	4000	5000	6000
Напряженность ЭМП, мкТл	0,011	0,034	0,055	0,062	0,369	0,638

В результате проведенных исследований получены зависимости, позволяющие определить величины напряженностей электрического и электромагнитного полей разного уровня напряжения ЛЭП при различных расстояниях. Во время исследований получены данные об электромагнитном воздействии на территории г. Мирный, из которых следует, что на высоте 1,8 м по фасадам зданий в местах провисания проводов вблизи жилых зон уровни электростатического и электромагнитного полей не превышают норму.

Исследования освещенности

При помощи органов зрения люди получают до 80% всей получаемой информации об окружающем мире. За счет света обеспечивается биоритм организма человека, ускоряются обменные функции и оказываются положительное влияние на эмоции. В свою очередь световое голодание может привести к уменьшению устойчивости организма вредным факторам, ухудшению дыхательных функций и ослаблению нервной системы. Также свет является важным фактором, оказывающим сильное воздействие на психику человека [7]. Корректно выбранное освещение может уменьшить количество случаев травматизма и повысить производительность труда вплоть до 15%. Соответственно, неправильно подобранное освещение может стать причиной различных заболеваний, таких как зрительное утомление, близорукость, аккомодация, спазм и др. [8].

В связи с вышеизложенным были проведены исследования освещенности учебных аудиторий на предмет соответствия нормам в учебно-лабораторном корпусе Политехнического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. В каждом кабинете были проведены замеры освещенности рабочего места студентов при помощи люксметра. Согласно методическим указаниям измерения проводились следующим образом:

1. Определение значения темнового сигнала E_{TC} .
2. Фиксирование данных освещенности в помещениях $E_{ИЗМ}$.
3. Определение значения истинной освещенности по формуле: $E_{ИСТИ} = E_{ИЗМ} - E_{TC}$.

4. Для нахождения коэффициента естественной освещенности (КЕО) замеры естественное освещение на улице $E_{НАР}$.

5. Нашли коэффициент освещенности по формуле $E = E_{БН} / E_{НАР} * 100\%$.

Согласно нормам и требованиям, описанным в [9], искусственное освещение при общем освещении должно превышать 0,4 клк, в то же время КЕО естественного освещения (при боковом освещении) не должен превышать 1,2%, а КЕО при комбинированном освещении не должен быть более 2,1%. Приведем анализ результатов измерений тех учебных помещений, где были выявлены несоответствия требованиям СНиП (рис. 2 и 3).

В результате анализа измерений были выявлены проблемы с естественным освещением в учебно-лабораторных кабинетах № 203, 204, 207, 211, 403, 407 и 411. Это может быть связано с тем, что из-за особенностей архитектуры учебно-лабораторного корпуса, данные помещения не получают достаточно солнечного света, поэтому рекомендуется использовать комбинированное освещение [10].

Исследования нагрева коммутационной аппаратуры

При проектировании схем электрооборудования особое внимание уделяют коммутационной и пускозащитной аппаратуре. Автоматические выключатели предназначены для оперативного включения и отключения низковольтных электрических сетей, а также для их защиты от короткого замыкания и перегруза. В отличие от плавких предохранителей автоматические выключатели имеют более точный ток отключения и могут быть использованы многократно. Во время работы электрооборудования возникают потери, которые преобразуются в теплоту, повышая температуру контактов и проводников. Повышенный нагрев ведет к преждевременной поломке оборудования.

При нагреве объекты выделяют свет в инфракрасном диапазоне, поэтому при помощи тепловизора можно производить тепловизионный контроль электрооборудования и обследование любой электроустановки без опасного прикосновения к токоведущим частям [11].

Рис. 2. Результаты измерения освещенности второго этажа

Рис. 3. Результаты измерения освещенности четвертого этажа

На рынке существует много разных конструкций автоматических выключателей (АВ) как для цепей переменного тока, так и для цепей постоянного тока. С недавнего времени широкое распространение приобрели малогабаритные автоматы, предназначенные для защиты от коротких замыканий и токовых перегрузок на токи до 50 А и напряжением 380 В. В таких выключателях основным защитным средством являются биметаллические или электромагнитные элементы, которые срабатывают в результате нагревания при определенной задержке времени. АВ с присутствием электромагнитных элементов обладают очень большим быстродействием. Этот фактор очень важен при коротких замыканиях. Во время протекания номинального тока система работает нормально. Как только ток начинает превышать некое установленное допустимое значение, последовательно включенный в цепь электромагнитный элемент преодолевает усилие сдерживающей пружины и втягивает якорь, после чего, провернувшись через ось, защелка освобождает рычаг. Тогда отключающая пружина размыкает силовой контакт. Такой автомат повторно включается вручную [12].

