

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2022-1-50-63](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-1-50-63)

Сейсмический риск и ущерб

Повреждения объектов электросетевого хозяйства при землетрясениях

Калиберда И.В.¹, Нефёдов С.С.¹

¹ФБУ «Научно-технический центр Энергобезопасность»

Аннотация:

Электросетевое хозяйство (ЭСХ) является одной из систем жизнеобеспечения территорий. В зоне 7 и более баллов сейсмической шкалы MSK-64 находится примерно 30% объектов ЭСХ РФ. Имеющиеся данные свидетельствуют об уязвимости ЭСХ при землетрясениях. При этом объекты ЭСХ оказываются менее сейсмостойкими, чем объекты электрогенерации (электростанции), а оборудование ЭСХ - менее сейсмостойким, чем здания и сооружения, в которых оно установлено.

Цель работы – выработка рекомендаций по повышению сейсмостойкости основных объектов ЭСХ – линий электропередачи (ЛЭП) и трансформаторных подстанций (ТПС) – на основе анализа типичных сейсмических повреждений оборудования этих объектов.

Анализ показывает, что основными причинами сейсмических повреждений воздушных ЛЭП являются упругие колебания опор и их разнонаправленные взаимные движения, возникающие вследствие попадания опор в разные фазы сейсмической волны. Упругие колебания опор приводят к деформации уголков решётки под действием поперечной силы, разрушению фундаментных частей опор и обрывам заземляющих проводников. Вследствие разнонаправленных движений опор происходят динамические изменения тяжения проводов воздушных ЛЭП, обрывы проводов и разрывы кабелей кабельных ЛЭП.

Основным оборудованием ТПС являются силовые трансформаторы, коммутационное оборудование и аппаратура релейной защиты и автоматики (РЗА). Сейсмические повреждения силовых трансформаторов, в основном, связаны с их смещением при землетрясениях. Вследствие смещений происходят рывки и повреждения электрических связей - гибких (провода) или жёстких (ошиновка), увеличение усилий, передаваемых на проходные изоляторы трансформатора (фарфор), следствием чего являются излом последних, короткие замыкания и пожары. Наблюдаются также деформации бака и маслопроводов трансформаторов, приводящие к утечке масла, образованию горючих газов в баке, коротким замыканиям, пожарам и взрывам. Основное повреждение коммутационных аппаратов при землетрясениях - разрушение электроизолирующих фарфоровых колонок, на которых установлены аппараты. Следствием этого оказывается падение коммутационных аппаратов. Повреждения РЗА связаны в основном с деформацией и опрокидыванием плохо закреплённых шкафов РЗА, а также с отказами и ложными срабатываниями недостаточно сейсмостойких контактных элементов.

На основе анализа типичных повреждений объектов ЭСХ разработаны рекомендации по повышению их сейсмостойкости.

@ Калиберда И.В., Нефёдов С.С., 2022

Ключевые слова: электросетевое хозяйство, линия электропередачи, трансформаторная подстанция, землетрясение, повреждаемость, сейсмостойкость

Для цитирования: Калиберда И.В., Нефёдов С.С. Повреждения объектов электросетевого хозяйства при землетрясениях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 1. С. 50-63.

DOI: [10.37153/2618-9283-2022-1-50-63](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-1-50-63)

Seismic risk and damage

Seismic damages of electric grid facilities

I.V. Kaliberda¹, Sergey S. Nefedov¹

¹Federal Budget Institution “Scientific and Engineering Centre for Energy Safety”

Abstract:

Electric grid facilities (EGF) are the part of life support system of territories. About of 30% of EGF of RF lay in the zone of 7 and more units of 12-units seismic scale MSK-64. Experience shows high damageability of EGF at earthquakes. At earthquake EGF objects show less seismic resistance than objects of electric generation (electric stations). Equipment of EGF objects shows less seismic resistance than civil structures, in which it is installed.

The object of this work is to create the recommendations for improvement of seismic resistance of main EGF objects – electric transmission lines (ETL) and transformer substations (TSS) – on the base of analysis of typical damages of these objects.

Analysis shows that main reasons of seismic damages of air ETL are elastic oscillations of transmission towers as well as their opposite mutual movement if occurs in different phases of seismic wave. Elastic oscillations cause deformation of truss angles due to shear force, damage of foundation and rupture of earth conductors. Opposite mutual movements cause dynamic changes of tension of line of air ETL, rupture of line conductors and rupture of cables of cable ETL

Main equipment of TSS includes power transformers, switching equipment and apparatus of relay defense and automatics (RDA). Seismic damages of power transformers are mainly caused by their displacements at earthquake. As a result of the displacements occur jerks and damages to electrical connections - flexible (wires) or rigid (bushing), which cause increase in the forces transmitted to the transformer insulators (porcelain) and lead to breakage of the latter, short circuits and fires. Main damages of switching equipment at earthquakes are connected with the cracking and break of porcelain insulating columns which are often used as a support of switching apparatus. This causes damage and fall of apparatus. Damages of RDA are mainly connected with deformation and fall of electric cabinets and also with fault or false action of contact elements with not enough seismic resistance.

On the base of analysis of seismic damages of equipment of EGF objects the recommendations for improvement of their seismic resistance are proposed.

