

ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА ВЫСОТНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Николай Николаевич ШВЕЦ^{a,*}, Александр Иванович ОРЛОВ^b,
Владимир Степанович СЫСОЕВ^c, Николай Михайлович ЛЕПЕХИН^d,
Евгений Валерьевич БАСОВ^e

^a доктор экономических наук, профессор, советник директора,
Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
технической физики им. академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ – ВНИИТФ);
заведующий кафедрой мировой электроэнергетики,
МГИМО Университет МИД России,
Москва, Российская Федерация
Nikolay.Shvets@vniitf.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 9898-9715

^b кандидат технических наук, научный сотрудник,
Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
технической физики им. академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ – ВНИИТФ),
Истра, Российская Федерация
A.I.Orlov42@vniitf.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

^c кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
технической физики им. академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ – ВНИИТФ),
Истра, Российская Федерация
V.S.Sysoev@vniitf.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 9405-0107

^d кандидат технических наук, начальник отдела,
Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
технической физики им. академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ – ВНИИТФ),
Истра, Российская Федерация
N.M.Lepihin@vniitf.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

^e кандидат технических наук, главный специалист,
Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
технической физики им. академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ – ВНИИТФ);
доцент кафедры мировой электроэнергетики,
МГИМО Университет МИД России,
Москва, Российская Федерация
Evgeny.Basov@vniitf.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 476/2020

Получена 13.08.2020

Получена в доработанном виде 30.08.2020

Одобрена 16.09.2020

Доступна онлайн

13.11.2020

УДК 355.359.07

JEL: Q47, Q48, Q49

Аннотация

Предмет. Ввиду эскалации международной напряженности возросла вероятность применения ядерного оружия в виде, например, высотного ядерного взрыва, основным поражающим фактором которого является электромагнитный импульс, способный вывести из строя современное электротехническое оборудование, особенно при использовании в нем микропроцессорной техники.

Цели. Рассмотрение проблемы устойчивости инфраструктурных систем в условиях воздействия электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва.

Методология. При проведении исследования использовались методы систематизации, анализа и сравнения.

Результаты. Предлагается ввести (отразить) во всех нормативных, законодательных и правовых документах, регламентирующих обеспечение энергетической безопасности и, в частности, электромагнитной совместимости, требования к устойчивости инфраструктурных систем при воздействии электромагнитного импульса ядерного взрыва. Обсуждается возможный путь практического решения этой проблемы с использованием накопленных как теоретических и экспериментальных данных, так и практического опыта. Обосновывается целесообразность использования для решения этой проблемы имеющихся в Российском Федеральном Ядерном Центре ГК «Росатом» испытательных установок, прошедших соответствующую модернизацию, а также создание специальной исследовательской группы для рассмотрения возможности решения данной задачи для обеспечения защиты объектов гражданского назначения.

Выводы. Обоснована необходимость проведения полигонных испытаний электроустановок объектов инфраструктурных систем, в том числе находящихся под напряжением и с различными параметрами нагрузки. В результате испытаний будет определена эффективность использования существующих (и перспективных) защитных устройств и систем для обеспечения стойкости электротехнического оборудования к воздействию электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва, преднамеренным деструктивным воздействиям мощных электромагнитных излучателей, грозовых перенапряжений.

Ключевые слова:

энергетическая безопасность, электромагнитный импульс, высотный ядерный взрыв

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2020

Для цитирования: Швец Н.Н., Орлов А.И., Сысоев В.С., Лепехин Н.М., Басов Е.В.

Об энергетической безопасности России в условиях воздействия электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2020. – Т. 16, № 11. – С. 2036 – 2059.

<https://doi.org/10.24891/ni.16.11.2036>

Введение

В условиях резкого обострения военно-политической обстановки (межгосударственных отношений) и возникновения условий для применения военной силы¹ основными сдерживающими факторами от использования ядерного

¹ Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации: Указ Президента РФ от 13.05.2019 № 216. URL: <https://garant.ru/products/ipo/prime/doc/72140884/>

оружия являются соглашения в области его нераспространения, запрещения ядерных испытаний, ограничения и сокращения ядерных вооружений.

В 1968 г. был подписан и в 1970 г. вступил в силу Договор о нераспространении ядерного оружия (далее – Договор). Договор устанавливает, что государством, обладающим ядерным оружием, считается то, которое произвело и взорвало такое оружие или устройство до 1 января 1967 г. Клуб ядерных держав на тот период состоял из пяти членов – СССР, США, Великобритании, Франции и Китая. Ядерные державы обязались по Договору «не передавать кому бы то ни было ядерное оружие или контроль над ним» (ст. 1 Договора), а участники Договора – «не производить и не приобретать его» (ст. 2). К сожалению, Договор о нераспространении ядерного оружия не поставил преграды на пути расширения круга стран, обладающих ядерным оружием:

- Индия и Пакистан объявили об обладании ядерным оружием и провели его испытания;
- Израиль не подтверждает и не отрицает наличия у него ядерного оружия;
- КНДР в 2003 г. заявила о своем выходе из договора, а в 2006–2017 гг. провела испытания ядерных взрывных устройств.

Иран подписал в 2015 г. со странами «шестерки» (Россия, США, Великобритания, Франция, Китай и Германия) Совместный всеобъемлющий план действий по урегулированию ситуации вокруг иранской ядерной программы.

Согласно соглашению, Иран обязан допускать инспекторов Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) на свои ядерные объекты, что позволяет организации следить за иранской ядерной программой, чтобы она носила исключительно мирный характер.

Страны Запада, в свою очередь, обязаны пошагово снимать с Ирана санкции. Однако 8 мая 2018 г. президент США Д. Трамп объявил о выходе страны из соглашения по Иранской ядерной программе. В свою очередь, Иран 8 мая 2019 г. объявил о решении частично прекратить выполнение обязательств по Совместному всеобъемлющему плану действий в качестве ответа на выход из сделки США.

Первый двусторонний Договор об ограничении накопления ядерного оружия между СССР и США был подписан в 1972 г. (ОСВ-I). По условиям договора стороны обязывались сохранять объем ядерных арсеналов на уровне, которого он достиг на момент ратификации. Действие договора ОСВ-I прекратилось в 2002 г.

В 1972 г. между СССР и США подписан Договор об ограничении систем противоракетной обороны (ПРО). Соглашение обязывало стороны сократить число районов под защитой систем и количество наземных пусковых установок.

13 июня 2002 г. США в одностороннем порядке вышли из Договора и приступили к развертыванию систем противоракетной обороны в Европе. В мае 2016 г. на румынской базе введен в эксплуатацию американский комплекс ПРО; проводится строительство комплекса ПРО в Польше.

Двусторонний Договор о ликвидации ракет средней и меньшей дальности (подписан 8 декабря 1987 г., вступил в силу 1 июня 1988 г.) обязывал СССР и США не испытывать, не производить и не развертывать, а также уничтожить имеющиеся ракеты средней и малой дальности (до 5 500 км). Однако президент США Д. Трамп объявил, что со 2 февраля 2019 г. Соединенные Штаты Америки приостанавливают свое участие в Договоре, а через полгода окончательно из него выходят. Соответственно, 3 июля 2019 г. Президент Российской Федерации В. Путин подписал закон о приостановлении выполнения Россией обязательств по этому Договору.

