

На правах рукописи



ДРЕМИН Алексей Игоревич

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ГИГИЕНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ РАБОТАХ НА
ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТАХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

3.2.4. Медицина труда

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель: **Перов Сергей Юрьевич**
доктор биологических наук

Официальные оппоненты: **Терёхин Георгий Анатольевич**
доктор медицинских наук, профессор /
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой экстремальной медицины и товароведения

Чуян Елена Николаевна
доктор биологических наук, профессор /
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», заведующая кафедрой физиологии человека и животных и биофизики Института биохимических технологий, экологии и фармации

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации «Институт медико-биологических проблем» Российской академии наук

Защита состоится «23» ноября 2026 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.1.176.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» Минобрнауки по адресу: 105275, г. Москва, проспект Буденного, 31.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «НИИ МТ» по адресу: 105275, г. Москва, проспект Буденного, 31 и на официальном сайте организации – <https://irioh.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.176.01
доктор биологических наук, профессор

Рубцова Нина Борисовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Сохранение здоровья трудоспособного населения России при воздействии вредных и опасных факторов производственной среды является актуальной проблемой в условиях научно-технического прогресса и приоритетных направлений развития страны. Электроэнергетика на сегодняшний день является одной из ведущих отраслей экономики Российской Федерации, а повсеместное расширение сферы применения электроэнергии приводит к увеличению количества высоковольтных электроустановок и численности обслуживающего их персонала. Ведущими производственными факторами для электротехнического персонала, осуществляющего эксплуатацию и ремонт электроустановок высокого и сверхвысокого напряжения, таких как открытые распределительные устройства (ОРУ), являются электрическое (ЭП) и магнитное поля (МП) промышленной частоты (ПЧ).

Согласно литературным данным, производственные воздействия ЭП и МП ПЧ с уровнями, превышающими предельно допустимые (ПДУ), являются фактором риска нарушений сердечно-сосудистой системы (гипертоническая болезнь, ишемическая болезнь сердца, инфаркт миокарда, раннее начало атеросклероза и др.), нервной системы, опорно-двигательного аппарата и развития нейродегенеративных заболеваний.

Обеспечение сохранения здоровья электротехнического персонала достигается соблюдением ПДУ ЭП и МП ПЧ, регламентированных санитарно-гигиеническими нормативами. При превышении ПДУ ограничивается время работы персонала, расстояние до токоведущих частей и/или применяются коллективные и/или индивидуальные средства защиты (СИЗ).

При эксплуатации высоковольтных установок на рабочих местах отмечается превышение ПДУ ЭП ПЧ. Одним из оптимальных способов сохранения здоровья работников, профессионально связанных с воздействием ЭП ПЧ, является применение экранирующих СИЗ типа Эп. Однако методика оценки эффективности СИЗ от ЭП ПЧ за более чем 30-тилетний период остается

неизменной и проводится исключительно по величине ослабления ЭП ПЧ внутри СИЗ, а оценка степени снижения возможных негативных эффектов на отдельные органы и системы организма человека не рассматривается.

Основное время выполнения работ электротехническим персоналом, как правило, приходится на теплое время года, что обуславливает преимущественную эксплуатацию СИЗ от ЭП ПЧ в летний период. Отличительной особенностью комплекта СИЗ от ЭП ПЧ является соединение всех элементов комплекта в единый электрический контур (по типу клетки Фарадея). За счет электропроводящих свойств материалов и электрического соединения элементов СИЗ приобретает экранирующие свойства, выражающиеся в ослаблении уровня внешнего ЭП ПЧ в пододежном пространстве. Однако эксплуатация защитных экранирующих комплектов при выполнении работ в условиях нагревающей среды сопровождается дополнительной нагрузкой на организм работника, обусловленной их большим весом (наличие электропроводящих нитей) и высоким процентом изоляции поверхности тела от окружающей среды, а также большей теплоизоляцией комплекта, чем это предусмотрено для иной спецодежды. Поэтому целесообразно обеспечивать не только эффективность защиты от ведущего фактора производственной среды, но и учитывать вклад СИЗ в общую термическую нагрузку.

Исследования по изучению влияния СИЗ типа Эп на функциональное состояние организма человека, выполняющего физическую работу в условиях нагревающей среды, являются основой для разработки мероприятий по защите от перегрева при эксплуатации СИЗ, а именно, регламентации труда и отдыха, которая является важнейшим способом защиты при работе на открытой территории в летний период года.

Цель исследования – на основании гигиенических, дозиметрических и экспериментальных исследований научно обосновать совершенствование гигиенических требований при работах на электросетевых объектах сверхвысокого напряжения.

Задачи исследования:

1. Провести гигиеническую оценку уровней ЭП и МП ПЧ и климатических условий на рабочих местах отдельных групп персонала электросетевых объектов высокого и сверхвысокого напряжения.
2. Провести физиолого-гигиеническую оценку теплового состояния организма добровольцев при использовании СИЗ от ЭП ПЧ в условиях нагревающего микроклимата на электросетевых объектах высокого и сверхвысокого напряжения.
3. Провести исследование эффективности СИЗ от воздействия ЭП ПЧ в лабораторных условиях и на электросетевых объектах.
4. Разработать математические модели условий экспозиции ЭП ПЧ для оценки плотности тока в фантомах животных.
5. Провести экспериментальное изучение биологических эффектов ЭП ПЧ при применении экранирующих материалов СИЗ на лабораторных животных.
6. Разработать рекомендации по режимам труда и отдыха при выполнении работ с использованием СИЗ и учетом тепловой нагрузки среды на электросетевых объектах сверхвысокого напряжения.

Научная новизна и теоретическая значимость исследования. Научная новизна исследований состоит в учете сочетанного действия ведущих факторов производственной среды и трудового процесса на состояние здоровья электротехнического персонала при использовании СИЗ от ЭП ПЧ в теплый период года на открытой территории.

Впервые выполненное экспериментальное подострое исследование с применением экранирующих материалов на лабораторных животных, моделирующее эксплуатацию средств индивидуальной защиты электротехнического персонала, позволило оценить биологическую эффективность снижения уровней ЭП ПЧ.

Физиолого-гигиеническая оценка теплового состояния организма добровольцев на объектах электроэнергетики дала возможность обосновать

регламенты труда и отдыха электротехнического персонала при применении СИЗ в условиях нагревающей среды.

Практическая значимость исследования.