Keywords: electric grid facilities, transmission line, transformer substations, earthquake, damageability, seismic resistance

For citation: I.V. Kaliberda, Sergey S. Nefedov Seismic damages of electric grid facilities. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety*. 2022, no. 1, pp. 50-63 (In Russian). DOI: [10.37153/2618-9283-2022-1-50-63](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-1-50-63)

1. Цель и методика работы

В соответствии с Федеральным законом «Об электроэнергетике» [1] к объектам электросетевого хозяйства (ЭСХ) отнесены линии электропередачи (ЛЭП), трансформаторные подстанции (ТПС) и иное оборудование, предназначенное для передачи электрической энергии от объектов электрогенерации (электростанций) к потребителю и преобразования её в приемлемую для потребителя форму. ЭСХ России включает более 2,5 млн. км линий электропередачи и более 500 тысяч трансформаторных подстанций с общей мощностью трансформаторов более 800 тыс. МВА.

Около 30% от всей протяженности электрических сетей и мощностей трансформаторов электросетевого хозяйства России размещено на сейсмически опасных территориях, сейсмичность которых по шкале MSK-64 составляет 7 баллов и выше. Обеспечение сейсмостойкости находящихся в эксплуатации объектов ЭСХ, является актуальной задачей. Однако опыт реальных землетрясений свидетельствует об уязвимости объектов ЭСХ при сейсмическом воздействии.

Задачами настоящей работы являлись сбор и анализ натурной информации о сейсмических повреждениях объектов ЭСХ и выработка рекомендаций по оценке и повышению сейсмостойкости этих объектов для специалистов Ростехнадзора, выполняющих плановые проверки данных объектов.

Следует отметить, что в материалах по анализу последствий землетрясений основное внимание, как правило, уделяется повреждениям зданий и сооружений различного назначения. Что касается объектов ЭСХ, то сведения об их повреждениях являются неполными и носят отрывочный характер.

В настоящей работе выявление и анализ характерных сейсмических повреждений объектов ЭСХ проводилось с использованием следующих источников натурной информации:

- имеющихся данных научно-технической литературы;
- собственных наблюдений авторов при обследовании объектов энергетики после сильных землетрясений;
- результатов опроса специалистов территориальных управлений Ростехнадзора.

Последний источник информации оказался весьма информативным. Своими наблюдениями по повреждениям объектов ЭСХ при землетрясениях различной интенсивности поделились специалисты энергонадзора из 11 территориальных управлений Ростехнадзора, в том числе расположенных в зонах высокой сейсмичности.

2. Общие данные об уязвимости объектов ЭСХ при землетрясениях

Детальный анализ уязвимости ЭСХ при сейсмических воздействиях был выполнен специалистами Минэнерго СССР на основе уроков Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. в Армении [2]. Этот анализ остаётся актуальным и в настоящее время, т.к. основан на данных о повреждениях отечественного электрооборудования, принципиальные решения которого подобны тем, которые используются российскими производителями в настоящее время.

Как отмечено в [2], в результате Спитакского землетрясения интенсивностью VIII-IX баллов по шкале MSK-64 практически полностью вышло из строя коммунальное электроснабжение городов Спитак и Лениакан (ныне Гюмри). Были полностью разрушены 1300 км воздушных и кабельных ЛЭП, а 950 км были

разрушены частично. Были полностью разрушены 40 подстанций, а 115 подстанций получили повреждения различной степени.

По данным [3] при Шикотанском землетрясении 4(5) октября 1995 г. (Курильские острова) обрывы воздушных ЛЭП происходили даже на отдалённых островах, в том числе в районе г. Курильска на о. Итуруп (~200 км), где интенсивность землетрясения составляла всего VI баллов по шкале MSK-64. При этом серьёзные повреждения зданий и сооружений отсутствовали.

При землетрясении 1990 г. в Молдавии интенсивностью 7 баллов по шкале MSK-64 при отсутствии значительных повреждений зданий ТПС возникли перерывы в электроснабжении 157 населённых пунктов вследствие отключения 47 воздушных ЛЭП и 44 подстанций по причине отказов и ложных срабатываний аппаратуры.

При Нефтегорском землетрясении 28.05.1995 сила толчков в эпицентре, по разным оценкам, достигала VIII-X баллов. Были выведены из строя 300 километров линий связи и 200 километров линий электропередачи [4].

Массовые повреждения электросетевого хозяйства при землетрясениях отмечены также за рубежом. В результате землетрясения 17 октября 1989 г. в Калифорнии были разрушены системы коммунального электроснабжения в трёх районах США. Во время землетрясения на Тайване 21 сентября 1999 г., при котором сейсмические ускорения составляли около $1,5 \text{ м/с}^2$ (примерно соответствует VIII баллам шкалы MSK-64), произошёл массовый выход из строя подстанций и ЛЭП несмотря на то, что основные электростанции, в том числе атомные, не были выведены из строя. Как отмечено в [5], обширные повреждения ЛЭП были отмечены при Измитском землетрясении, произошедшем в Турции 17 августа 1999 г. (магнитуда 7,6; интенсивность ~IX баллов шкалы MSK-64). Аналогичная ситуация с выходом из строя ЛЭП имела место и в других сейсмически активных районах (см, например, [6]).

Обобщённые данные о характере и объёмах повреждения электросетевого хозяйства при землетрясениях различной интенсивности, имевших место на территории нашей страны, приведены в табл.1, которая построена с использованием данных работы [7] и результатов настоящей работы.