После ликвидации этого договора встал вопрос о последнем и самом важном российско-американском соглашении – Договоре о сокращении стратегических вооружений (СНВ), подписанном в 2010 г. Договор СНВ устанавливает предельный потолок по количеству стратегических носителей и ядерных боеголовок. Действие Договора истекает в 2021 г. В свете сказанного, очевидно, и его судьба становится неопределенной.

Таким образом, анализ международных договоров по ядерной проблеме (*рис. 1*) показывает, что соглашения в сфере нераспространения, ограничения и сокращения ядерных вооружений не выполняются: увеличилось количество стран, обладающих ядерным оружием; сняты ограничения на производство ядерного оружия средней и меньшей дальности, арсенал носителей ядерного оружия совершенствуется.

Таким образом, с обострением международной обстановки и активизацией проводимых в военных ведомствах стран НАТО исследований по возможности использования ядерных боеприпасов малой мощности значительно возросла вероятность применения ядерного оружия в виде высотного ядерного взрыва (ВЯВ). В данной статье рассмотрен только один аспект – необходимость обеспечения защищенности от основного поражающего фактора ВЯВ в виде электромагнитного импульса (ЭМИ), способного выводить из строя современное электротехническое оборудование.

Вопрос защищенности электротехнического оборудования от ЭМИ ВЯВ является малой составной частью более крупной проблемы обеспечения энергетической безопасности, которая состоит в том, что существующие тенденции актуализируют необходимость решения вопроса о снижении степени зависимости отечественной энергетики, и шире – инфраструктурных отраслей экономики – от внешнеполитической и внешнеэкономической конъюнктуры и предъявляют требования к обеспечению их устойчивости к неблагоприятным внешним условиям, к повышению надежности, независимости и самодостаточности функционирования их технических систем.

Экономика страны, ее промышленность должны быть готовы к нейтрализации и ликвидации возможных угроз инфраструктуре отраслей и в первую очередь – Единой энергетической системе России. Это, в свою очередь, диктует необходимость освоения выпуска всех видов специального оборудования, обеспечивающего бесперебойное функционирование электроэнергетики и других инфраструктурных систем. Предъявляются дополнительные требования к развитию

компетенций отечественных предприятий и обеспечению их устойчивой работы в мирное, военное и послевоенное время.

Электромагнитные процессы при высотном ЯВ

Современный взгляд на проблему возникновения и опасности ЭМИ ВЯВ основан на результатах ядерных испытаний и исследований, проведенных более 50 лет назад, и с тех пор существенно не изменился² [1, 2]. В нашей стране и за рубежом известны практические примеры повреждения оборудования инфраструктуры электроэнергетических систем при проведении испытаний по воздействию ЭМИ ВЯВ. Так, например, в результате испытаний при высотном ядерном взрыве (мощность 300 кт), произведенного над Казахстаном (*рис. 2*), в исследовательских целях в 1962 г. в объектах инфраструктуры наблюдались следующие явления³:

- возникновение на объектах импульсных токов длительностью до 15 мкс, амплитудой от 1,5 кА до 3,4 кА и импульсных напряжений до 28 кВ в проводах воздушных телефонных линий, в результате чего вышла из строя 570-километровая телефонная линия;
- срабатывание разрядников и перегорание предохранителей, что привело к повреждению систем радиосвязи на расстоянии до 600 км от эпицентра взрыва и потере связи со множеством объектов;
- пробой керамических изоляторов в наземных силовых линиях электропередачи, вызвавшие короткие замыкания и отключение линий. На некоторых участках изоляторы были настолько повреждены, что провода упали на землю;
- выход из строя подземного кабеля протяженностью 1 000 км, проходившего на глубине около 1 м;
- повреждение трансформаторов, генераторов и отключение электростанций и дизель-генераторов;
- выход из строя радиолокатора, расположенного на расстоянии 1 000 км от эпицентра взрыва;
- повреждения аппаратуры различных технических систем на космодроме Байконур.

Полученные данные экспериментально подтвердили наличие зоны поражения с радиусом в несколько сотен километров, в которой наблюдалось разрушающее воздействие ЭМИ ВЯВ на технические объекты инфраструктурных систем.

Воздействующие факторы при ВЯВ

Как отмечает А.А. Любомудровым [3], «...особенностью ЭМИ высотного ядерного взрыва является генерирование импульсного электромагнитного поля в результате нескольких механизмов: комptonовского, барометрического,

² Loborev V.M. Up to Date State of the NEMP Problems and Topical Research Directions. EUROEM Conference. Bordeaux, France, June 1994, pp. 15–21.

³ Там же.

магнитотормозного и магнитогидродинамического. В соответствии с этим генерируются три типа импульсов ЭМИ. Первый тип обязан своим происхождением комптоновскому и барометрическому механизмам, второй – магнитотормозному, третий – магнитогидродинамическому».

В соответствии с описанием явления, приведенного А. Швабом в [4], «...мгновенное освобождение ядерной энергии при ядерном взрыве сопровождается интенсивным импульсом излучения гамма-квантов (высокоэнергетическое рентгеновское излучение с энергией порядка МэВ, которое распространяется по всем направлениям). При взрыве на большой высоте над поверхностью Земли (например, на высоте 400 км) эти кванты в слоях атмосферы вследствие эффекта Комптона освобождают электроны, большая часть которых сохраняет первоначальное направление движения гамма-кванта и на своем дальнейшем пути к Земле за счет ударной ионизации образует многочисленные вторичные электроны. Летящие к Земле электроны создают вместе с малоподвижными положительными ионами воздуха электрический диполь. За счет отклонения электронов в магнитном поле Земли (сила Лоренца) создается магнитный диполь. Изменяющееся во времени и в пространстве распределение заряда и тока обуславливает изменяющееся электромагнитное поле, называемое электромагнитным импульсом ядерного взрыва. Этот импульс имеет вид, близкий к двойной экспоненте (качественно аналогичный нормированному грозовому импульсу) с длительностью фронта примерно 5 нс и временем спада 200 нс».

Таким образом, высотные (выше 30 км) ЯВ генерируют в соответствии с классификацией Международной электротехнической комиссии⁴ три компоненты электрического поля, наблюдаемых на поверхности земли: E1, E2, E3.

Наибольшую опасность на поверхности земли представляют ЭМИ, образующиеся при высотном ЯВ, генерирующие быстрый импульс E1 на раннем этапе. Напряженность электрического поля на уровне поверхности земли достигает при этом значений до 100 кВ/м и представляет наибольшую опасность для технических объектов вследствие большой амплитуды и своего высокочастотного спектра⁵ [1, 5, 6].

На *рис. 3* приведены структура и временные параметры электрического поля, возникающего при высотном ЯВ на поверхности земли [7].

Импульс имеет фронт в несколько наносекунд и длительность около 30 нс [1, 2, 6, 7]. Плотность мощности ЭМИ при этом достигает значений 6 МВт/м². В результате компонента E1 вызывает большие перенапряжения в электрических цепях объектов гражданского назначения и обуславливает повреждения имеющегося в нем электронного оборудования. Обычные защитные разрядники, эффективные для защиты от атмосферных грозовых перенапряжений (характерные времена срабатывания 1 ÷ 100 мкс) не успевают среагировать и осуществить необходимую защиту оборудования.