Материалы исследования легли в основу разработки:

Изменение №1 ГОСТ 12.4.172-2019 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты. Комплекты индивидуальные экранирующие. Общие технические требования. Методы испытаний»;

Изменение №1 ГОСТ 12.4.283-2019 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты и поражения электрическим током. Комплекты индивидуальные шунтирующие экранирующие. Общие технические требования. Методы испытаний».

Методология и методы исследования. Ключевыми методами при выполнении данного исследования являлись теоретические и эмпирические методы исследований. Теоретическая часть включала математическое моделирование и дозиметрическую оценку. К числу эмпирических относились: измерения и гигиеническая оценка уровней ЭП и МП ПЧ, гигиеническая оценка климатических параметров, лабораторные экспериментальные исследования, а также исследования на объектах электроэнергетики. Определение защитных свойств СИЗ проводилось по двум показателям: величине напряженности ЭП ПЧ внутри комплекта и силе стекающего наведенного электрического тока. Оценка теплового состояния добровольцев проводилась по интегральному показателю теплового состояния человека. Обработка результатов включала методы статистической обработки данных с применением современного программного обеспечения.

Основные положения, выносимые на защиту:

Обеспечение снижения неблагоприятного влияния ЭП ПЧ на электротехнический персонал объектов электроэнергетики напряжением 220-750 кВ при использовании экранирующих СИЗ в условиях повышенных температур

окружающей среды ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) обуславливает необходимость регламентации труда и отдыха с перерывом не менее 20 минут в течение каждого часа работы, что подтверждено результатами исследований в лабораторных и производственных условиях.

Ослабление ЭП ПЧ при применении экранирующего материала типового комплекта Эп обеспечивает снижение плотности наведенных токов в теле лабораторных животных, что подтверждено результатами численной дозиметрии и отсутствием достоверных различий изменений резистентности мембран эритроцитов и отдельных показателей системы крови в подостром эксперименте. Тогда как при превышении ПДУ ЭП ПЧ (2-10 раз) отмечались достоверные изменения тех же показателей при увеличении плотности наведенных токов.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Достоверность результатов проведенных исследований подтверждается достаточным объемом исследований, применением современных гигиенических, дозиметрических и экспериментальных методов исследования, использованием объективных методов оценки защитных свойств СИЗ в условиях производственных воздействий, актуальных методов статистической обработки данных с определением статистически достоверных параметров.

Основные положения диссертационной работы обсуждались на XVII Всероссийской (IX международной) научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2022» (Иваново, 2022), Международной научной конференции «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск, 2022, 2023, 2024, 2025), Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием «Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях» (Саратов, 2022), 4-ом Международном Молодежном Форуме «Профессия и Здоровье» (Светлогорск, 2022), Международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда» (Минск, 2022, 2023, 2024, 2025), Всероссийской научно-практической конференции с

международным участием «Профилактическая медицина-2023» (Санкт-Петербург, 2023), Всероссийской научной конференции с Международным участием «Медицина труда: проблемы сохранения профессионального здоровья в России на рубеже первой и второй четверти XXI века» (Санкт-Петербург, 2024), Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Экология и здоровье населения» (Ангарск, 2023, о. Ольхон, п. Хужир, 2025).

Личный вклад автора. Автор принимал участие в формулировке цели и задач, постановке, планировании, обосновании методологии и методов исследований, в создании математических моделей, проведении экспериментальных исследований, сборе и анализе данных, обработке и анализе результатов, подготовке публикаций. Участие автора в разработке – 85%, проведении исследований – 95%, обработке и анализе результатов – 95%.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 20 научных работах, из которых 7 статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень международных реферативных баз данных и систем цитирования ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 3 из которых опубликованы в журналах по направлению 3.2.4. Медицина труда.

Связь работы с научными программами. Диссертационная работы выполнена в рамках тем научно-исследовательских работ ФГБНУ «НИИ МТ»:

- НИР № FGFE-2022-0002 «Изучение биологического действия и научное обоснование совершенствования гигиенического нормирования и контроля электромагнитных полей современных систем связи и коммуникаций»;
- НИР № FGFE-2025-0003 «Научное обоснование совершенствования критериев обеспечения сохранения здоровья человека при воздействии электромагнитных полей, создаваемых инновационными источниками, в условиях технологического развития Российской Федерации».

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, выводов, списка литературы и 1 приложения. Работа изложена на 140 с., содержит 31 рисунок и 10 таблиц.

Список литературы содержит 162 источника, из них 55 отечественных и 107 зарубежных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, раскрыта научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обзор отечественных и зарубежных работ, посвященных теме диссертации. Анализируются механизмы биологического действия ЭП и МП ПЧ, их влияние на организм человека и экспериментальных животных, основные аспекты контроля уровней напряженности ЭП и МП ПЧ и принципов защиты работников в целях сохранения здоровья электротехнического персонала электросетевых объектов высокого и сверхвысокого напряжения. Сделан вывод о недостаточной проработанности гигиенической оценки ЭП и МП ПЧ на рабочих местах и определения эффективности защиты от ЭП ПЧ.

Во **второй главе** представлена постановка, объем и методы исследований (рисунок 1). Измерения и гигиеническая оценка ЭП и МП ПЧ осуществлялась на наземных рабочих местах электротехнического персонала на ОРУ напряжением 220, 330, 500 и 750 кВ с использованием измерителей ПЗ-50 (ЗАО «ТАНО», Россия) и EFA-300 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Германия). Объем исследований составил 12960 измерений ЭП ПЧ в 2160 точках.

Математическое моделирование условий экспозиции экспериментального исследования на животных выполнялось в среде трехмерного моделирования Sim4Life v.9.0 (SPEAG AG, Швейцария), расчет численных моделей осуществлялся методом конечных разностей в частотной области. В разработке математических моделей использовались гетерогенные фантомы крыс Sprague Dawley (IT'IS Foundation, Швейцария).

Исследования эффективности защитных свойств СИЗ выполнялись в лаборатории электромагнитных полей ФГБНУ «НИИ МТ» на высоковольтном

испытательном стенде переменного тока промышленной частоты и на электросетевом объекте (ОРУ 750 кВ) с использованием диэлектрического манекена с антропометрическими характеристиками взрослого человека. Общее количество данных по оценке экранирующих свойств СИЗ в натуральных и лабораторных условиях составило 144 измерения.