Исследования проводились тепловизором с расстояния 1 м. Солнечный свет при

этом не должен попадать на исследуемый объект, а замер температуры следует производить при выключенном свете. Исследование оборудования производилось с помощью режима FULL IR, при котором участки с разными температурами выделяются разными оттенками. Результаты измерения в виде инфракрасных снимков представлены на рис. 4, а анализ численных результатов измерения сведен в табл. 3.

В ходе исследования коммутационной аппаратуры не было выявлено критичных для оборудования температур в щитах на всех этажах учебно-лабораторного корпуса, что свидетельствует о правильном выборе и качественном монтаже электрооборудования.

Исследования показателей качества электрической энергии

Качество электрической энергии характеризуют термином «электромагнитная совместимость» (ЭМС), под которым понимают способность электрического приёмника нормально функционировать в его электромагнитной среде (в электрической сети, к которой он присоединен), не создавая недопустимых электромагнитных помех для других электрических приёмников, функционирующих в той же среде [13, 14].

Рис. 4. Инфракрасные снимки коммутационных аппаратов

Таблица 3

Результаты исследования коммутационной аппаратуры, °C

№ АВ № ЩС	QF1	QF2	QF3	QF4	QF5	QF6	QF7	QF8
ЩС-1	48,1	43,4	44,6	39,8	38,1	38,4	38,4	38,3
ЩС-2	40,0	38,1	42,2	40,8	39,1	38,3	38,5	38,2
ЩС-3	38,7	38,8	38,2	38,3	38,7	38,4	38,4	38,3
ЩС-4	40,6	39,8	41,2	40,1	39,9	38,8	39,1	38,8
ЩС-5	38,1	38,3	39,0	39,4	38,7	38,7	38,6	38,2
ЩС-6	40,6	38,9	42,1	40,4	39,7	39,9	38,5	38,2
ЩС-7	40,1	38,3	40,6	39,8	38,1	38,2	38,1	38,1
ЩС-8	38,1	38,4	39,0	38,7	39,1	38,5	38,3	38,6
ЩС-9	40,1	40,4	39,6	39,8	40,1	39,8	39,7	39,8
ЩС-10	41,3	39,1	41,6	40,3	39,7	39,7	38,9	39,6

Показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц устанавливает ГОСТ 32144-2013 [15]. Согласно ему нормируются следующие показатели КЭ: отклонение частоты; медленные изменения напряжения; колебания напряжения и фликер; несинусоидальность напряжения; несимметрия напряжений в трехфазных системах; напряжения сигналов, передаваемых по электрическим сетям; прерывания напряжения;

провалы напряжения и перенапряжения; импульсные напряжения.

Фактический вид анализатора и его подключения к ноутбуку посредством LAN приведен на рис. 5.

Методика исследования заключается в инструментальном контроле показателей качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013 в течение 7 суток с 10-минутным интервалом. Детальному исследованию и анализу подлежат уровни напряжений и их отклонения, а также коэффициенты гармонических составляющих напряжения. Контроль проводился с помощью анализатора качества электрической энер-

гии типа Elspec G4410 BlackBox на вводом электрическом щите одной из лабораторий.

После анализа результатов контроля качества электроэнергии можно заключить, что в целом соответствие качества электроэнергии выполняется. Показатели, характеризующие продолжительные изменения

напряжения, полностью соответствуют требованиям ГОСТ 32144-2013. Показатели, характеризующие случайные события, несмотря на ряд провалов напряжения, также соответствуют требованиям, так как время несоответствия за весь период измерений составляет 1,9% при допустимых 5% (рис. 6).

Рис. 5. Анализатор качества электрической энергии в работе

ELSPEC G4410 BLACKBOX						
МРТИ-1						
Данные Энергия Контроль Настройки						
КЗ ■ Контроль » Детали PQZip Выкл.						
Подробная информация о контроле Вкл						
	Состояние	Наблюдение	Окно	Время соотв	Время неиств	Всего записей
	Частично		Интервал	Время несоотв		
Частота Напряжения	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 sec	0.0000 %		
Флуктуации Напряжения	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 min	0.0000 %		
Быстрые Перепады Напряжения	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		3 sec	0.0000 %		
Падения Энергоснабжения	OK	Полно	1 week	98.100 %	0.0000 %	2
	OK		10 ms	1.9005 %		
Короткие Перебои	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 ms	0.0000 %		
Долгие Перебои	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 ms	0.0000 %		
Временное Перенапряжение	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 ms	0.0000 %		
Фликер Напряжения	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 min	0.0000 %		
Гармоники Напряжения	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 min	0.0000 %		
Не Сбалансированные Напряжения	OK	Полно	1 week	100.000 %	0.0000 %	0
	OK		10 min	0.0000 %		

Рис. 6. Детали данных при контроле качества электроэнергии

Завершая анализ, можно отметить, что качество электрической энергии учебно-лабораторного корпуса соответствует ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ).

