

УДК 627.8

О.В. ЛЕОНОВдиректор Филиала ОАО «РусГидро» - «Жигулевская ГЭС»
Жигулевская ГЭС**А.А. РОМАНОВ**кандидат технических наук, профессор, главный эксперт ОАО «Жигулевская ГЭС», Заслуженный энергетик СССР
Жигулевская ГЭС**С.В. ЕВДОКИМОВ**кандидат технических наук, доцент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства
Самарский государственный архитектурно-строительный университет**АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
РАЙОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС***ANALYSIS OF SEISMIC CONDITIONS
OF THE ZHIGULEVSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATION AREA*

Проанализирована сейсмичность района расположения Жигулевской ГЭС и тектоническая активность структур Жигулевского вала. Дана оценка исходной сейсмичности района и участка размещения Жигулевской ГЭС. Определена вероятность возникновения землетрясений максимальной интенсивности на основе эмпирических данных.

Ключевые слова: Жигулевская ГЭС, сейсмичность, сейсмические воздействия, тектоническая активность, вероятность возникновения.

Проблема сейсмостойкости основного оборудования ГЭС возникла в бывшем СССР после землетрясения интенсивностью 8 баллов по шкале MSK в районе Кайраккумской гидроэлектростанции 13 октября 1985 г. Спитакское землетрясение 1988 г. в Армении сделало эту проблему еще более актуальной. Для ГЭС вопросам совершенствования методов анализа, оценки и повышения сейсмостойкости оборудования (главным образом электроэнергетического) пока уделяется меньше внимания, чем по строительной части зданий и сооружений.

При вышеупомянутом землетрясении в районе Кайраккумской ГЭС на здании гидростанции было разрушено достаточно много оборудования.

Характерны последствия землетрясения 1990 г. в Молдавии: при сейсмическом воздействии менее 7 баллов значительных механических повреждений на подстанциях не было, однако низкая функциональная сейсмическая устойчивость оборудования привела к существенным потерям в электроснабжении (отключились 47 ЛЭП, 44 подстанции, обесточились 157 населенных пунктов и т.д.).

Спитакское землетрясение было наиболее разрушительным в сравнении с другими имевшими место на территории бывшего СССР и в части повреждений подстанций 35–220 кВ. Интенсивность его на обследованных подстанциях составляла от 7 до 9 баллов. Наиболее характерными на подстанциях 35; 110 и 220 кВ были повреждения электротехнического оборудования и частичные повреждения

Here is analyzed the seismic stability of the Zhigulevskaya Hydroelectric Power Station area and tectonic activity of the Zhiguli bank structure. The estimation of an initial seismicity of the area and site of the Zhigulevskaya Hydroelectric Power Station is given. The probability of earthquake occurrence of the maximum intensity on the basis of empirical data is defined.

Keywords: the Zhigulevskaya Hydroelectric Power Station, seismicity, seismic influence, tectonic activity, probability of occurrence.

строительных конструкций (в эпицентре землетрясения на подстанции «Спитак» трехэтажное здание ОПУ было разрушено полностью).

Сравнение последствий землетрясения в Армении (1988 г.), где на энергетических объектах фактически не были приняты соответствующие антисейсмические меры, с последствиями землетрясения в Калифорнии (США, 1989 г.), где сейсмостойкости энергетических объектов уделялось много внимания, показало, что в обоих случаях имели место значительные разрушения электротехнического оборудования. По-видимому, это обстоятельство свидетельствует о том, что решение проблемы сейсмостойкости электротехнического оборудования оказалось значительно сложнее, чем представлялось ранее. Существенно, что повреждения оборудования наблюдались не только при катастрофических землетрясениях, подобных Спитакскому, но и при весьма «умеренных» сотрясениях.

Для условий Жигулевской ГЭС, с учетом имеющихся статистических данных, представляла интерес сейсмостойкость прежде всего электротехнического оборудования - высоковольтных выключателей, разъединителей и разрядников, а также силовых трансформаторов. Кроме электротехнического оборудования, для Жигулевской ГЭС представляет интерес оценка сейсмостойкости следующего оборудования:

- козловые краны водосливной плотины;
- главный мостовой кран машинного зала;
- гидроагрегаты;
- затворы водосливной плотины.