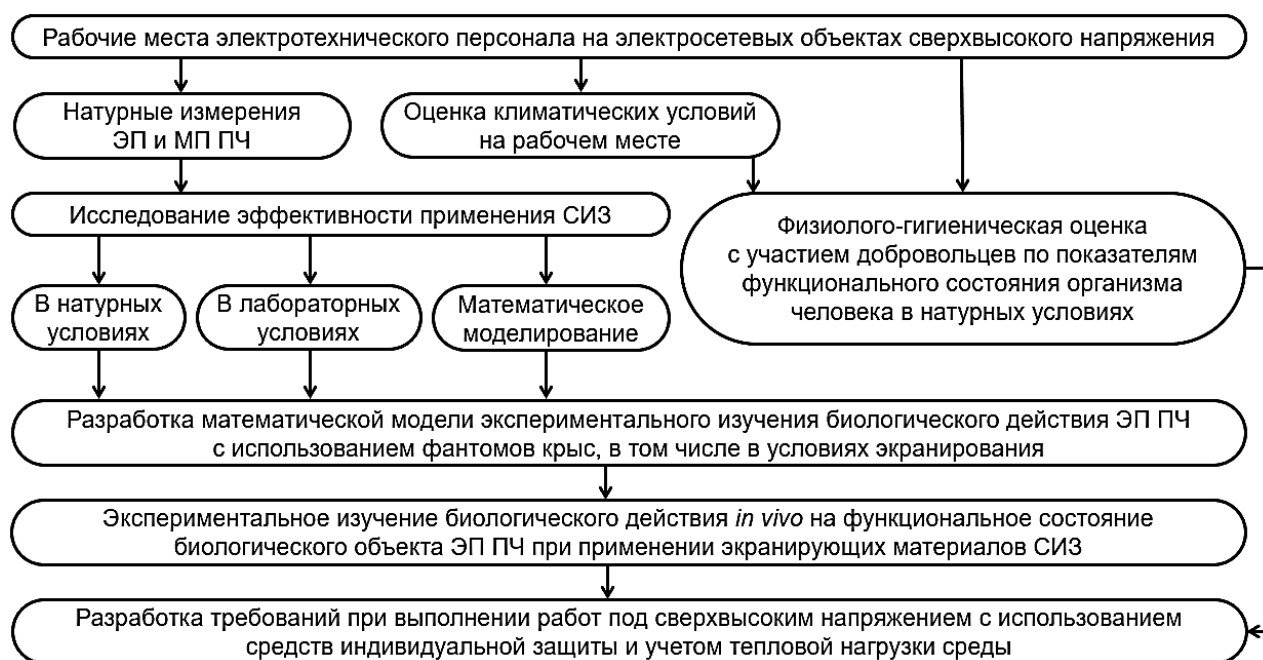


Рисунок 1 – Схема исследований

Физиолого-гигиеническое исследование теплового состояния организма человека при применении СИЗ было выполнено при участии 12 добровольцев в соответствии с МУК 4.3.1895-04. Климатические условия во время проведения исследования, такие как температура воздуха ($T_{\text{в}}$, °C), его относительная влажность ($R_{\text{Нв}}$, %), а также значения ТНС-индекса (°C) регистрировались термогигрометром ИВТМ-7 К (АО «ЭКСИС», г. Москва). Оценка теплового состояния добровольцев проводилась по интегральному показателю теплового состояния человека – изменению теплосодержания в организме (теплонакопление).

Работы выполнялись на территории двух объектов электроэнергетики в теплое время года (лето). Продолжительность исследования составляла 90 минут,

из которых 60 минут добровольцы выполняли регламентированную физическую работу и 30 минут находились в покое в тех же климатических условиях.

Экспериментальное изучение биологического действия ЭП ПЧ с применением экранирующих материалов проводилось на лабораторных беспородных белых крысах (36 особей – самцы массой 200 ± 10 г). Резистентная стойкость эритроцитов оценивалась по методу кислотных эритрограмм по Терскову-Гительзону в нашей модификации. Общий анализ крови, взятой в пробирки с антикоагулянтом (ЭДТА-К3), проводили на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus (URIT Electronic Group Co., Ltd, Китай).

Цитоморфологический состав костного мозга животных анализировался путем подсчета миелограммы в мазке, окрашенном по Паппенгейму, с использованием микроскопа Levenhuk MED 10 (Levenhuk Inc., США) по методике Е.А. Кост. Приготовление мазков костного мозга осуществлялось из свежевзятого (нативного) материала из проксимального отдела бедренной кости.

Статистическая обработка данных осуществлялась в программном пакете RStudio 4.1.2. с расчетом средних величин и их стандартной ошибки, медианы и интерквартильного размаха, с использованием критерия Шапиро-Уилка, дисперсионного анализа, критерия Краскела-Уоллиса и Стьюдента с поправкой Бонферрони.

В **третьей главе** представлены результаты собственных исследований. Анализ результатов гигиенической оценки ЭП ПЧ на электросетевых объектах напряжением 220-750 кВ (рисунок 2), показал, что уровни напряженности ЭП ПЧ, превышающие предельно допустимые, отмечались на территории ОРУ 220 кВ в 124 точках (17% от всей территории) с максимальным уровнем напряженности ЭП ПЧ – 17,8 кВ/м; на территории ОРУ 330 кВ – 80% от всей территории в 391 точке, максимальный уровень напряженности ЭП ПЧ – 14,4 кВ/м; на ОРУ 500 кВ – 57% всей территории в 366 точках, максимальный уровень напряженности ЭП ПЧ – 19,4 кВ/м; на ОРУ 750 кВ – 72% всей территории в 233 точках, максимальный уровень напряженности ЭП ПЧ – 27,9 кВ/м. В зонах

превышения ПДУ среднее значение напряженности ЭП ПЧ повышалось в соответствии с увеличением класса напряжения ОРУ, за исключением ОРУ 330 кВ, что было обусловлено габаритными размерами ячеек электроустановок: на ОРУ 220 кВ средний уровень достигал 12 кВ/м; на ОРУ 330 кВ – 6 кВ/м; на ОРУ 500 кВ – 12,25 кВ/м, а на ОРУ 750 кВ не более 15 кВ/м, причем на территории ОРУ 750 кВ отмечалось и превышение максимального ПДУ.