⁴ Structure of IEC 61000. Electromagnetic Compatibility (EMC).
URL: https://iec.ch/emc/basic_emc/basic_61000.htm

⁵ Электромагнитная совместимость в силовых установках и подстанциях. СИГРЕ. Рабочая группа С4.208, 2013.

Составляющая E2 по скорости нарастания и длительности компонент ЭМИ ВЯВ находится во временном интервале от 100 до 1 000 мкс. Такие временные параметры ЭМИ возникают при близком от объекта разряде молнии. Напряженность поля может достигать значительных величин. Из-за сходства параметров импульса E2 с импульсом молнии [7] считается, что защита от E2 достаточно хорошо отработана. Однако при совместном действии E1 и E2 появляются серьезные дополнительные проблемы (когда защитные устройства от E2 выводятся из строя импульсом E1).

Компонента E3 отличается от двух других компонент ЭМИ ВЯВ скоростью протекания процессов. Это очень медленная компонента, длящаяся десятки секунд, что обусловлено смещением и восстановлением магнитного поля Земли после взрыва. При этом имеется сходство с явлениями, происходящими при геомагнитных бурях. Компонента E3 может оказывать в силу своей специфики особенно сильное влияние на протяженные электротехнические объекты (линии электропередачи) [1, 2, 5].

Устойчивость энергетических систем

В последние годы в России произошло несколько системных аварий с масштабными последствиями – разделением энергосистемы на изолированные части, отключением большого объема генерации и массовым прекращением электроснабжения (в Крыму, в Объединенной энергосистеме Сибири, в Калининградской области). Из анализа причин аварий выяснилось, что они произошли в том числе из-за неправильной работы противоаварийной автоматики или неправильной настройки релейной защиты и автоматики (РЗА).

Отметим, что одним из основных направлений технического перевооружения устройств релейной защиты и автоматики является внедрение микропроцессорных устройств, обладающих существенными эксплуатационными преимуществами перед электромеханическими устройствами (по основным параметрам их функциональных возможностей). В то же время устройства РЗА с применением современной микроэлектронной базы являются наиболее уязвимым звеном при воздействии ЭМИ ВЯВ. Именно поэтому внедрению микропроцессорных устройств должны предшествовать специальные испытания для оценки электромагнитной обстановки на энергообъекте и проведение при необходимости мероприятий, обеспечивающих электромагнитную совместимость микроэлектроники с уровнем помех, возникающих при воздействии ЭМИ техногенного (в том числе высотного ЯВ) и естественного характера (грозовое электричество).

Нормативная база

На сегодняшний день в гражданской электроэнергетике уделяется недостаточное внимание обеспечению защиты от ЭМИ ВЯВ. Значительная часть гражданских энергетических объектов управления и прежде всего их системы электроснабжения и связи не защищены от воздействий ядерного взрыва с повышенным выходом электромагнитной энергии. В настоящее время названные объекты недостаточно оснащены средствами защиты и не обеспечивают выполнения современных требований по электромагнитной совместимости. В то же время применение

определенных мер может существенно повысить степень защищенности и обеспечить их работоспособность при электромагнитном воздействии.

Для внедрения этих мер прежде всего требуется совершенствование нормативной базы по проблеме электромагнитной совместимости объектов при ВЯВ. К примеру, в настоящее время за рубежом уже более двадцати лет назад разработан комплекс стандартов для военных и гражданских систем, в которых определены методы, средства испытаний и концепция защиты от полей высокой интенсивности, молний⁶ [6, 8]. Существуют следующие группы стандартов и спецификаций, посвященных этой тематике [7]:

- MIL-STD – военные стандарты США для военных систем в США и действующие в некоторых других странах;
- STANAG – стандарты для военных систем НАТО;
- стандарты, в которых приведены сведения о требованиях по защите от молний и электромагнитного импульса для современных гражданских самолетов;
- стандарты и спецификации для коммерческого электрического и электронного оборудования.

Подобные военные стандарты существуют также в Германии, Великобритании и других странах Европы. Обобщение и систематизацию мирового опыта в разработке стандартов ЭМС выполняет Международная электротехническая комиссия (МЭК). Требования стойкости и типовые формы ЭМИ воздушного ЯВ, рекомендуемые МЭК для испытания гражданской аппаратуры, оборудования и технических систем, приведены в стандартах МЭК серии 61000 [7].

Часть 1 стандарта МЭК 61000 включает общие положения: фундаментальные принципы, определения, терминологию. В стандарте МЭК 61000-1-3, 2002 приведены общие требования, а также информация об эффекте электромагнитного импульса при высотных (ядерных) взрывах на гражданское оборудование и системы. Информация основывается на результатах натуральных испытаний и испытаний, выполненных с помощью имитаторов ЭМИ ВЯВ.

Часть 2 стандарта МЭК 61000 включает описание и классификацию электромагнитной обстановки, уровней совместимости при воздействии ЭМИ высотного ядерного взрыва. В стандарте МЭК 61000-2-9, 1996 дано описание условий возникновения электромагнитного импульса на больших высотах, возмущение, вызванное излучением, приводятся параметры раннего, промежуточного и позднего магнитогидродинамического ЭМИ ВЯВ. В стандарте МЭК 61000-2-10, 1998 дано описание среды с электромагнитным импульсом при ВЯВ, рассматриваются наведенные помехи на кабельные линии, линии энергоснабжения и связи. В стандарте МЭК 61000-2-11, 1999 приводится

⁶ Structure of IEC 61000. Electromagnetic Compatibility (EMC).

URL: https://iec.ch/emc/basic_emc/basic_61000.htm; ГОСТ Р 52863-2007. Защита информации.

Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования; IEC 61000-2-10(1998) Электромагнитная совместимость. Часть 2-10. Условия окружающей среды. Описание среды с электромагнитным высотным импульсом при высотных ядерных взрывах. Наведенные помехи. Введены в действие 01.11.1998.

классификация окружающих сред в условиях электромагнитных импульсов при высотных (ядерных) взрывах (НЕМР). Стандарт позволяет выбрать уровни стойкости при испытаниях аппаратуры (уровни напряженности электрического поля при излучении). Под уровнем стойкости понимается максимальный уровень электромагнитной помехи, действующей на систему и не вызывающей изменения эксплуатационных характеристик.

Часть 4 стандарта МЭК 61000 включает описание методов испытаний и измерений. В стандарте МЭК 61000-4-23, 2016 рассматриваются методы испытания устройств защиты от помех, вызванных электромагнитным импульсом при ВЯВ, и других излучаемых помех; в стандарте МЭК 61000-4-24 приведены схемы построения установок; стандарт МЭК 61000-4-25, 2001 определяет амплитудно-временные параметры уровней испытательных воздействий. Стандарт МЭК 61000-4-32, 2002 содержит информацию по существующим имитаторам ЭМИ ВЯВ.