Таблица 1. - Последствия землетрясений на объектах электросетевого хозяйства

Table 1. – Consequences of earthquakes for the electric grid facilities

Интенсивность землетрясения, баллы MSK-64	Характерные повреждения объектов электросетевого хозяйства
V	Редкие перебои работоспособности. Повреждений зданий, опор воздушных линий, оборудования нет.
VI	Здания, опоры воздушных линий и оборудование в целом не повреждены. Наблюдается незначительное смещение высоковольтного оборудования — вероятность размыкания шин и повреждения оборудования. Кратковременное нарушение работоспособности. Восстановительные работы могут быть проведены за несколько часов.
VII	Повреждения зданий подстанций. Незначительное количество опор ЛЭП повреждены. Незначительное количество кабельных линий и кабельных сооружений повреждены. Кратковременное нарушение работоспособности. Восстановительные работы могут быть проведены за несколько часов.
VIII	Сильные повреждения зданий ПС. Наблюдаются течи масла силовых трансформаторов, смещение коммутационного силового оборудования, незначительные повреждения оборудования внутри здания. Восстановительные работы могут быть проведены за несколько дней.
IX	Большинство зданий имеют сильные повреждения, некоторая часть разрушена. Часть оборудования внутри ПС разрушена, силовые трансформаторы смещены, разрушение высоковольтных вводов и разлив масла. Силовое оборудование неработоспособно. Время восстановления может быть продолжительным.
X-XI	Здания ПС серьезно повреждены или разрушены полностью. Сход с рельсов силовых трансформаторов, их опрокидывание, смещение или разрушение высоковольтных вводов. Разрушение силовых выключателей, разъединителей, трансформаторов тока и напряжения, разрыв ошиновки. Сильные повреждения воздушных ЛЭП. Время восстановления может быть продолжительным или необходима полная перестройка объекта.

3. Характерные сейсмические повреждения ЛЭП

Полученные данные позволяют выявить две основные причины сейсмических повреждений воздушных ЛЭП: упругие колебания опор и их разнонаправленные взаимные движения, возникающие вследствие попадания опор в разные фазы сейсмической волны.

Упругие колебания опоры ЛЭП определяются как её заделкой в фундаменте, так и наличием нелинейно-упругой опоры в зоне вершины. Функцию этой опоры выполняют провода и тросы примыкающих пролётов ЛЭП, препятствующие

свободному перемещению вершины опоры. В случае сейсмических колебаний опоры вдоль трассы ЛЭП в зоне вершины возникает дисбаланс тяжения проводов и тросов соседних пролётов. Этот дисбаланс, суммируясь с силой инерции масс, формирует поперечную силу, воздействующую на опору.

Обследования результатов землетрясений, а также испытания фрагментов ЛЭП, выполненные на сейсмозврывном стенде НИЦ 26 ЦНИИ МО РФ [8, 9], показали, что к числу наиболее характерных повреждений воздушных ЛЭП относятся деформации металлических уголков решётчатых опор под действием поперечной силы и разрушение фундаментных частей опор.

Разнонаправленные колебания соседних опор ЛЭП приводят к динамическому изменению тяжения проводов (рис.1) с выходом их из зацепления в узлах крепления к опоре. Как правило, эти узлы являются фрикционными и организуются с помощью зажимов, хомутов. В результате динамических изменений тяжения проводов силы трения в узле может оказаться недостаточно, что приведёт к выходу провода из зацепления и его падению.

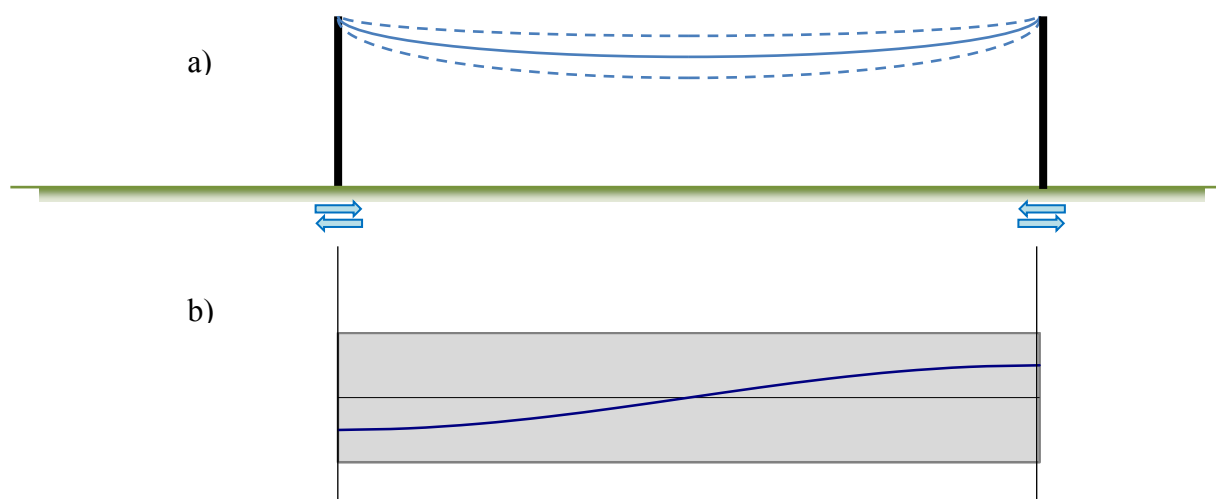


Рис. 1. Попадание соседних опор ЛЭП в разные фазы сейсмической волны
а – расположение опор ЛЭП; б – сейсмическая волна сжатия

Fig 1. Mutual movements of transmission towers in different phases of seismic wave
a – layout of transmission towers; b – seismic wave of compression

Часто наблюдаемым сейсмическим повреждением воздушных линий электропередачи является разрушение заземлений опор с обрывом заземляющих проводников. В горных районах дополнительной причиной падения и разрушения опор ЛЭП являются камнепады, вызванные землетрясением.