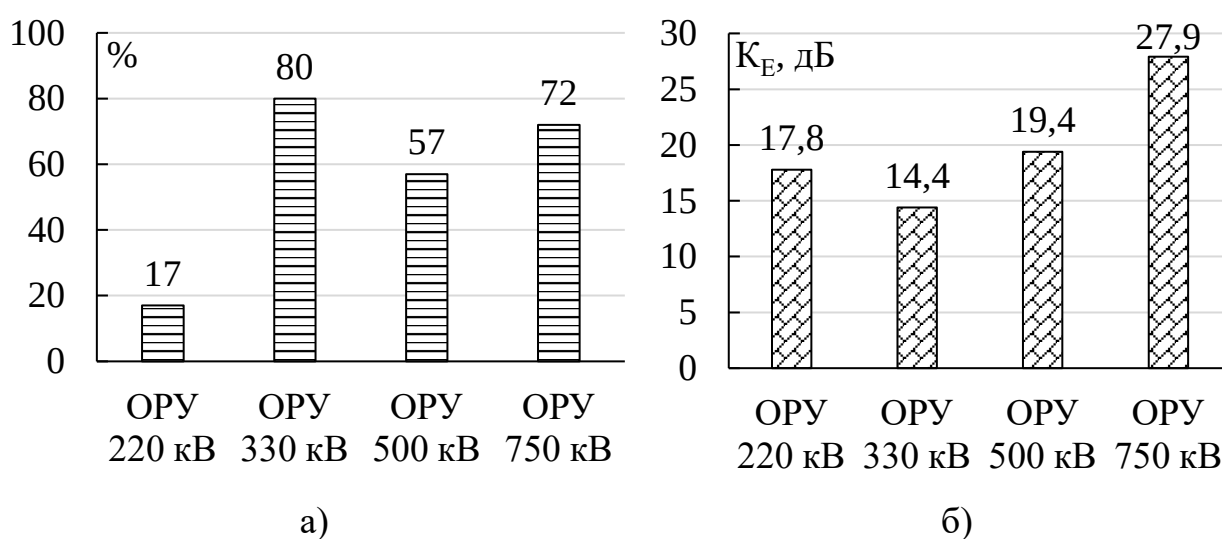


Рисунок 2 – Анализ уровней напряженности ЭП ПЧ на всех исследованных объектах электроэнергетики: а) процент превышения ПДУ; б) максимальные уровни напряженности ЭП ПЧ

Проведенная гигиеническая оценка уровней ЭП и МП ПЧ на ОРУ напряжением 220-750 кВ показала превышение ПДУ по напряженности ЭП ПЧ на всех исследуемых объектах в местах нахождения персонала, что обуславливает использование СИЗ. Превышений ПДУ по МП ПЧ зарегистрировано не было.

Проведенный в теплое время года на открытых территориях анализ динамики температуры и влажности пододежного пространства СИЗ указывает на то, что использование защитного экранирующего комплекта Эп-4(0) приводит к формированию замкнутого микроклимата под одеждой, характеризующегося повышением данных показателей в процессе работы.

По результатам физиолого-гигиенической оценки функционального состояния организма добровольцев при выполнении работ категории Па (113 Вт/м^2) при применении СИЗ от ЭП ПЧ в производственных условиях с ТНС-индексом $17,9 \pm 1,7^\circ\text{C}$ (допустимыми климатическими параметрами) отмечалось увеличение температуры кожи, не выходящее за пределы физиологически допустимых значений. Тогда как при выполнении тех же работ в условиях окружающей среды выше 30°C (ТНС-индекс $26,6 \pm 1,3^\circ\text{C}$) применение СИЗ вносило существенный вклад в тепловую нагрузку среды. При выполнении работ в климатических условиях, превышающих верхнюю границу допустимых значений, отмечалось достоверное повышение температуры и влажности пододежного пространства. Это приводило к росту влажности пододежного пространства и затруднению испарения пота, что снижало эффективность потоотделения и накоплению избыточного тепла в организме и, как следствие, повышению риска перегревания. Оценка динамики теплонакопления в организме добровольцев показала рост значения изменения теплосодержания $\Delta Q_{\text{тс}}$ на протяжении всего периода работы как на первом объекте, так и на втором (рисунок 3).

На электросетевом объекте при допустимых климатических параметрах полученные значения находились в пределах допустимых величин на всем протяжении исследования, тогда как на объекте с климатическими параметрами, превышающими верхнюю границу допустимых значений, уже на 10-ой минуте работы наблюдалось превышение допустимого значения $\Delta Q_{\text{тс}}$ ($2,60 \text{ кДж/кг}$), которое продолжало расти до 60-й минуты работы и достигало $3,96 \text{ кДж/кг}$, но не превышало верхнюю границу допустимого теплового состояния человека (4 кДж/кг), что соответствует предельно допустимым величинам этого показателя на период не более 3 часов за рабочую смену.