Часть 5 стандарта МЭК 61000 содержит руководства по установке, методы и устройства помехоподавления. В стандарте 61000-5-3, 1999 изложены руководящие указания по установке устройств защиты и подавлению помех, концепция защиты от ЭМИ ВЯВ. Стандарт МЭК 61000-5-4, 1996 определяет технические условия на устройства защиты, предлагаются различные типы защитных средств, приводятся оценки эффективности экранирования различных видов защиты. В стандарте МЭК 61000-5-5, 1996 рассматриваются основные технические характеристики защитных средств, приводятся методы измерений характеристик защитных средств. В стандарте МЭК 61000-5-6, 2002 дана информация по монтажу средств ослабления полей внутри объектов. В стандарте МЭК 61000-5-8, 2009 приведены методы защиты НЕМР для распределенной инфраструктуры.

Отметим, что стандарты МЭК по электромагнитному импульсу высотного ядерного взрыва в России не приняты и, соответственно, не введены в действие.

В то же время защита от воздействия молний в Российской Федерации регламентируется стандартами, которые идентичны международным. Российский стандарт ГОСТ Р МЭК 62305-1 устанавливает общие принципы защиты от молнии зданий, сооружений и их частей, включая находящихся в них людей, инженерных сетей, энергетических систем и других объектов. Критерии проектирования, установки и обеспечения мер молниезащиты рассматриваются в трех отдельных группах:

- первая группа, касающаяся мер защиты в целях снижения физического повреждения и опасности для жизни людей в здании, рассматривается в ГОСТ Р МЭК 62305-3;
- вторая группа, касающаяся мер защиты в целях снижения повреждения электрических и электронных систем в здании, рассматривается в ГОСТ Р МЭК 62305-4;
- третья группа, касающаяся мер защиты в целях снижения физического повреждения и поломки систем энергоснабжения в здании (в основном, линии электропередачи и линии связи), рассматривается в ГОСТ Р МЭК 62305-5.

Стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52863-2007⁷ разработан в целях нормативного обеспечения испытаний автоматизированных систем в защищенном исполнении (АСЗИ) на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям (ПД ЭМВ). Применительно к АСЗИ преднамеренные силовые электромагнитные воздействия рассмотрены как фактор угрозы информации в целях ее уничтожения, искажения или блокирования. Стандарт устанавливает общие требования к АСЗИ по устойчивости к ПД ЭМВ, параметры испытательных воздействий, виды испытаний и степени их жесткости, методы и средства испытаний. Стандарт определяет порядок проведения испытаний и критерии оценки качества функционирования АСЗИ.

В целом проведенный анализ показывает, что за рубежом опубликован в открытой печати и используется комплекс стандартов для военных и гражданских систем по проблеме защиты оборудования, систем и установок от мощных электромагнитных воздействий. В России опубликован стандарт⁸ для нормативного обеспечения испытаний автоматизированных систем на преднамеренное воздействие (ПД ЭМВ), а также применяются общие стандарты по ЭМС (защите от молнии).

Анализируя в целом существующую нормативную базу, регламентирующую вопросы защищенности от ЭМИ и требования к ЭМС, необходимо обратить внимание, что Указом Президента Российской Федерации от 13.05.2019 № 216 устанавливается, что одной из задач по совершенствованию государственного управления в области обеспечения энергетической безопасности является *«..совершенствование нормативно-правовой базы по вопросам обеспечения безопасного, надежного и устойчивого функционирования объектов инфраструктуры энергетики»*. Решение этой задачи потребует разработки стандартов в области ЭМС с требованиями устойчивости технических объектов инфраструктуры систем и прежде всего объектов, обеспечивающих функционирование Единой национальной электрической сети Российской Федерации (ЕНЭС РФ).

Также постановлением Правительства РФ от 13.08.2018 № 937 утверждены Правила технологического функционирования электроэнергетических систем и внесены изменения в некоторые акты Правительства Российской Федерации. Они устанавливают *«...общие системные требования к релейной защите и автоматике, линиям электропередачи, оборудованию электрических станций и сетей, электроустановкам потребителей электрической энергии»* для обеспечения надежности и устойчивости энергосистемы. В постановлении поручается Министерству энергетики Российской Федерации в 2020 г. разработать и утвердить:

- правила организации и проведения системных испытаний в сфере электроэнергетики;

⁷ ГОСТ Р 52863-2007. Защита информации. Автоматизированные системы в защищенном исполнении. Испытания на устойчивость к преднамеренным силовым электромагнитным воздействиям. Общие требования.

⁸ Там же.

– требования к релейной защите и автоматике различных видов и ее функционированию в составе энергосистемы.

Полагаем целесообразным в этих документах отразить требования, а также меры по обеспечению устойчивости функционирования электроэнергетических систем в условиях воздействия ЭМИ ВЯВ.

На данном этапе можно сформулировать некоторые общие рекомендации и технические предложения, способствующие обеспечению электромагнитной совместимости на объектах энергетики в условиях воздействия ЭМИ высотного ЯВ:

- осуществить экспертизу принятых проектных решений на объектах энергетики для проработки требований к обеспечению электромагнитной совместимости в условиях воздействия ЭМИ высотного ЯВ;
- применять в проектных решениях оборудование, имеющее сертификаты соответствия по ЭМС в условиях воздействия ЭМИ ВЯВ или протоколы результатов испытаний в специализированных испытательных центрах по ЭМС на соответствие требованиям по устойчивости к такому воздействию;
- внести во все нормативные, законодательные и правовые документы, регламентирующие выполнение электромагнитной совместимости, требования по устойчивости устройств связи, релейной защиты и противоаварийной автоматики к воздействию ЭМИ высотного ЯВ и обязательность их учета при проектировании и реконструкции объектов электроэнергетических систем.

Испытательные установки Российской Федерации в области электромагнитной совместимости при ВЯВ

При решении данной задачи серьезной проблемой является отсутствие в России необходимых действующих испытательных установок, на которых можно было бы исследовать вопросы защищенности от ЭМИ ВЯВ объектов (особенно крупногабаритных) гражданской инфраструктуры. В полной мере это относится и к объектам электроэнергетики. Для решения данной задачи с 2018 г. во ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина» начата реализация проекта «Модернизация испытательного центра Высоковольтного научно-исследовательского центра (ВНИЦ) (г. Истра Московской области) на базе существующего уникального испытательного и исследовательского оборудования», который является составной частью более крупного проекта по созданию специализированного Комплексного испытательного центра (КИЦ) по испытаниям и сертификации электротехнического оборудования, прежде всего высоковольтного. В состав КИЦ входят уникальные установки, зарегистрированных как единицы инфраструктуры уникальных установок⁹ Российской Федерации. Они позволяют проводить испытания на стойкость к ЭМИ высотного ЯВ (в части импульса E2). Эти установки, в добавлении к испытаниям на компоненту E1 ВЯВ позволяют также проводить полноценные испытания на стойкость к ЭМИ при разрядах молнии (генератор импульсных напряжений 6 МВ). Такое сочетание возможностей

⁹ Научно-технологическая инфраструктура Российской Федерации. Центры коллективного пользования научным оборудованием и уникальные научные установки. URL: <http://ckp-rf.ru/usu/73578/>

испытательного оборудования на ЭМС при воздействии ЭМИ при разряде молнии и высотного ЯВ (компоненты E1 и E2) на одном полигоне является уникальным.