При недостаточной сейсмостойкости этого оборудования возможны следующие негативные воздействия:

- сход кранов с рельсовых путей и их падение;
- деформация затворов и их заклинивание в пазах - если землетрясение происходит одновременно с весенне-летним паводком (май-июнь);
- нарушение центровки вала гидроагрегата, недопустимые биения, приводящие к необходимости остановки гидроагрегата.

Сейсмостойкость большинства эксплуатируемого на данный момент оборудования не известна по следующим причинам:

а) ранее не существовало соответствующих нормативных документов и, следовательно, не было предъявлено соответствующих требований и не проведено соответствующих проверок;

б) даже если некоторые виды оборудования были проверены на сейсмостойкость на стенде, такой проверке эти изделия подвергали еще до их эксплуатации. В процессе эксплуатации механические свойства изделий (и, следовательно, их сейсмостойкость) могли измениться из-за процессов старения, износа и т.п.;

в) условием сейсмостойкости выдержавших соответствующие испытания технических изделий (особенно крупногабаритных) является также то, что фундаменты или другие конструкции, на которых они установлены (с учетом способов крепления), не должны усиливать сейсмические колебания; это условие не всегда выполняется при монтаже изделий или же свойства фундаментов меняются в процессе эксплуатации.

Уточнение исходной сейсмичности района и участка размещения Жигулевской ГЭС проведено на основе сбора опубликованных данных о событиях, относимых к землетрясениям рассматриваемого района, и анализа природы этих событий. Суть проблемы заключается в том, что в первичном Каталоге землетрясений Российской Империи к землетрясениям относились все природные явления, которые сопровождалось или могли сопровождаться сотрясениями на земной поверхности, как то: сильные грозы, падения аэролитов, оползни, обвалы, карстовые провалы, явления, связанные с морозным пучением, необычные звуковые явления, многие из которых в последующем были включены в каталоги тектонических землетрясений. Сводные первичные описания этих событий и явлений составлены за период с 1950 по 1999 гг.

В составе проведенных работ собраны и проанализированы данные о 242 событиях, которые относились к землетрясениям. В результате анализа природы и достоверности этих явлений и событий выделены ошибочные и недостоверные события, экзогенные явления - сопровождавшиеся или не сопровождавшиеся слабыми сотрясениями (обвалы, оползни, падения метеоритов); техногенные землетрясения - обусловленные отработкой месторождений полезных ископаемых на рудниках Кольского полуострова, Урала и нефтяных месторождениях Поволжья, а также промышленные взрывы. Экзогенные и техногенные сейсмические события целе-

сообразно учитывать на стадии проекта при оценке геологически опасных процессов и явлений на участке расположения объекта.

В результате анализа выделены собственно тектонические и вероятно тектонические землетрясения неопределимой природы, которые следует учитывать при оценке сейсмической опасности, а также выделены сейсмоактивные зоны, расположенные на периферии района Жигулевской ГЭС.

Рассмотрим характеристики сейсмической активности выделенных зон. Сейсмоактивная зона Кандалакшского грабена расположена на северо-восточной окраине рассматриваемого района и является пограничной структурой Русской плиты и Балтийского щита. Относится к сеймотектонической провинции Фенноскандии, в которой происходит большое количество землетрясений. Балтийский щит является зоной современного постгляциального поднятия и зоной развития постледникового активного термокарста. По мнению авторов, совместное развитие именно этих специфических процессов - общее поднятие территории и обрушения и просадки в термокарстовых пустотах, приводит к возникновению многочисленных землетрясений небольших энергий в данной провинции. По оценкам различных авторов наиболее сильным здесь является землетрясение 1626 г., магнитуда этого землетрясения варьирует в пределах

$M = 5,0-6,4$, интенсивность $I_0 = 6-8$ баллов при глубине очагов 19-30 км.