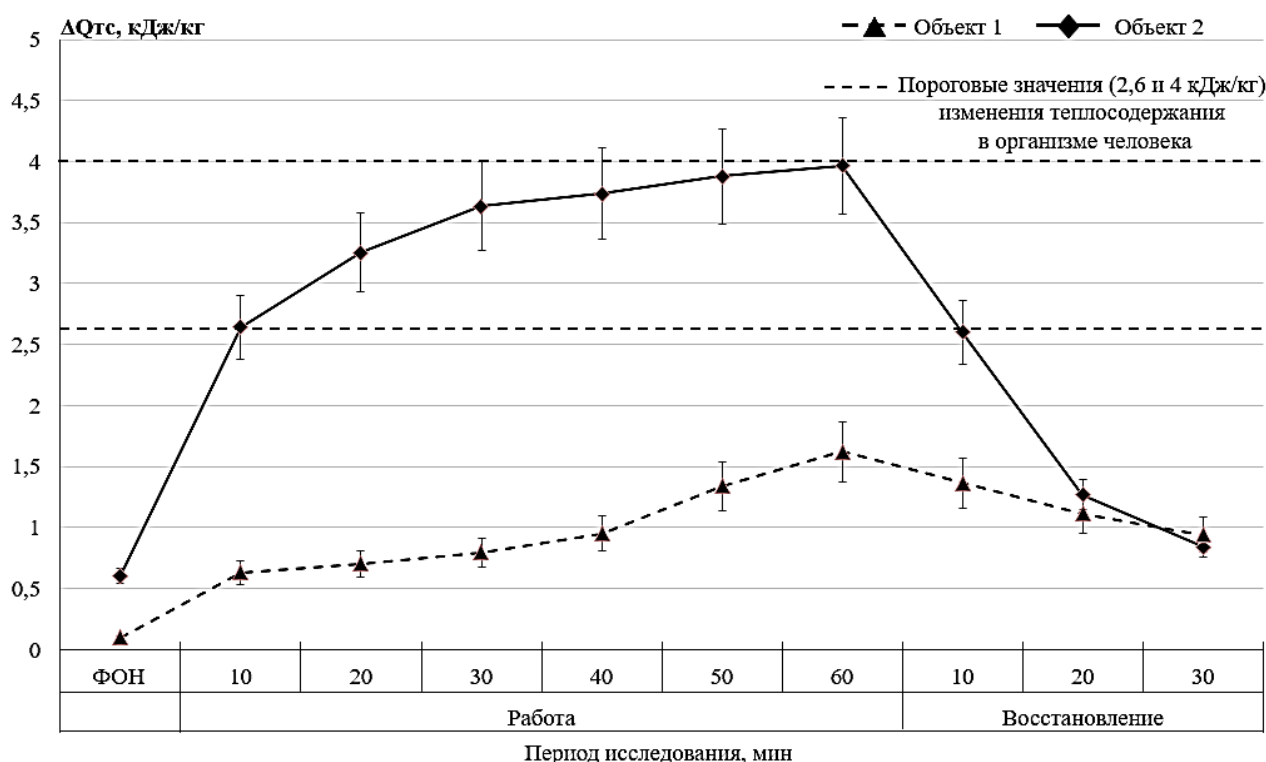


Рисунок 3 – Динамика изменения теплосодержания на протяжении всего периода исследований на двух объектах электроэнергетики

Оценка риска перегрева организма по усредненному значению показателя теплонакопления за период работы $3,52 \pm 0,50$ кДж/кг указывает на выраженное напряжение механизмов терморегуляции, которое может приводить к снижению работоспособности. Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют об ухудшении теплового состояния добровольцев, использующих СИЗ.

Исследование эффективности экранирования типовых СИЗ от ЭП ПЧ в лабораторных условиях показало более высокие значения коэффициента экранирования комплектов 84,7-71,8 дБ, чем на рабочем месте 68,8-61,5 дБ (таблица). Это обусловлено неоднородностью ЭП ПЧ в производственных условиях, поэтому в целях сохранения здоровья работников к защитным свойствам СИЗ типа Эп-4(0) научно обоснованы более строгие требования (коэффициент экранирования 60 дБ), которые вошли в утвержденный проект изменений ТР ТС 019/2011 (решение № 40 от 13.03.2026 г.).

Таблица – Результаты лабораторных и натурных исследований защитных свойств типовых экранирующих комплектов

Образец СИЗ	Коэффициент экранирования K_E , дБ	
	Лабораторные испытания	Натурные испытания
Эп-1 Комбинезон	71,8	61,5
Эп-4(0) Комбинезон	84,7	68,8
Эп-4(0) Куртка+Брюки	80,2	65,1

С помощью математического моделирования, в рамках планирования экспериментальных исследований на животных, была создана численная модель условий экспозиции животных для оценки величины плотности наведенного электрического тока в отдельных органах и тканях фантомов крыс.

В условиях неослабленного ЭП ПЧ напряженностью 50 кВ/м величина плотности наведенных токов достигала 9,27 мА/м² в желудке и 3,53 мА/м² селезенке, а при имитации экранирования ЭП ПЧ эти величины снижались до 0,09 и 0,04 мА/м² соответственно (рисунок 4). В крови, поджелудочной железе и сердце значения плотности наведенных токов без экранирования находились в диапазоне 1,26-1,34 мА/м². В остальных тканях и органах фантомов крыс значения не превышали 1 мА/м².

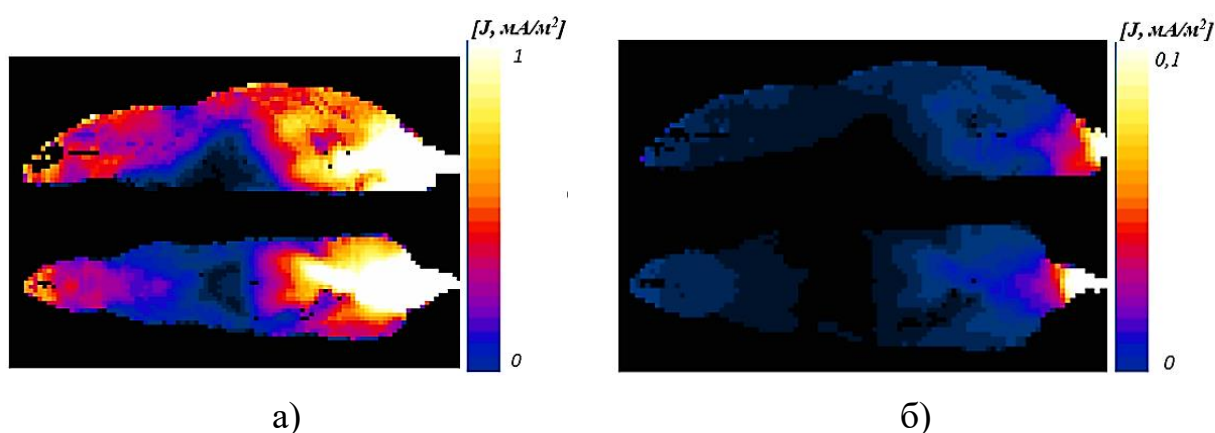


Рисунок 4 – Распределение плотности электрического тока в численных моделях лабораторных животных: а) без экранирования (50 кВ/м);
б) находящихся в условиях экранирования (100 В/м)

В условиях ослабления ЭП ПЧ (имитация экранирующего материала СИЗ до 80 дБ) отмечалось снижение плотности токов в органах и тканях моделей крыс: в мышечной и нервной тканях, в гипофизе, костном мозге экранированных крыс величина наведенных токов была на порядок меньше, чем у животных, подвергавшихся воздействию без имитации защиты. Снижение величины плотности наведенных токов в селезенке и крови фантомов животных при использовании экранирования достигало более двух порядков.

Для проведения экспериментального исследования на основе данных математического моделирования животные были распределены на 3 группы по 12 особей: истинная экспозиция – неослабленное ЭП ПЧ 50 кВ/м, истинная экспозиция в условиях экранирования и мнимая экспозиция (контрольная группа). Время облучения составило 4 часа в день, 5 дней в неделю в течение 4 недель.