На ряде ЛЭП находят применение мачтовые опоры на оттяжках. Характерным повреждением мачтовых опор при землетрясениях являются подвижки анкерных фундаментов оттяжек, в том числе смещения анкерных фундаментов вверх относительно проектной отметки. Эти смещения сопровождаются ослаблением оттяжек, натяжение которых обеспечивает стабильность положения опор. Также наблюдаются обрывы оттяжек.

У кабельных линий также отмечаются повреждения при сейсмических воздействиях, наиболее характерным из которых являются разрывы кабелей. Причиной

этих повреждений являются взаимные разнонаправленные перемещения конечных точек линии.

4. Характерные сейсмические повреждения оборудования ТПС

Основным оборудованием ТПС являются силовые трансформаторы, коммутационное оборудование (воздушные и масляные выключатели, разъединители и др.), аппаратура релейной защиты и автоматики (РЗА). Уроки землетрясений свидетельствуют о высокой уязвимости оборудования подстанций при интенсивных сейсмических воздействиях.

4.1. Сейсмические повреждения силовых трансформаторов.

Электрическая энергия передаётся от электростанций под высоким напряжением (220-500 кВ). Силовые трансформаторы подстанций обеспечивают снижение напряжения электрического тока до приемлемого для потребителя уровня.

Сейсмические повреждения силовых трансформаторов, в основном, связаны с их смещением. Силовые трансформаторы, как правило, устанавливаются на колёсах, катках, салазках и т.п. опорах, являющихся односторонними связями, обеспечивающими надёжное опирание только при пригрузе собственным весом трансформатора. В процессе землетрясения кроме горизонтальных колебаний грунта возникают также вертикальные колебания.

На рис.2 показана траектория (сглаженная) движения точки, расположенной на свободной поверхности грунта, на площадке АЭС Кашивадзаки-Карива (Япония) при одном из афтершоков землетрясения интенсивностью IX баллов. Траектория получена в [10] как результат суммирования колебательных смещений путём обработки реальных трёхкомпонентных акселерограмм. Видно, что в результате точка O переходит в положение O' , совершая не только горизонтальные, но и значительные вертикальные перемещения.

Ускорение вертикальных колебаний a_z в определённой фазе колебаний вычитается из ускорения свободного падения g . В результате снижается пригруз и сила трения колеса о рельс, что может приводить к смещению трансформатора по горизонтали, отрыву его от опоры, сбросу трансформатора с рельсов и его падению (рис.3).

В результате смещения трансформатора происходит нарушение его электрических связей, которые могут быть как гибкими в виде проводов, так и жёсткими в виде ошиновки. Динамические смещения трансформатора при землетрясении приводят к рывкам электрических связей и к увеличению усилий, передаваемых ими на проходные изоляторы трансформатора, выполненные из фарфора. Наиболее резкие рывки имеют место в случае жёсткой ошиновки, которая, как правило, применяется в случае трансформаторов большой мощности. Разрушение проходных изоляторов приводит к коротким замыканиям, которые могут быть причиной пожаров, сопровождающих землетрясения (рис.4). Применение гибких связей позволяет снизить вероятность коротких замыканий и пожаров на ТПС при землетрясениях.

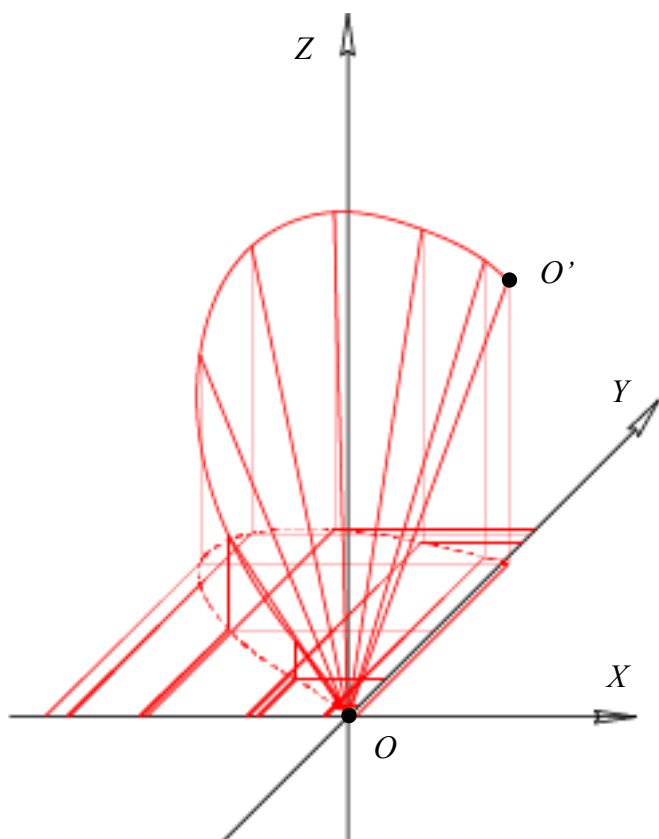


Рис 2. Траектория движения точки, расположенной на свободной поверхности грунта, при землетрясении интенсивностью IX баллов