При возникновении наиболее сильного землетрясения сейсмоактивной зоны с $M_{\max} = 6,5$ на кратчайшем расстоянии от Жигулевской ГЭС, равном 1250 км, расчетная интенсивность сотрясений на участке ГЭС составит 2 балла.

Сейсмоактивная зона Кажимского авлакогена расположена на севере Русской плиты и является древней тектонической структурой кристаллического фундамента. В поверхностных горизонтах осадочного чехла здесь развиты процессы современного активного карста, а в более глубоких горизонтах вероятно развитие последникового термокарста, в связи с этим здесь возможно возникновение как тектонических, так и карстово-провальных землетрясений. Магнитуды наиболее сильных из происшедших

здесь землетрясений оцениваются $M_{\max} = 4,0 - 4,8$ при глубинах очагов $h = 12-20$ км и интенсивности

$I_{\max} = 5-6$ баллов.

При возникновении наиболее сильного землетрясения сейсмоактивной зоны с $M_{\max} = 5,0$ на кратчайшем расстоянии от Жигулевской ГЭС, составляющем 450 км, расчетная интенсивность сотрясений на участке ГЭС составит 1 балл.

Сейсмоактивная зона Среднего Урала включает в себя центральные части Предуралья, прогиба, Центрального и Восточного Урала. В пределах Среднего Урала повсеместно распространены карстовые породы, с которыми связано множество

карстово-провальных землетрясений. На горнорудных предприятиях этого региона зарегистрировано большое количество техногенных землетрясений (ГТУ), регулярно проявляющихся на угольных шахтах района Кизела-Губахи, Северо-Уральском и Южно-Уральском бокситовых рудниках, Соликамском руднике. В этой же зоне зарегистрированы сильные тектонические землетрясения.

Для наиболее сильного землетрясения 1914 г. оценки магнитуды варьируют в интервале $M = 5,0 - 5,5$ при интенсивности $I_0 = 6-7$ баллов.

При возникновении наиболее сильного землетрясения сейсмоактивной зоны с $M_{\max} = 5,5$ на кратчайшем расстоянии от Жигулевской ГЭС, составляющем 600 км, расчетная интенсивность сотрясений на участке ГЭС составит 1-2 балла.

Сейсмичность района расположения Жигулевской ГЭС. В пределах района расположения ГЭС зарегистрированы локальные землетрясения, ощущавшиеся на небольшой площади, как правило, в одном населенном пункте, с высокой долей вероятности, обусловленные экзогенными процессами с максимальной интенсивностью не более 5 баллов. Здесь же зарегистрировано множество землетрясений, проявившихся на нефтяных месторождениях, обусловленных технологиями их эксплуатации - повышением пластового давления для увеличения добычи. Максимальные магнитуды землетрясений района оцениваются в пределах $M = 3,0 - 3,7$ при интенсивности не более $I_0 = 5$ баллов.

Анализ показывает, что среди землетрясений из каталога ИФЗ РАН оказались взрывы, ошибочные и недостоверные землетрясения.

Ближайшие к ГЭС четыре землетрясения, по оценкам большинства специалистов, являются не тектоническими, экзогенными и техногенными землетрясениями. На основе этих максимальных оценок интенсивности землетрясений района расположения ГЭС были выполнены оценки вероятности возникновения землетрясений максимального балла для участка расположения Жигулевской ГЭС.

Оценка вероятности возникновения землетрясений максимальной интенсивности (PI) на основе эмпирических данных была выполнена для модели случайного распределения этих землетрясений во времени и на площади района расположения ГЭС, характеризующегося однородными сеймотектоническими условиями.

Для получения наиболее консервативных оценок в качестве исходного каталога землетрясений был принят каталог ИФЗ РАН, не исключая ошибочные, недостоверные, экзогенные и техногенные землетрясения, относящиеся к рассматриваемому району, и наиболее высокие оценки I_{\max} .

На данной территории известны сведения (Карточный каталог, 1991 г.) об ощущимых землетрясениях 1128 и 1146 гг. (в Москве), 1230 г. («во всей земле Русской»), соответственно с $T = 1997-1200=797$ лет.