Динамика гемолиза после 2 и 4 недель эксперимента представлена в виде кислотных эритрограмм на рисунках 4 и 5. Структура распределения эритроцитов по показателям резистентности мембран у крыс в группе истинной экспозиции характеризовалась достоверным снижением общего времени кислотного гемолиза (10,7%) относительно двух других групп после 2 и 4 недели воздействия. После 4-х недель эксперимента общее время гемолиза у групп мнимой и экранированной экспозиции незначительно увеличилось, а в группе истинной экспозиции наблюдалось достоверное снижение резистентности мембран эритроцитов.

Анализ гематологических показателей выявил колебательный характер изменений без статистически значимых различий в большинстве показателей. У животных экранированной и истинной экспозиции отмечались тенденции к снижению числа лейкоцитов, гранулоцитов и среднего содержания гемоглобина в эритроците, а также к повышению гемоглобина и гематокрита по сравнению с группой мнимой экспозиции. Однако на 4-й неделе истинной экспозиции отмечено достоверное увеличение числа эритроцитов (на 3,6%) и снижение лимфоцитов (на 20%) при тенденции к повышению содержания MID

(моноцитов, эозинофилов и базофилов), что свидетельствует о комплексной системной реакции кроветворной и иммунной систем.

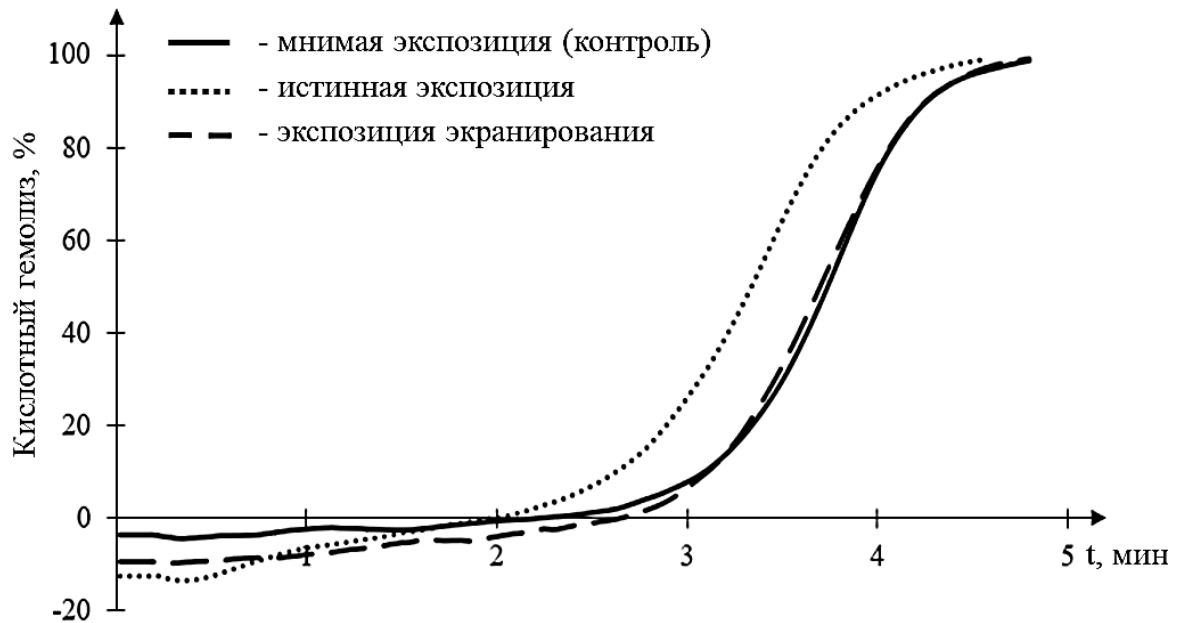


Рисунок 4 – Динамика кислотного гемолиза после 2 недель эксперимента

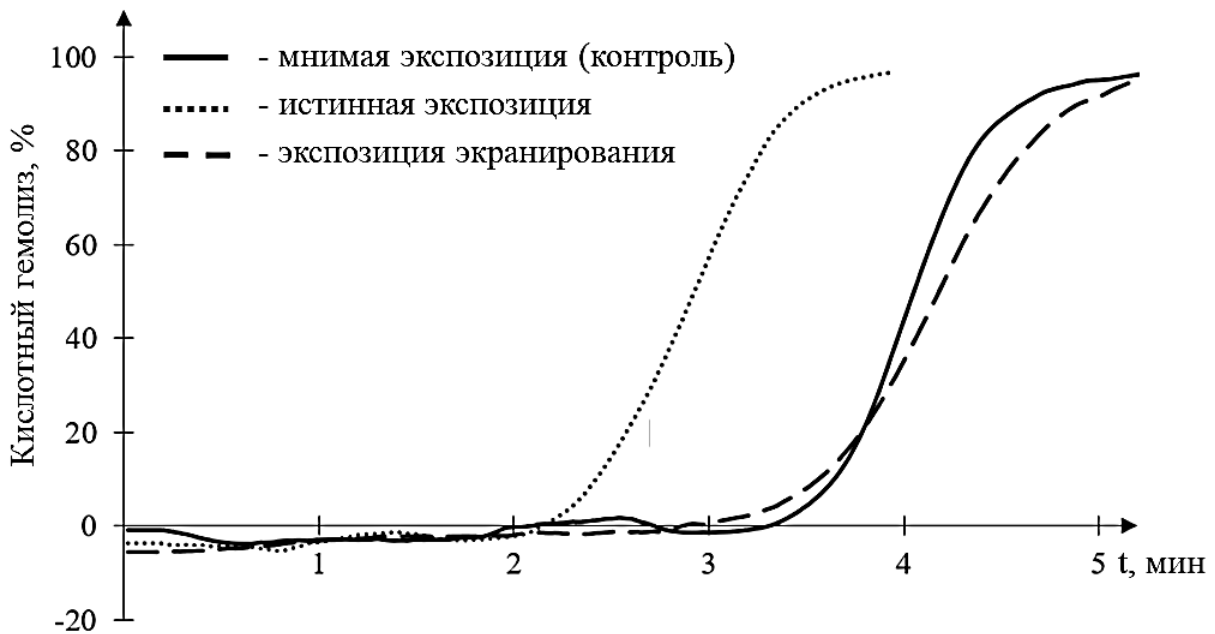


Рисунок 5 – Динамика кислотного гемолиза после 4 недель эксперимента

Полученные данные эритроцитарных показателей, включая тенденцию к повышению уровня эритроцитов, гемоглобина и гематокрита в отдельных группах, могут свидетельствовать о развитии адаптационно-компенсаторных

реакций, направленных на усиление газотранспортной функции крови, в условиях хронического функционального напряжения организма или гипоксических состояниях, и может усугубляться при выполнении работ с использованием СИЗ при температуре воздуха выше 30°C. При этом отсутствие выраженных сдвигов в среднем объеме эритроцитов указывает на сохранность качественных характеристик эритропоэза и отсутствие признаков макро- или микроцитарной анемии.