Заключение

В ходе проделанной работы были проанализированы результаты деятельности членов студенческого научного кружка «Энергоаудитор», а именно: исследованы значения электромагнитных и электростатических полей; исследована освещенность в учебных помещениях; исследован нагрев коммутационной аппаратуры учебного корпуса; исследованы показатели качества электрической энергии учебно-лабораторного корпуса. Анализ дал следующие результаты: в исследуемых зонах уровни электростатического и электромагнитного полей не превышают норму; выявлены проблемы с естественным освещением в некоторых учебных кабинетах; температура нагрева коммутационной аппаратуры не превышает критичных для оборудования значений; качество электроэнергии в учебно-лабораторном корпусе полностью соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013. Дальнейшие исследования и анализ их результатов в рамках деятельности СНК «Энергоаудитор» будут продолжены в направлениях электробезопасности (контроль сопротивления изоляции), неразрушающего контроля (проверка конструкций и сооружений на трещиноватость) и контроля качества электроэнергии на промышленных предприятиях.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 6 апреля 2006 года № 325 «О мерах государственной поддержки талантливой молодежи» (в ред. Указов Президента РФ от 29.02.2008 № 283, от 09.11.2010 № 1413, от 25.06.2012 № 892, от 25.07.2014 № 530), 2006. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/6198652/> (дата обращения: 14.04.2019).
2. Semenov A.S., Khubieva V.M., Kharitonov Y.S. Mathematical Modeling of Static and Dynamic Modes DC Motors in Software Package MATLAB. International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501666.
3. Матул Г.А., Семёнов А.С. Анализ аппаратных и программных решений в программируемых логических контроллерах ведущих мировых производителей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 7. С. 32–36. DOI: 10.17513/mjpf.12325.
4. Семёнов А.С., Бондарев В.А., Заголило С.А. Контроль качества электроэнергии и анализ полученных результатов при измерении напряжения // Фундаментальные исследования. 2017. № 9–1. С. 86–92. DOI: 10.17513/fr.41709.
5. Семёнов А.С., Якушев И.А., Егоров А.Н. Математическое моделирование технических систем в среде MATLAB // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 8. С. 56–64. DOI: 10.17513/snt.36780.
6. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 23.02.1984 № 2971-84). [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/sanitarnye-normy-i-pravila-zashchity-naseleniya-ot> (дата обращения: 14.04.2019).
7. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике. М.: Знак, 2006. 972 с.
8. Щербаков С.Ю., Куденко В.Б., Аксеновский А.В., Криволапов И.П., Тимофеева В.С. Экспериментальные исследования освещенности и коэффициентов пульсации при использовании люминесцентных ламп и ламп накаливания. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2016. С. 106–110.
9. СНиП 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 6 апреля 2003 г.). [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901859404> (дата обращения: 14.04.2019).
10. Заголило С.А. Анализ показателей освещенности в учебных помещениях // Студенческий научный форум 2016: материалы VIII Международной студенческой электронной научной конференции [Электронный ресурс]. URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016025685> (дата обращения: 14.04.2019).
11. Матул Г.А., Бебихов Ю.В. Роль тепловизионного обследования при планировании капитального ремонта зданий и сооружений // Геонауки: проблемы, достижения и перспективы развития: материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции. 2018. С. 342–346.
12. Сибикин Ю.Д. Справочник электромонтажника: учебное пособие для учреждений нач. проф. образования. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2013. 416 с.
13. Тульский В.Н., Карташев И.И., Симуткин М.Г., Назиров Х.Б., Кузнецов Н.М. Управление качеством электроэнергии в электрических сетях // Горный журнал. 2012. № 12. С. 52–55.
14. Заголило С.А., Бондарев В.А. Анализ результатов измерений напряжения при контроле качества электроэнергии // Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире: сборник докладов VIII всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2017. С. 117–123.
15. ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2014. 16 с.