УДК 621.3.05

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-50-53

**ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА
ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ**

SEISMIC DAMAGES OF ELECTRIC GRID FACILITIES

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

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

Аннотация: Электросетевое хозяйство является одной из систем жизнеобеспечения территорий. В зоне 7 и более баллов сейсмической шкалы MSK-64 находится примерно 30% объектов электросетевого хозяйства РФ. Надежность работы электросетевого хозяйства в этой зоне определяется сейсмостойкостью его объектов. В настоящей статье рассмотрены типичные повреждения объектов электросетевого хозяйства при землетрясениях и представлены рекомендации по повышению их сейсмостойкости.

Ключевые слова: электросетевое хозяйство, линии электропередачи, трансформаторные подстанции, землетрясения, повреждаемость, сейсмостойкость.

Abstract: Electric grid facilities comprise the part of life support system of territories. About of 30% of electric grid facilities lay in the zone of 7 and more units of seismic scale MSK-64. Reliability of this life support system depends of seismic resistance of these facilities. In this article typical damages of electric grid equipment at earthquakes are presented as well as the recommendations for improvement of its seismic resistance.

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

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 ее в приемлемую для потребителя форму.

Около 30% от всей протяженности электрических сетей и мощностей трансформаторов ЭСХ России размещено на сейсмически опасных территориях.

Задачами настоящей работы являлись сбор и анализ натурной информации о сейсмических повреждениях объектов ЭСХ и выработка рекомендаций по повышению сейсмостойкости этих объектов.

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.

2. Общие данные об уязвимости объектов ЭСХ при землетрясениях

Опыт реальных землетрясений свидетельствует об уязвимости объектов ЭСХ при сейсмическом воздействии.

Как свидетельствуют данные [2 – 4], массовые повреждения ЛЭП и оборудования ТПС имели место при Спитакском землетрясении, при землетрясении 1990 г. в Молдавии, при Шикотанском землетрясении 4 (5) октября 1995 г. (Курильские острова), при Нефтегорском землетрясении 28.05.1995. Массовые повреждения электросетевого хозяйства при землетрясениях отмечены также за рубежом.

Следует отметить, что массовые сейсмические повреждения ЭСХ имели место при отсутствии серьезных повреждений зданий и сооружений.

3. Характерные сейсмические повреждения ЛЭП

Осмотр ЛЭП после землетрясений, а также испытания фрагментов ЛЭП на сейсмовзрывном стенде НИЦ 26 ЦНИИ МО РФ [5] показали, что к числу наиболее характерных повреждений ЛЭП при сейсмическом воздействии относятся деформации металлических уголков решетчатых опор ЛЭП, разрушение фундаментных частей опор, а также разрыв контактов проводов в узлах крепления к опоре.

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

4. Сейсмические повреждения оборудования ТПС

4.1. Сейсмические повреждения трансформаторов

Сейсмические повреждения силовых трансформаторов в основном связаны с их смещением. Силовые трансформаторы, как правило, устанавливаются на колесах, катках, салазках и т.п. опорах, являющихся односторонними связями, обеспечивающими надежное опирание только при пригрузе собственным весом трансформатора. В процессе землетрясения, кроме горизонтальных колебаний грунта, возникают также вертикальные колебания. При этом возможна потеря стабильности положения трансформатора – отрыв от опоры и смещение по горизонтали. В результате происходит сброс трансформатора с рельсов и его падение.

Колебания трансформатора приводят к нарушению его электрических связей, к их рывкам, что вызывает разрушение проходных изоляторов, выполненных из фарфора, и приводит к коротким замыканиям, которые могут быть причиной пожаров. Применение

гибких связей вместо жесткой ошиновки позволяет снизить вероятность коротких замыканий, пожаров и взрывов на ТПС при землетрясениях.

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

4.2. Сейсмические повреждения коммутационного оборудования.

Коммутационное оборудование ТПС – выключатели, разъединители и другие аппараты, предназначенные для приема и распределения потоков электрической энергии. Основным повреждением коммутационных аппаратов при землетрясениях является разрушение колонок фарфоровых изоляторов. С помощью фарфоровых колонок осуществляется контакт коммутационных аппаратов с электрическими проводниками (проводами или шинами). Колонковые изоляторы могут использоваться как опоры коммутационных аппаратов.

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 присоединенных электрических проводников. Результатом оказывается излом фарфоровых изоляторов, нарушение стабильности положения и падение коммутационного оборудования.

4.3. Повреждения аппаратуры релейной защиты и автоматики (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 закрепленных шкафов РЗА. Падения шкафов сопровождаются повреждением цепей управления. Механические повреждения шкафов РЗА 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.

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 возникающие при этом аварии сопровождаются пожарами и взрывами.

Б. Опыт реальных землетрясений показывает, что:

- объекты электросетевого хозяйства обладают меньшей сейсмостойкостью, чем объекты электрогенерации (электростанции);
- оборудование электросетевого хозяйства обладает меньшей сейсмостойкостью, чем здания и сооружения, в которых оно установлено.

В. Повышение сейсмостойкости объектов и оборудования электросетевого хозяйства является важной народно-хозяйственной задачей. Затраты на повышение сейсмостойкости оборудования электросетевого хозяйства экономически оправданы, т.к. экономический ущерб от нарушения электроснабжения значительно превышает эти затраты.

1. **Список литературы** едеральный 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.

3. Клячко М.А. Землетрясение и мы. – С-Пб: РИФ «Интеграф», 1999.

4. Землетрясение в Нефтегорске 28 мая 1995 года. – URL: <https://ria.ru/20150528/1066415862.html>

5. Беляев В.С., Демишин С.В., Хакунов В.Х. Сейсмостойкость оборудования на одиночной опоре, частично заглубленной в грунт // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2015. – № 5.