Результаты исследования пунктата костного мозга крыс выявили увеличение числа миелоцитов (5%), палочкоядерных нейтрофилов (6%) лейкоэритробластического отношения (18%) на фоне снижения содержания эозинофилов (5%), базофильных (11%) и оксифильных эритробластов (13%) у животных группы истинной экспозиции относительно других групп спустя 4 недели эксперимента.

Полученные данные свидетельствуют о развитии комплексной адаптационно-компенсаторной реакции, при которой на ранних этапах (2 недели) преобладает повышение резистентности эритроцитов и активация эритропоэза, тогда как на более поздних сроках (4 недели) формируется состояние функционального напряжения.

Представленные результаты экспериментального изучения эффектов подострых воздействий ЭП ПЧ на систему крови и кроветворения экспериментальных животных подтверждают наличие биологической эффективности воздействия ЭП на организм и обосновывают необходимость применения средств защиты для обеспечения сохранения стабильного гомеостаза.

Как отмечено выше, в рамках гигиенической оценки уровней ЭП ПЧ на рабочих местах персонала установлено превышение ПДУ на всех классах напряжения обследованных объектов, что обосновывает применение СИЗ, биологическая эффективность которых подтверждена экспериментальными результатами на животных и численной дозиметрией. Отмеченная тенденция к изменению со стороны газотранспортной функции крови в условиях

экранирования по сравнению с достоверными изменениями животных без моделирования СИЗ может вносить дополнительный вклад в функциональное перенапряжение организма, которое по результатам физиолого-гигиенической оценки может усугубляться при производстве работ в теплый период года. Поэтому в условиях высокой температуры окружающей среды ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) для обеспечения сохранения здоровья электротехнического персонала представляется целесообразным ограничение времени непрерывного пребывания в СИЗ с обязательным включением регламентированных перерывов для восстановления организма.

С учетом полученных данных для категории выполнения работ категории Па с общими энерготратами 113 Вт/м^2 оптимальной представляется следующая схема: продолжительность непрерывной работы с использованием СИЗ не должна превышать 40 минут; продолжительность отдыха – не менее 20 минут.

Перерывы должны проводиться в специально оборудованных зонах отдыха с благоприятным микроклиматом: температура воздуха $20-24^{\circ}\text{C}$; наличие вентиляции или кондиционирования; возможность снятия СИЗ для восстановления теплообмена. Обязательным элементом профилактики является организация питьевого режима: рекомендуется прием охлажденных напитков в объеме 150-250 мл (не ниже $10-12^{\circ}\text{C}$) каждые 15-20 минут, а при длительной работе – применение изотонических растворов для компенсации потерь электролитов.

При увеличении энерготрат на 30-70% (до $150-200 \text{ Вт/м}^2$) необходимо сокращение время непрерывной работы на 20-40% с увеличением продолжительности отдыха на 25-50%, а также обеспечение более интенсивного охлаждения.

При переменной нагрузке, что характерно для реальных условий работы электротехнического персонала, рекомендуется ориентироваться на пиковые энерготраты, а не на средние значения за смену.

На основании проведенных гигиенических, физиолого-гигиенических, дозиметрических, лабораторных и экспериментальных исследований обоснован

регламент труда и отдыха, направленный на профилактику перегревания и поддержание работоспособности персонала при использовании СИЗ типа Эп.

ВЫВОДЫ

1. Гигиеническая оценка уровней ЭП и МП ПЧ на рабочих местах электротехнического персонала электросетевых объектов напряжением 220-750 кВ показала превышение ПДУ за рабочую смену в 3-5 раз: на ОРУ 220 кВ – 17,8 кВ/м; на ОРУ 330 кВ – 14,4 кВ/м; на ОРУ 500 кВ – 19,4 кВ/м; на ОРУ 750 кВ – 27,9 кВ/м. Превышения ПДУ ЭП ПЧ на ОРУ 330-750 кВ отмечались от 57 до 80% всех территорий обследованных объектов электроэнергетики, что позволило опередить класс условий труда персонала как 3.1.

2. Физиолого-гигиеническая оценка теплового состояния организма добровольцев при использовании СИЗ от ЭП ПЧ при категории работ Па с энерготратами 113 Вт/м^2 на электросетевых объектах в условиях $23,8 \pm 1,0^\circ\text{C}$ (ТНС-индекс $17,9 \pm 1,7^\circ\text{C}$) показала, что влияние термической нагрузки среды компенсируется активацией механизма теплопотерь и накоплением влаги в пододежном пространстве при допустимых условиях окружающей среды, тогда как при $32,6 \pm 2,0^\circ\text{C}$ (ТНС-индекс $26,6 \pm 1,3^\circ\text{C}$) отмечалось достоверное увеличение теплонакопления ($3,52 \pm 0,50 \text{ кДж/кг}$) за период работы, что позволяет определить класс условий труда как 3.2.

3. Полученный коэффициент экранирования в лабораторных условиях составил 84,7-71,8 дБ, тогда как на рабочем месте отмечалось снижение защитных свойств комплектов до 68,8-61,4 дБ, что обусловлено неоднородностью ЭП ПЧ. Поэтому в рамках обоснования требований к защитным свойствам СИЗ типа Эп-4(0) были предъявлены более строгие требования (коэффициент экранирования 60 дБ), которые вошли в утвержденный проект изменений ТР ТС 019/2011 (решение № 40 от 13.03.2026 г.).

4. Разработанные математические модели условий экспозиции ЭП ПЧ (50 кВ/м) без экранирования позволили оценить максимальные значения

плотности наведенных токов в органах и тканях фантомов крыс: в желудке (9,27 мА/м²), селезенке (3,53 мА/м²), в крови (1,34 мА/м²) и костном мозге (0,75 мА/м²). При экранировании фантомов животных отмечено снижение плотности наведенных токов в мышечной и нервной тканях, в костном мозге и гипофизе на порядок, а в селезенке, крови, желудке и поджелудочной железе – на два порядка.