Испытательные установки КИЦ РФЯЦ – ВНИИТФ (г. Истра)

Вопросы стойкости сложных объектов инфраструктурных систем, связанные с воздействием ЭМИ высотного ЯВ, прежде всего должны быть рассмотрены экспериментально, с использованием соответствующих испытательных установок. На *рис. 4a* представлены фотографии Комплексного испытательного центра РФЯЦ – ВНИИТФ на базе ВНИЦ и его основных уникальных установок [9].

Установка «Аллюр» (*рис. 4b*) предназначена для испытаний на ЭМИ ВЯВ и состоит из импульсного источника высокого напряжения и полеобразующей системы в виде волновода конусной формы из металлических труб, предназначенной для размещения исследуемых и испытываемых объектов. Рабочий объем системы позволяет размещать испытываемые объекты с габаритами до 15 x 15 x 10 м. Основные характеристики импульсов электромагнитного поля, создаваемого установкой, следующие:

- диапазон максимальных значений электрической составляющей напряженности электромагнитного поля $20 \div 200$ кВ/м;
- диапазон максимальных значений магнитной составляющей напряженности электромагнитного поля $52 \div 470$ А/м;
- диапазон длительностей импульса на уровне 0,5 от максимального значения $2,5 \div 100$ наносекунд.

Установка прошла процедуры лицензирования и сертификации в соответствии с государственными и отраслевыми стандартами.

Вторая уникальная испытательная сверхвысоковольтная установка – генератор импульсных напряжений ГИН 6МВ (*рис. 4c*). Генератор способен формировать импульсы грозовых и коммутационных перенапряжений и может быть использован как для серийных, так и тестовых испытаний электрической высоковольтной изоляции различных объектов, а также проведения широкомасштабных фундаментальных исследований грозового разряда, электрической искры в длинных воздушных промежутках, физики молнии и молниезащиты.

Генератор имеет следующие основные параметры:

- максимальное импульсное напряжение на выходе до 6 МВ;
- запасаемая энергия до 1,33 МДж;
- емкость в ударе 50 нФ;
- длительность фронта формируемых импульсов напряжения от 1,2 до 1 200 мкс;
- длительность импульса от 50 до 10 000 мкс.

Генератор ГИН 6МВ ввиду своей большой запасаемой энергии позволяет также проводить испытания на электрическую прочность изоляции объектов при

воздействии компоненты Е2 высотного ЯВ, учитывая при этом известный факт о пониженной электрической прочности воздуха при таких длинных импульсах напряжения¹⁰ [10].

При проведении испытаний крупногабаритных объектов большое значение имеет удобство их доставки на испытательный полигон и обеспечение необходимой электрической мощности при испытаниях под нагрузкой. Расположение полигона КИЦ недалеко от подстанции «Луч-220 кВ», входящей в состав ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы», и наличие автомобильных и железнодорожных подъездных путей упрощает как доставку на эти полигоны крупногабаритного электроэнергетического оборудования, так и проведение испытаний этого оборудования под нагрузкой.

Особый интерес с точки зрения определения стойкости оборудования к ЭМИ ВЯВ представляют полигонные испытания комплекса элементов электрической сети под напряжением и с различными параметрами нагрузки, в том числе и с перегрузкой. Примерная схема может включать трансформатор, коммутационную аппаратуру, систему управления, релейную защиту и автоматику, приборы учета на высоком и низком напряжении трансформатора и специальное нагрузочное устройство, позволяющее устанавливать различные параметры нагрузки сети.

По результатам испытаний будут выявляться виды отказов в работе оборудования и аппаратных блоков (потеря работоспособности, пробой электронных компонентов, сбой в работе программного обеспечения и т.д.) и, соответственно, исследоваться, разрабатываться и предлагаться меры по обеспечению их необходимой защиты.

Мероприятия по защите электротехнического оборудования от грозовых импульсных перенапряжений и ЭМИ высотного ЯВ

В настоящее время большая часть электротехнического оборудования объектов гражданского назначения, включая шкафы управления, релейной защиты, автоматики и т.д., отслужили свои сроки эксплуатации и морально устарели. Резко ухудшилось состояние изоляции электрооборудования, силовых и контрольных кабелей, коммутационной техники, что обуславливает существенное снижение их надежности и устойчивости к воздействию разрядов молнии. Соответственно, снижена их устойчивость и к воздействиям ЭМИ ЯВ.

Значительная часть энергетических объектов управления и прежде всего их системы электроснабжения и связи не защищены от электромагнитных воздействий ядерного взрыва с повышенным выходом электромагнитной энергии. Названные объекты и системы не оборудованы средствами защиты и не обеспечивают выполнения современных требований по электромагнитной совместимости. При этом применение некоторых специальных мер может существенно повысить степень защищенности.

Например, наряду с процессом применения новых средств коммутации и использованием микропроцессорной техники, интеллектуальной релейной защиты

¹⁰ Syssoev V.S. Definition of Minimum Sparkover Voltages of Long Air Gaps. 5th IEEE Power Tech Conference. Bologna, Italy, 23–26 June, 2003, Paper No. 332.

и автоматики, внедрением новых прогрессивных методов управления и т. д., желательно сохранить в качестве «горячего резерва» шкафы управления, релейной защиты и автоматики, основанные на электромеханических принципах работы. В частности, целесообразно использовать оборудование на принципах работы электромагнитных реле, имеющих существенно более высокий порог защищенности от электромагнитных помех, с возможностью их параллельного (байпасного) присоединения к шкафам, выполненным по технологиям цифровой энергетики.

В другом варианте могут быть использованы меры активной защиты микропроцессорных устройств, предложенные В.И. Гуревичем [2]. При этом функционально последовательно с микропроцессорным устройством релейной защиты вводится быстродействующее электромеханическое реле на герконах. В нормальном режиме чувствительные входы микропроцессорного устройства релейной защиты шунтируются контактами электромеханического реле на герконах. В аварийном режиме при значительном изменении контролируемых параметров (тока, напряжения, мощности) срабатывает электромеханическая релейная защита на герконах, микропроцессорное устройство релейной защиты разблокируется и возвращается в нормальный режим функционирования с сохранением всех уставок и характеристик.

Для повышения надежности работы энергосистемы необходимо проведение организационно-технических мероприятий по быстрому восстановлению поврежденных устройств с использованием технических средств специального хранения запасных частей электронной аппаратуры.

Электронные устройства, без которых невозможно функционирование электроэнергетических объектов, должны снабжаться комплектами ЗИП. Они должны быть заранее настроены, конфигурированы и находиться на месте эксплуатации устройства. Хранение запасных частей электронной аппаратуры должно быть организовано в закрытых металлических контейнерах, обеспечивающих эффективное экранирование от электромагнитного импульса не менее 50 дБ в диапазоне частот от 100 кГц до 1 ГГц [2].

Защитные устройства

В настоящее время используется зонная концепция защиты зданий, сооружений от электромагнитного воздействия атмосферных разрядов и коммутаций в энергетических сетях [4]. Для обеспечения ЭМС в соответствии с этой концепцией выделяются определенные зоны с характерными электромагнитными условиями. Все провода электропитания и связи, пересекающие границы зон, снабжаются защитными устройствами, снижающими перенапряжения.