Fig 2. Trajectory of movement of the point of free soil surface at the earthquake with intensity of IX units

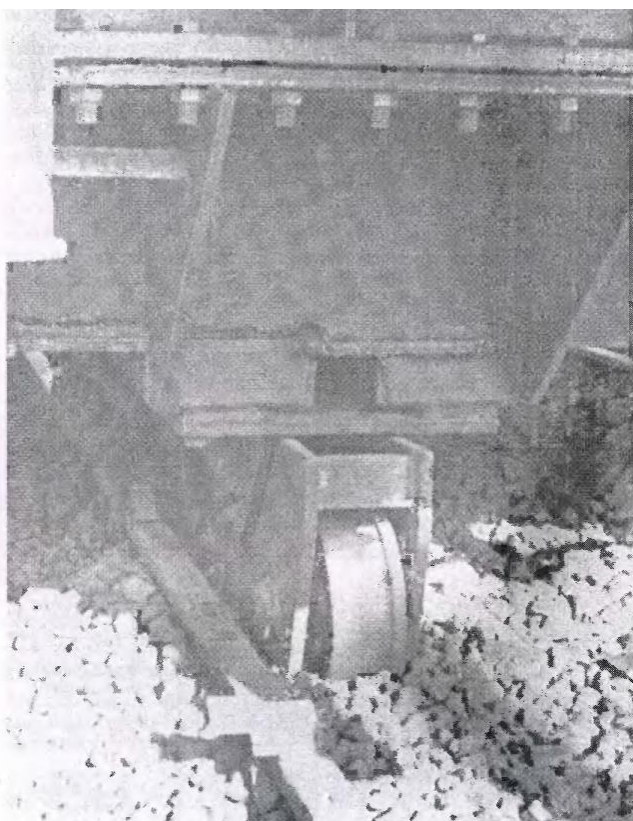


Рис 3. Смещение и падение трансформатора с рельсов при Спитакском землетрясении в Армении 1988 г.

Fig 3. Displacement and fall of transformer from rails at Spitak earthquake in Armenia in 1988

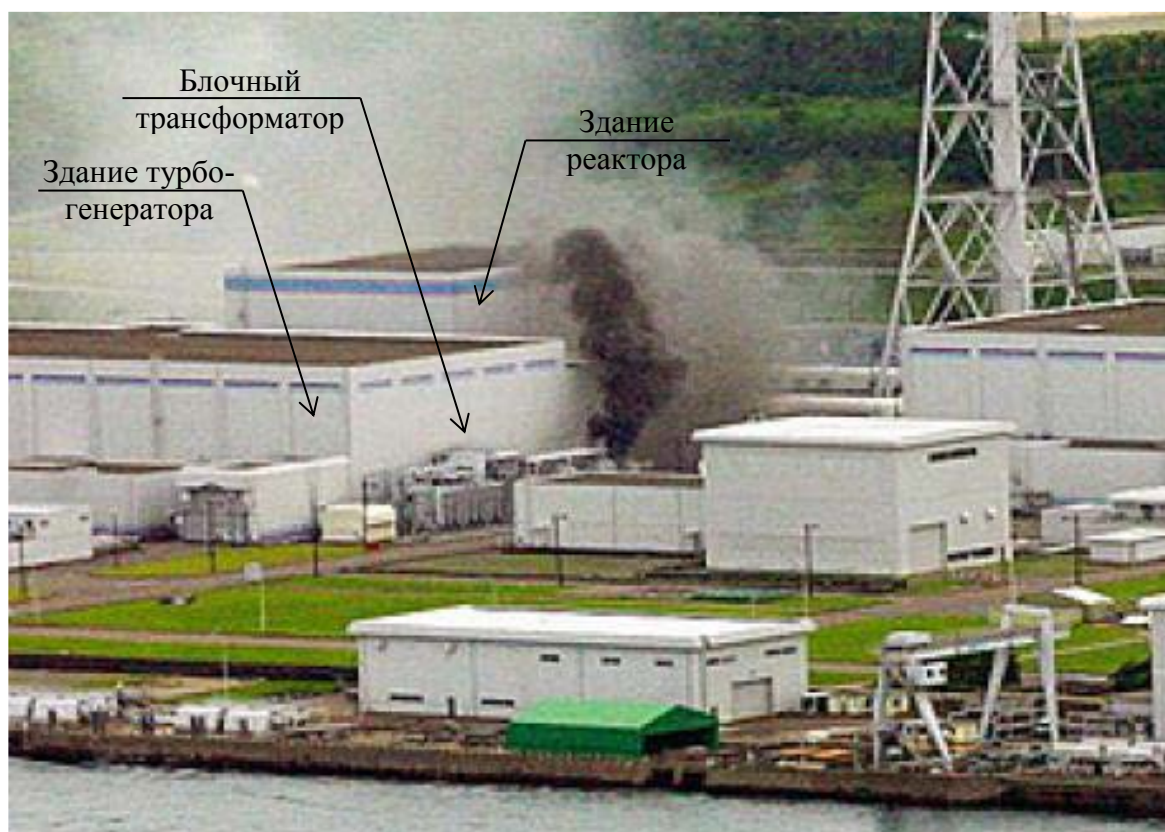


Рис.4. Пожар на АЭС в результате смещения блочного трансформатора и короткого замыкания вследствие землетрясения. Фото компании ТЕРСКО (Япония)