5. Оценка биологических эффектов ЭП ПЧ на лабораторных животных без экранирования показала, что подострое воздействие фактора приводит к достоверному снижению содержания лимфоцитов и увеличению эритроцитов, в том числе снижению резистентности мембран эритроцитов, при тенденции к изменению показателей костного мозга, что свидетельствует о развитии адаптационно-компенсаторной перестройки гемопоза. Экранирование при аналогичных условиях ЭП ПЧ обеспечивало отсутствие достоверных изменений тех же показателей у экспериментальных животных.

6. Результаты гигиенических, дозиметрических и экспериментальных исследований сочетанного действия ведущих производственных факторов (ЭП ПЧ и микроклимат для открытых территорий) на персонал объектов высокого и сверхвысокого напряжения позволили установить итоговый класс условий труда 3.2. Предложен и обоснован регламент труда и отдыха для сохранения здоровья электротехнического персонала: при температуре $\geq 30^{\circ}\text{C}$ продолжительность непрерывной работы с использованием СИЗ не должна превышать 40 минут с периодом отдыха – не менее 20 минут.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Перов С.Ю., Дремин А.И., Калачева А.Е. Экспериментальное изучение биологического действия электрических полей промышленной частоты в условиях экранирования по отдельным гематологическим показателям крыс // Медицина труда и промышленная экология. 2026;66(1):49–55.

2. Дремин А.И., Журов В.В. Резистентность эритроцитов при кратковременном воздействии электрического поля промышленной частоты в условиях *in vitro* // Здоровье и окружающая среда: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2025. С. 409-411.

3. Дремин А.И. Экспериментальное изучение отдельных показателей системы крови при воздействии электрического поля промышленной частоты // Экология и здоровье населения: сб. материалов VI Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. Иркутская обл., 2025. – С. 202-207.

4. Дремин А.И. Оценка эффективности средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты на рабочих местах электротехнического персонала // Техногенные системы и экологический риск: сб. материалов VIII Междунар. (XXI Регион.) науч. конф. Обнинск, 2025. – С. 300-302.

5. **Перов С.Ю., Дремин А.И. Оценка электромагнитной обстановки и эффективности средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты на рабочих местах электротехнического персонала // Медицина труда и промышленная экология. 2025;65(4): 231–236.**

6. **Перов С.Ю., Бурмистрова О.В., Дремин А.И. Условия труда электротехнического персонала при использовании экранирующих комплектов в теплое время года // Гигиена и санитария. 2025;104(4):403–408.**

7. Перов С.Ю., Макарова-Землянская Е.Н., Дремин А.И., Крамаренко П.Н. Оценка эффективности шунтирующих свойств комплекта ЭП-4(0) с использованием сигнализатора наведенного напряжения // Безопасность жизнедеятельности. 2025. № 2(290). С. 3–8.

8. Дремин А.И., Макарова-Землянская Е.Н. Физиолого-гигиеническая оценка состояния электротехнического персонала при работе вблизи воздушных линий 750 кВ с учетом термической нагрузки среды // Техногенные системы и экологический риск: тез. докл. VII Междунар. (XX Регион.) науч. конф. Обнинск, 2024. С. 292–294.

9. Журов В.В., Дремин А.И. Резистентная стойкость эритроцитов крыс при подостром воздействии электрического поля промышленной частоты // Здоровье и окружающая среда: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2024. С. 21–24.

10. Перов С.Ю., Бурмистрова О.В., Дремин А.И. Физиолого-гигиеническая оценка условий труда электротехнического персонала при использовании средств индивидуальной защиты в теплое время года // Медицина труда: проблемы сохранения профессионального здоровья в России на рубеже первой и второй четверти XXI века: сб. тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием. СПб., 2024. С. 197–200.

11. Перов С.Ю., Макарова-Землянская Е.Н., Дремин А.И., Крамаренко П.Н. Повышение электробезопасности применением устройства контроля наведенного напряжения в шунтирующем экранирующем комплекте ЭП-4(0) // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2024. Т. 13, № 3(67). С. 188–193.

12. Перов С.Ю., Макарова-Землянская Е.Н., Нарусова Е.Ю., Дремин А.И. Анализ эффективности российской и международной методик оценки экранирования средства индивидуальной защиты при различных условиях воздействия электрических полей промышленной частоты // Безопасность труда в промышленности. 2024. № 7. С. 41–46.

13. Коньшина Т.А., Дремин А.И. Оценка воздействия электромагнитного поля промышленной частоты при обслуживании высоковольтного оборудования электростанции // Техногенные системы и экологический риск: тез. докл. VI Междунар. (XIX Регион.) науч. конф. Обнинск, 2023. С. 392.

14. Коньшина Т.А., Дремин А.И. Теоретическая и инструментальная оценка электрического поля промышленной частоты вблизи контактной сети переменного тока железной дороги // Экология и здоровье населения: материалы V Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых. Ангарск–Байкал, 2023. – С. 188–193.

15. Макарова-Землянская Е.Н., Дремин А.И. Оценка электрического поля промышленной частоты на рабочих местах электротехнического персонала контактной сети переменного тока железной дороги // Профилактическая медицина-2023: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб., 2023. С. 160–163.
16. Дремин А.И. Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей на открытых распределительных устройствах 220–500 кВ // Здоровье и окружающая среда: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2023. С. 176–178.
17. Перов С.Ю., Коньшина Т.А., Дремин А.И. Теоретическая и инструментальная оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты на электросетевых объектах сверхвысокого напряжения // Энергетик. 2022; 9:50-54.
18. Макарова-Землянская Е.Н., Дремин А.И. Сравнение методов оценки эффективности индивидуальных шунтирующих экранирующих комплектов // Техногенные системы и экологический риск: тез. докл. V Междунар. (XVIII Регион.) науч. конф. Обнинск, 2022. С. 263.
19. Макарова-Землянская Е.Н., Дремин А.И. Сравнительная оценка защитных свойств шунтирующего комплекта от наведенного напряжения контактной сети железной дороги // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: материалы Всерос. науч.-практ. интернет-конф. молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с междунар. участием. Саратов, 2022. С. 87.
20. Дремин А.И. Подходы к экспериментальной оценке защитных свойств комплектов ЭП-4(0) при эксплуатации высоковольтного оборудования // Материалы IV Междунар. молодеж. форума «ПРОФЕССИЯ и ЗДОРОВЬЕ». М., – 2022. – С. 68-72.