Для защиты оборудования от грозовых и коммутационных импульсных перенапряжений на границах зон могут применяться [1, 2, 4]:

- устройства коммутирующего типа, которые в пределах рабочего напряжения сохраняют высокое полное сопротивление, а при перенапряжениях их – сопротивление снижается. Примером элементов коммутирующего типа являются разрядники, газовые трубки, динисторы и управляемые тиристоры;

- устройства ограничивающего типа (нелинейные резисторы), которые в отсутствие перенапряжений сохраняют высокое полное сопротивление, но постепенно снижают его с возрастанием волны тока и напряжения. Примером элементов ограничивающего типа являются варисторы и кремниевые лавинные диоды;
- устройства комбинированного типа, в которых защита выполняется при действии элементов, как коммутирующего, так и ограничивающего типа.

Высокая эффективность искровых разрядников, а также большое быстродействие у варисторов и диодов используется для создания гибридных (многоступенчатых) защитных схем и их комбинаций [1, 2, 4]. В такой схеме используются ступени тонкой (ограничительный диод или варистор) и грубой (разрядник) защиты. Этот принцип при повышенных требованиях можно распространить на многоступенчатую защиту. Для подавления помех можно дополнительно использовать LC -фильтр или оптрон.

Другим перспективным способом решения проблемы защиты от перенапряжений и токовой перегрузки электротехнического оборудования является использование в комбинированных устройствах быстродействующего защитного устройства на основе управляемых вакуумных разрядников.

Во ВНИЦ РФЯЦ – ВНИИТФ (г. Истра) разработаны и изготавливаются комбинированные устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) на номинальное напряжение 0,4 кВ с импульсным током до 150 кА и УЗИП на номинальное напряжение 6 кВ, 10 кВ и импульсный ток до 50 кА. Продолжается их совершенствование, в том числе и для обеспечения их эффективности при воздействии ЭМИ ЯВ. На ближайшую перспективу запланировано проведение испытаний УЗИП на имитаторе «Аллюр» и генераторе ГИН 6МВ в целях определения эффективности использования существующих (и перспективных) защитных устройств и систем для обеспечения стойкости электротехнического оборудования, работающего, в частности, под нагрузкой, к воздействию электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва¹¹.

Выводы

Отметим следующие важные аспекты рассмотренной темы.

1. Существующие тенденции обострения военно-политической обстановки в мире, а также несоблюдение соглашений в сфере нераспространения, ограничения и сокращения ядерных вооружений обуславливают актуальность рассмотрения вопросов обеспечения электромагнитной совместимости энергетических систем при воздействии электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва, разработки и внедрения мер по защите от них.

2. Учитывая, что создание новых специальных испытательных установок является дорогостоящим и длительным мероприятием, целесообразно

¹¹ Швец Н.Н., Кузнецов Ю.А., Сысоев В.С., Лепехин Н.М. Использование полигонной установки Испытательного Центра РФЯЦ ВНИИТФ ВНИЦ (г. Истра) для испытаний электротехнического оборудования на стойкость к электромагнитным импульсам наносекундного диапазона: материалы XIV Забабахинских научных чтений. Снежинск, 2019. С. 44.

восстанавливать (модернизировать) существующие стационарные установки и использовать их для создания испытательного полигона, позволяющего проводить испытания на стойкость (как к ЭМИ ВЯВ, так и молниевых разрядов), а также проведения комплексных испытаний оборудования и аппаратных блоков электроэнергетических систем при работе их под нагрузкой. Такой проект экономически разумно реализовать на базе установок, имеющихся на стендах ВНИЦ ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ» (г. Истра).

3. На базе испытательного полигона видится необходимым создание специализированной лаборатории (группы), которая занималась бы вопросами обеспечения ЭМС ВЯВ – как в плане формулировки требований к испытательным импульсам и обеспечения экспериментальной проверки, так и разработки требований к необходимым защитным устройствам, созданием защитных устройств и оценкой их эффективности.

4. При реализации мероприятий Энергетической стратегии России на период до 2035 г. и в документах, разрабатываемых Минэнерго России в связи постановлением Правительства Российской Федерации от 13.08.2018 № 937, необходимо отразить задачи обеспечения устойчивости энергетических объектов Единой энергетической системы России к воздействиям ЭМИ ВЯВ.

5. Назрела необходимость совершенствования государственных стандартов РФ и нормативно-правовой базы в интересах повышения надежности функционирования инфраструктурных систем в условиях применения вероятным противником ядерного оружия.

Отметим, что национальные производители электротехнического и энергетического оборудования, выполнив полигонные испытания на установках имитаторе «Аллюр» и генераторе ГИН 6МВ, получают конкурентные преимущества, так как будут иметь возможность:

- подтвердить устойчивость работы выпускаемой продукции в условиях воздействия грозового электричества, ЭМИ ВЯВ и преднамеренных деструктивных действиях мощных СВЧ-излучателей;
- применить и подтвердить эффективность использования существующих (и перспективных) технических решений по защите выпускаемой продукции от воздействия грозовых перенапряжений, ЭМИ ВЯВ и преднамеренных деструктивных действиях мощных электромагнитных излучателей.

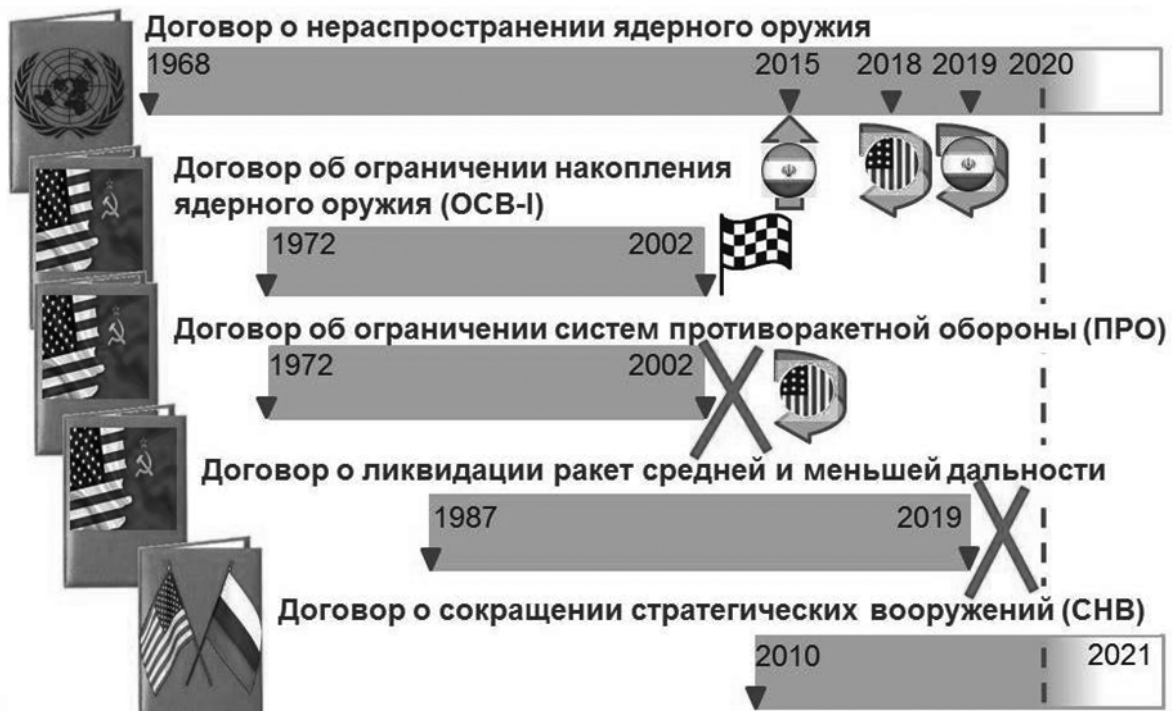
6. Имеющиеся (модернизируемые в настоящее время) уникальные установки Комплексного испытательного центра РФЯЦ – ВНИИТФ (г. Истра) «Аллюр» и ГИН 6МВ могут стать базовыми при решении вопроса практического испытания энергетического оборудования на стойкость к ЭМИ высотного ЯВ и позволят проводить такие испытания в режиме реальных условий эксплуатации, что значительно повысит объективность полученных результатов.