Fig.4. Fire on the NPP as a result of displacement of main transformer and short circuit due to earthquake. Photo of company TEPCO (Japan)

Помимо смещений при землетрясениях наблюдаются деформации бака, маслопроводов и других элементов трансформаторов, что вызывает нарушение плотности соединений и в результате утечку масла из трансформаторов (рис.5).

Как отмечено в [2], сейсмические воздействия вызывают колебания активных частей трансформаторов внутри баков, что может приводить к коротким замыканиям. В сочетании с утечкой масла и образованием горючих газов в баке данные короткие замыкания оказываются причинами пожаров и взрывов, имевших место на подстанциях при землетрясениях. Опасность пожаров и взрывов на трансформаторах может быть уменьшена при установке датчиков уровня масла, газовых датчиков, а также автоматики, отключающей трансформатор при коротком замыкании (дифференциальная защита).

4.2. Сейсмические повреждения коммутационного оборудования.

Коммутационное оборудование ТПС - выключатели, разъединители и другие аппараты, предназначенные для приёма и распределения потоков электрической энергии. Имеющиеся данные показывают, что для коммутационного оборудования ТПС характерна весьма высокая повреждаемость при землетрясениях.

По данным [2] основным повреждением коммутационных аппаратов при землетрясениях является разрушение фарфоровых изоляторов, выполняемых в виде колонок. С помощью фарфоровых колонок осуществляется контакт коммутационных

аппаратов с электрическими проводниками (проводами или шинами). Колонковые изоляторы могут использоваться как опоры коммутационных аппаратов (рис. 6). Высота фарфоровых колонок может быть значительной и определяется требуемым электрическим сопротивлением.



Рис.5. Утечка масла из трансформаторов на АЭС вследствие землетрясения.
Фото компании ТЕРСО (Япония)

Fig.5. Leak of oil from transformer at NPP due to earthquake.
Photo of company TEPCO (Japan)

Фарфор хорошо работает на сжатие, но проявляет хрупкие свойства при растяжении и изгибе. При сейсмических колебаниях фарфоровые колонки испытывают интенсивный изгиб от воздействия сил инерции установленного на них оборудования. Дополнительным источником изгиба являются динамические воздействия (рывки) от присоединённых электрических проводников. Результатом оказывается излом фарфоровых изоляторов, нарушение стабильности положения и падение коммутационного оборудования (рис.7).

4.3. Сейсмические повреждения аппаратуры РЗА.

При сейсмических воздействиях могут возникать повреждения и отказы (ложные срабатывания) аппаратуры РЗА подстанций, возникающие вследствие вибрации, а также вследствие нарушения стабильности положения и падения плохо закреплённых шкафов РЗА. Падения шкафов сопровождаются повреждением цепей управления.

Результаты испытания шкафов на сеймоплатформах, представленные в [9], показывают, что наиболее характерными повреждениями шкафов РЗА являются:

а) механические повреждения (деформации или разрушения узлов крепления шкафов, корпуса шкафов, деформации каркаса, створок дверей);

б) деформация или поломка внутренних узлов и элементов (разрушение проходных и опорных изоляторов шкафов, разрушение плат и текстолитовых корпусов; выпадение электроизмерительных приборов);

в) ложные срабатывания контактных элементов, самопроизвольное замыкание и размыкание в момент воздействия нагрузки.

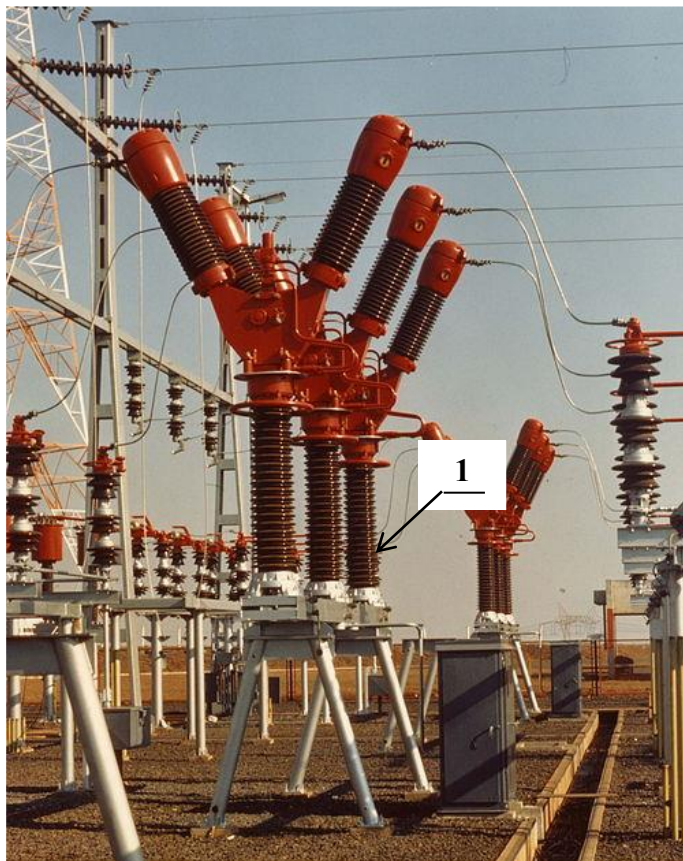


Рис.6 Современный элегазовый выключатель распределительного устройства ТПС (по [11])
1 – фарфоровые колонки