Рисунок 1

Соглашения в сфере нераспространения, ограничения и сокращения ядерных вооружений

Figure 1

Agreements on non-proliferation, restriction and curtailment of nuclear weapons



Источник: авторская разработка

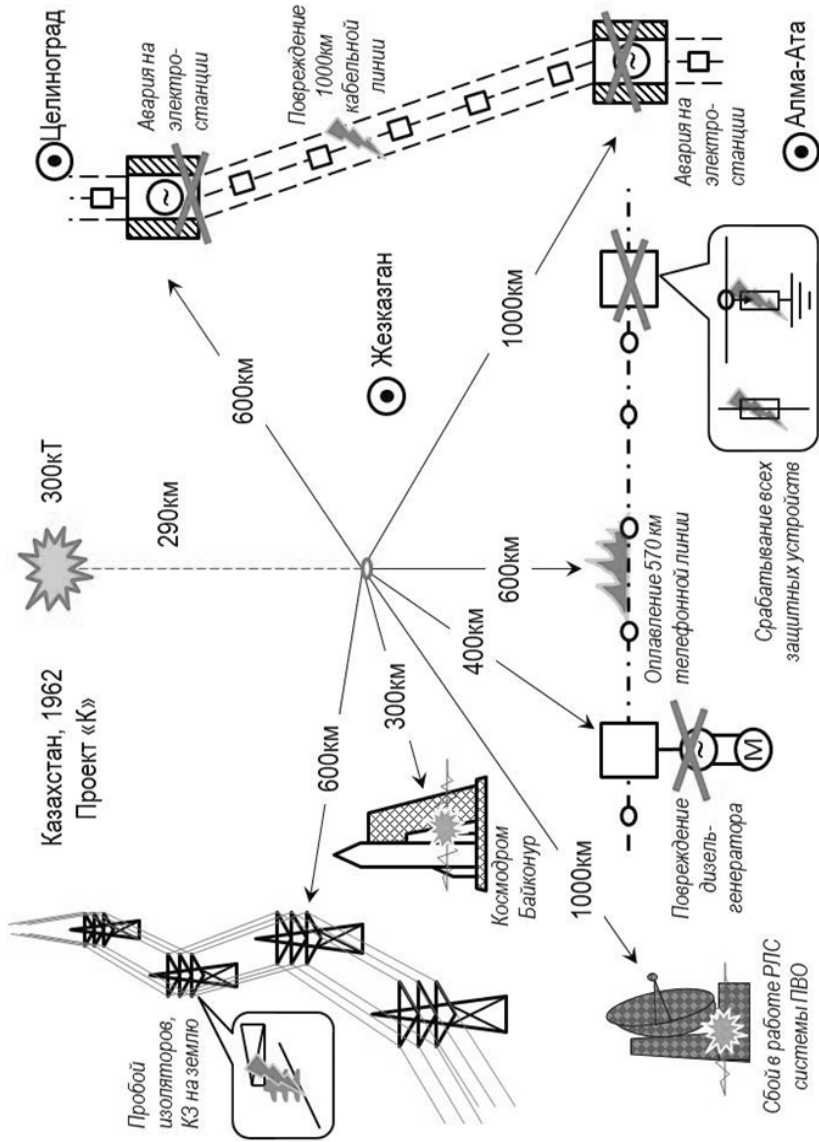
Source: Authoring

Рисунок 2

Пример нарушения в работе электроэнергетической системы от воздействия электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва

Figure 2

The case of a power generation system breakdown due to the electromagnetic impulse of the high-altitude nuclear explosion



Источник: Loborev V.M. Up to Date State of the NEMP Problems and Topical Research Directions. EUROEM Conference. Bordeaux, France, June 1994, pp. 15–21

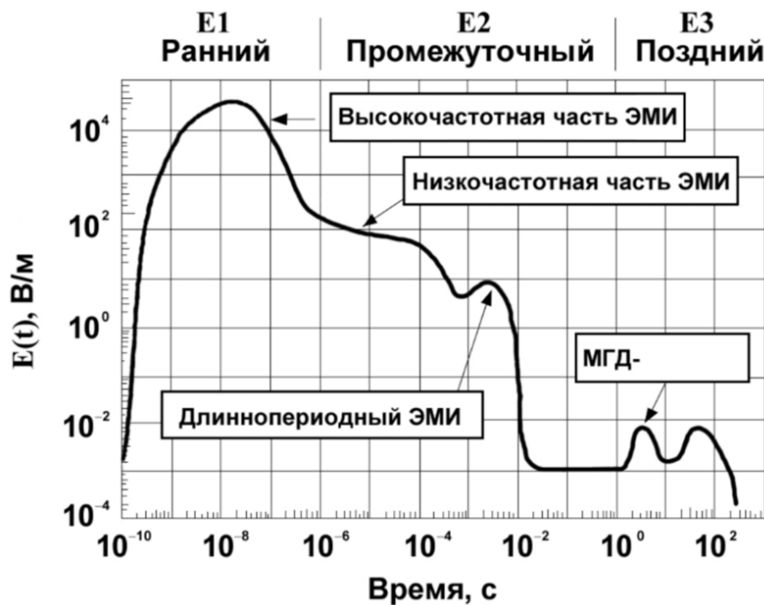
Source: Loborev V.M. Up to Date State of the NEMP Problems and Topical Research Directions. EUROEM Conference. Bordeaux, France, June 1994, pp. 15–21

Рисунок 3

Электрическое поле при высотном ЯВ: компоненты E1, E2, E3

Figure 3

Electric field in case of high-altitude nuclear explosion: Components E1, E2, E3



Источник: [7]

Source: [7]

Рисунок 4

**Уникальные испытательные установки КИЦ ВНИЦ РФЯЦ – НИИТФ (г. Истра):
a – комплексный испытательный центр РФЯЦ – ВНИИТФ на базе ВНИЦ; b – установка «Аллюр»; c – генератор ГИН 6МВ**

Figure 4

**Unique test equipment of the Russian Federal Nuclear Center Complex Testing Center – All-Russian Research Institute of Technical Physics named after Academician Zababakhin (Istra):
a – Complex Test Center at the Russian Federal Nuclear Center; b – Allyur equipment;
c – pulse voltage generator 6MV**





Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Гуревич В.И. Электромагнитный импульс высотного ядерного взрыва и защита электрооборудования от него. М.: Инфра-Инженерия, 2019. 516 с.
2. Гуревич В.И. Защита оборудования подстанций от электромагнитного импульса. М.: Инфра-Инженерия, 2016. 302 с.
3. Любомудров А.А. Теоретические основы физических процессов ядерного взрыва. М.: Физматлит, 2017. 320 с.
4. Шваб А. Электромагнитная совместимость / под ред. И.П. Кужекина. М.: Энергоатомиздат, 1998. 480 с.