Fig.6 Up-to-date gas-insulated circuit breaker of switch facility of TSS
1 – porcelain insulating columns

Механические повреждения шкафов РЗА связаны с чрезмерным размахом их колебаний при землетрясениях. Они могут быть предотвращены дополнительным креплением шкафов, даже если это не предусмотрено проектной документацией.

Ложные срабатывания контактных элементов связаны с недостаточной сейсмостойкостью оборудования. На объекты ЭСХ, расположенные в сейсмически опасных зонах, шкафы РЗА должны поставляться в сейсмостойком исполнении.

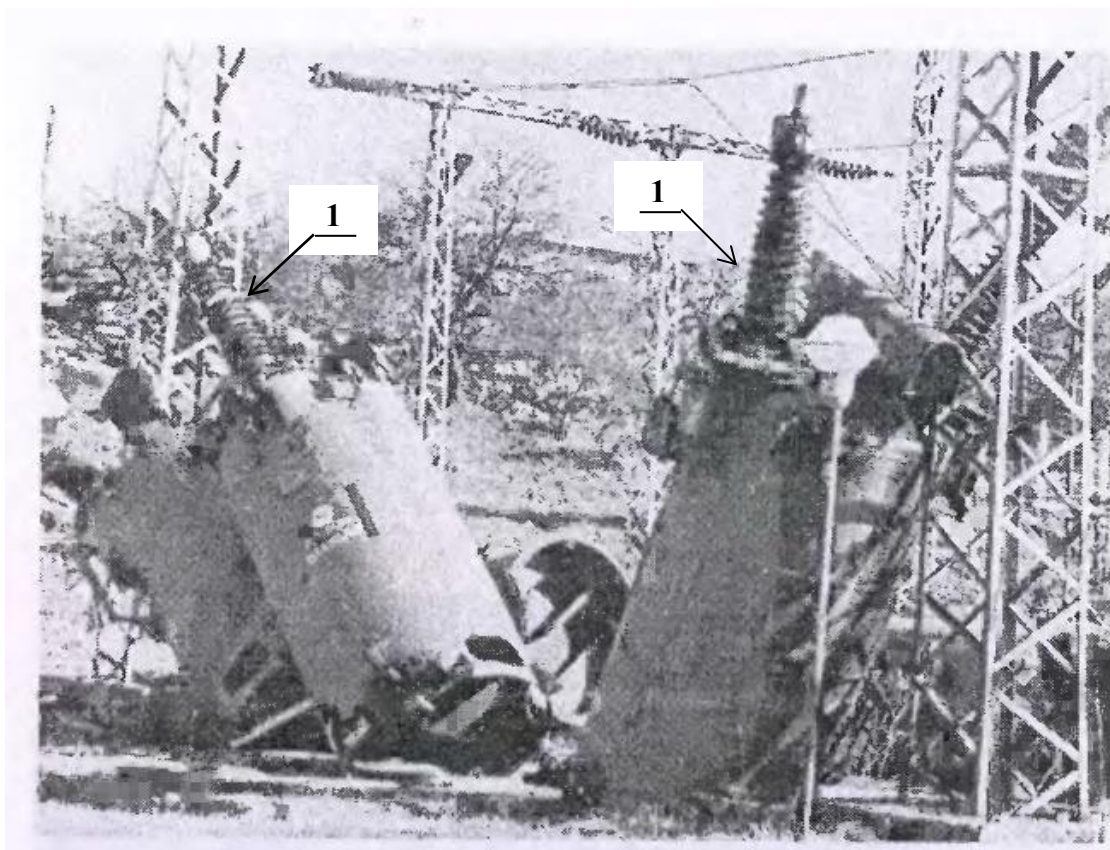


Рис.7 Разрушение масляных выключателей на напряжение 110 кВ при Спитакском землетрясении 1988 г. (Армения)

1 – повреждённые фарфоровые колонки

Fig.7 Break of 110kV oil circuit breakers at Spitak earthquake in 1988 (Armenia)

1 – damaged porcelain columns

5. Заключение

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

А. Полученные данные свидетельствуют об уязвимости объектов электросетевого хозяйства при интенсивных сейсмических воздействиях. В ряде случаев аварии, возникающие на ЛЭП, трансформаторных подстанциях сопровождаются пожарами.

Б. Опыт реальных землетрясений показывает, что:

– объекты электросетевого хозяйства обладают меньшей сейсмостойкостью, чем объекты электрогенерации; массовые повреждения электросетевого хозяйства происходят при сейсмических воздействиях, при которых электростанции не испытывают значительных повреждений;

– оборудование электросетевого хозяйства обладает меньшей сейсмостойкостью, чем здания и сооружения, в которых оно установлено: массовые повреждения оборудования электросетевого хозяйства возникают при сейсмических воздействиях, при которых здания и сооружения подстанций получают незначительные повреждения.