5. Gurevich V. A Complementary View of HEMP for Electrical Engineers. *International Journal of Electrical and Electronics Research*, 2018, vol. 6, iss. 2, pp. 76–89.
URL: http://gurevich-publications.com/articles_pdf/hemp_for_electrical_engineers.pdf
6. Klein K.V., Barnes P.R., Zininger H.V. Electromagnetic Impulse and Electrical Power Network. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1985, vol. PAS-104, no. 6.
7. Кечиев Л.Н., Балюк Н.В. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС / под редакцией Л.Н. Кечиева. М.: Грифон, 2014. 448 с.
8. Сысоев В.С., Макальский Л.М., Никитин О.А., Щербаков Ю.В. Экспериментальные исследования электрической прочности длинных и сверхдлинных воздушных промежутков // *Электро*. 2002. № 3. С. 4–8.
9. Бондалетов В.Н., Филиппов В.Г., Леменчук Ф.Э. и др. Высоковольтный научно-исследовательский центр Всероссийского электротехнического института им. В.И. Ленина // *История науки и техники*. 2011. № 9. С. 71–86.
10. Кужекин И.П. и др. Электромагнитная совместимость электрической части атомных станций. М.: Знак, 2006. 280 с.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

ON RUSSIA'S ENERGY SECURITY IN THE FACE OF THE ELECTROMAGNETIC PULSE OF A HIGH-ALTITUDE NUCLEAR EXPLOSION

Nikolai N. SHVETS^{a,*}, Aleksandr I. ORLOV^b, Vladimir S. SYSOEV^c,
Nikolai M. LEPEKHIN^d, Evgenii V. BASOV^e

^a MGIMO University of the Russian Foreign Ministry,
Moscow, Russian Federation
Nikolay.Shvets@vniitf.ru
ORCID: not available

^b Russian Federal Nuclear Center –
Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics (RFNC – VNIITF),
Istra, Moscow Oblast, Russian Federation
A.I.Orlov42@vniitf.ru
ORCID: not available

^c Russian Federal Nuclear Center –
Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics (RFNC – VNIITF),
Istra, Moscow Oblast, Russian Federation
V.S.Sysoev@vniitf.ru
ORCID: not available

^d Russian Federal Nuclear Center –
Zababakhin All-Russia Research Institute of Technical Physics (RFNC – VNIITF),
Istra, Moscow Oblast, Russian Federation
N.M.Lepelin@vniitf.ru
ORCID: not available

^e MGIMO University of the Russian Foreign Ministry,
Moscow, Russian Federation
Evgeny.Basov@vniitf.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 476/2020
Received 13 August 2020
Received in revised form
30 August 2020
Accepted 16 Sept 2020
Available online
13 November 2020

JEL classification: Q47,
Q48, Q49

Abstract

Subject. Escalating international tensions make nuclear attacks more possible, such as a high-altitude nuclear explosion, which mainly threatens with the electromagnetic pulse. It can destroy modern electrotechnical equipment, especially if it is fitted with microprocessor equipment.

Objectives. The study presents considerations on the resilience of infrastructure systems provided they are exposed to the electromagnetic pulse of a high-altitude nuclear explosion.

Methods. The study is based on methods of systematization, analysis and comparison.

Results. We suggest writing infrastructure system requirements into all regulatory, legislative and legal documents on the energy security and electromagnetic compatibility in case of the electromagnetic pulse of a nuclear explosion. The issue can possibly be solved as professionals gather sufficient theoretical, experimental and practical data. We provide the rationale for using properly upgraded testing facilities owned by the Russian Federal Nuclear Centre of Rosatom, and making a special task-force, which could be deal with ensuring the protection of civil targets.

Keywords: energy security, electromagnetic pulse, high-altitude nuclear explosion

Conclusions and Relevance. We provide the rationale for field tests of electrical facilities of infrastructure systems, including energized ones and having different load. As a result of such field test, it will be possible to determine whether the existing (and future) protective facilities and systems are efficiently used to ensure the resilience of electrotechnical equipment to the electromagnetic impulse of a high-altitude nuclear explosion, deliberate destructive effects of powerful electromagnetic generators, lightning overvoltage.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2020

Please cite this article as: Shvets N.N., Orlov A.I., Sysoev V.S., Lepekhin N.M., Basov E.V. To Russia's Energy Security Given the Impact of Electromagnetic Pulse of the High-Altitude Nuclear Explosion. *National Interests: Priorities and Security*, 2020, vol. 16, iss. 11, pp. 2036–2059. <https://doi.org/10.24891/ni.16.11.2036>

References

1. Gurevich V.I. *Elektromagnitnyi impul's vysotnogo yadernogo vzryva i zashchita elektrooborudovaniya ot nego* [Electromagnetic pulse of high-altitude nuclear explosion and the protection of electrical equipment]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2019, 516 p.
2. Gurevich V.I. *Zashchita oborudovaniya podstantsii ot elektromagnitnogo impul'sa* [Protecting the substation equipment from electromagnetic pulse]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2016, 302 p.
3. Lyubomudrov A.A. *Teoreticheskie osnovy fizicheskikh protsessov yadernogo vzryva* [Theoretical principles of physical processes of a nuclear explosion]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2017, 320 p.
4. Schwab A. *Elektromagnitnaya sovmestimost'* [Elektromagnetische Verträglichkeit]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1998, 480 p.
5. Gurevich V. A Complementary View of HEMP for Electrical Engineers. *International Journal of Electrical and Electronics Research*, 2018, vol. 6, iss. 2, pp. 76–89. URL: http://gurevich-publications.com/articles_pdf/hemp_for_electrical_engineers.pdf
6. Klein K.V., Barnes P.R., Zininger H.V. Electromagnetic Impulse and Electrical Power Network. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1985, vol. PAS-104, no. 6.
7. Kechiev L.N., Balyuk N.V. *Zarubezhnye voennye standarty v oblasti EMS* [Foreign military standards of electromagnetic compatibility]. Moscow, Grifon Publ., 2014, 448 p.
8. Sysoev V.S., Makal'skii L.M., Nikitin O.A., Shcherbakov Yu.V. [Experimental studies of the electrical strength of long and ultra-long air intervals]. *Elektro*, 2002, no. 3, pp. 4–8. (In Russ.)
9. Bondaletov V.N., Filippov V.G., Lemenchuk F.E. et al. [High-voltage Scientific Research Center of the All-Russian Electrotechnical Institute named after V.I. Lenin.

Istra]. *Istoriya nauki i tekhniki = History of Science and Technology*, 2011, no. 9, pp. 71–86. (In Russ.)

10. Kuzhekin I.P. et al. *Elektromagnitnaya sovместimost' elektricheskoi chasti atomnykh stantsii* [Electromagnetic compatibility of the electrical component of nuclear power plants]. Moscow, Znak Publ., 2006, 280 p.

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.