В. Актуальной задачей является повышение сейсмостойкости электросетевого хозяйства. Электросетевое хозяйство является элементом систем жизнеобеспечения регионов. Нарушения в работе электросетевого хозяйства усугубляют последствия землетрясения, отсутствие электроснабжения осложняет ликвидацию его последствий. Затраты на повышение сейсмостойкости оборудования электросетевого хозяйства экономически оправданы, т.к. экономический ущерб от нарушения электроснабжения, вызванного недостаточной сейсмостойкостью оборудования объектов электросетевого хозяйства, значительно превышает эти затраты.

Авторы приносят благодарность к.т.н В.Ф.Тимченко, а также специалистам Дальневосточного, Енисейского, Западно-Уральского, Нижне-Волжского, Приокского, Северо-Западного, Северо-Восточного, Северо-Кавказского, Северо-Уральского, Сахалинского и Межрегионального управлений Ростехнадзора, поделившимися ценной информацией по повреждениям объектов электросетевого хозяйства при землетрясениях.

Список литературы

1. Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».
2. Обеспечение сейсмической безопасности энергетических объектов: Исследования, разработки, внедрение. Под. ред. А.Ф. Дьякова. М., НТФ «Энергопрогресс», 2002. – 168с.
3. Клячко М.А. Землетрясение и мы. С-Пб, РИФ «Интеграф», 1999. - 233 с.
4. Землетрясение в Нефтегорске 28 мая 1995 года. –
URL: <https://ria.ru/20150528/1066415862.html>
5. Измитское землетрясение в Турции. –
URL: http://turkhistory.ru/izmitskoe_zemletryasenie.php.
6. Ананьев А.Н., Казновский С.П., Казновский П.С., Лебедев В.И., Чеченов Х.Д. Сейсмическая безопасность атомных станций. М., Изд-во МГТУ, 2011. 230 с.
7. Чтобы сети твердо «стояли на ногах» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2016. №4 (37). С. 54-57.
8. Беляев В.С., Демишин С.В., Хакунов В.Х. Сейсмостойкость оборудования на одиночной опоре, частично заглубленной в грунт // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015. №5. С. 36-43.
9. Шишенин В., Бакин В., Павлов В. Внешнее механическое воздействие. Способы подтверждения стойкости электрооборудования // Новости электротехники. 2004. №2(26). - URL: http://news.elteh.ru/arh/2004/26/07_.php
10. Нефедов С.С., Родин П.А. Анализ кинематики землетрясения на АЭС «Касивадзаки-Карива» // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015. №2. С. 53-59.
11. Распределительное устройство. –
URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределительное_устройство.

References

1. Federal'nyj zakon ot 26 marta 2003 g. № 35-FZ «Ob elektroenergetike».
2. Obespechenie sejsmicheskoy bezopasnosti energeticheskikh ob"ektov: Issledovaniya, razrabotki, vnedrenie. Pod. red. A.F. D'yakova. M., NTF «Energoprogress», 2002. 168 p.
3. Klyachko M.A. Zemletryasenie i my. S-Pb, RIF «Integraf», 1999. - 233 p.
4. Zemletryasenie v Neftegorske 28 maya 1995 goda. –

URL: <https://ria.ru/20150528/1066415862.html>

5. Izmitskoe zemletryasenie v Turcii. –

URL: http://turkhistory.ru/izmitskoe_zemletryasenie.php.

6. Anan'ev A.N., Kaznovskij S.P., Kaznovskij P.S., Lebedev V.I., Chechenov H.D. Sejsmicheskaya bezopasnost' atomnyh stancij. M., Izd-vo MGTU, 2011. 230 p.

7. Chtoby seti tverdo «stoyali na nogah». Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. 2016, no. 4 (37), pp.54-57

8. Belyaev V.S., Demishin S.V., Hakunov V.H. Sejsmostojost' oborudovaniya na odinochnoj opore, chastichno zaglublennoj v grunt. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2015, no.5, pp. 36-43

9. Shishenin V., Bakin V., Pavlov V. Vneshnee mekhanicheskoe vozdejstvie. Sposoby podtverzhdeniya stojkosti elektrooborudovaniya. Novosti elektrotekhniki. 2004, no. 2(26), pp.

10. Nefedov S.S., Rodin P.A. Analiz kinematiki zemletryaseniya na AES «Kasivadzaki-Kariva». Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. 2015, no.2, pp. 53-59.

11. Raspredelitel'noe ustrojstvo. –

URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Raspredelitel'noe_ustrojstvo.

Информация об авторах/Information about authors

Калиберда И.В., доктор технических наук, ФБУ «Научно-технический центр Энергобезопасность», Москва, Российская Федерация

I.V.Kaliberda, Dr. Sci,(Eng) Academic Adviser, Federal Budget Institution “Scientific and Engineering Centre for Energy Safety”, Moscow, Russian Federation

Нефёдов С.С., кандидат технических наук, доцент, ФБУ «Научно-технический центр Энергобезопасность», Москва, Российская Федерация

Sergey S. Nefedov, Dr. Sci,(Eng), Ass. Prof., Federal Budget Institution “Scientific and Engineering Centre for Energy Safety”, Moscow, Russian Federation