Несмотря на это, для получения консервативной оценки рассматривался период наблюдений по каталогу ИФЗ РАН для землетрясений, зарегистрированных в районе расположения ГЭС с 1467 г.: $T = 1997-1467=530$ лет.

Границы и площадь района расположения ГЭС, как однородной сеймотектонической структуры - Русской плиты, ограничена Днепровско-Донецким авлакогеном на юге, Кандалакшским и Кажимским авлакогеном на севере, Белорусской антеклизой на западе и Предуральским прогибом на востоке. Таким образом, площадь района расположения ГЭС составила $S = 1500000$ км².

Полученные на основе эмпирических данных оценки вероятности для зон 6,7 балла, значительно ниже указанных на карте ОСР-97 и ниже учитываемой при проектировании особо ответственных объектов максимальных расчетных землетрясений.

Авторами была проведена оценка сейсмических воздействий от удаленных очаговых зон сильных землетрясений. Район расположения ГЭС находится в центральной части Восточно-Европейской платформы. На юге платформа граничит с сейсмически активным Альпийским складчатым поясом, в пределах которого регулярно происходят сильные землетрясения в структурах Восточных Карпат, Кавказа и Копет-Дага. Несмотря на значительное удаление района расположения ГЭС от этих структур (на расстояниях - 1500; 600 и 1200 км соответственно), происходящие в этих зонах наиболее сильные землетрясения с магнитудой $M = 7.0 - 8.0$ ощущаются на рассматриваемой территории.

Сейсмические воздействия от удаленных сейсмоактивных зон обобщены в ранее проведенных работах и представлены на сводной карте максимальных наблюдаемых сотрясений Восточно-Европейской платформы от удаленных сильнейших землетрясений (в баллах) (рис. 1).

В соответствии с этой картой сейсмические воздействия от удаленных сейсмически активных зон не превышали 4 баллов на участке Жигулевской ГЭС.

Проведенный анализ тектонической активности структур Жигулевского вала показал, что Жигулевский гидроузел расположен в северной части Самарской Луки, примерно в 80 км выше г. Самары. Самарская Лука - огромная 150-километровая петля, которую делает Волга, встречая на своем пути скальный массив Жигулевских гор.

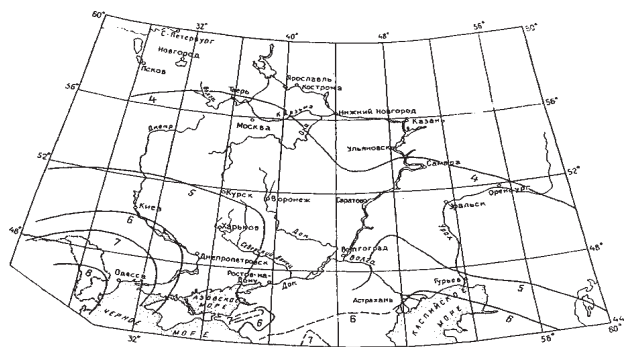


Рис.1. Сводная карта максимальных наблюдаемых сотрясений Восточно-Европейской платформы от удаленных сильнейших землетрясений (в баллах) (Никонов, 2001).

Характерной особенностью геологического строения района гидроузла является резкое различие берегов Волги. Высокий и обрывистый правый берег сложен трещиноватыми и закарстованными верхнекаменноугольными и пермскими известково-доломитовыми породами. Левый берег долины с высокими аллювиальными террасами сложен песками с прослоями и линзами суглинков. Морфология волжской долины, и особенно правого берега, обусловлена флексурой в коренных породах среднего карбона и значительным древним переуглублением прадолины р. Волги более чем на 200 м по сравнению с ее современным положением.

Четвертичные (миндель-рисские, рисские и современные) отложения широко распространены по всему району и особенно на левом берегу, где мощность их достигает 80 м.

В тектоническом отношении район гидроузла находится в области Жигулевского вала. Южное крыло вала пологое с падением слоев на юг под углом 2-3°, северное осложнено флексурным перегибом, с падением слоев 30-35°. Перегиб складки начинается под руслом р. Волги и проходит по долине за пределами здания ГЭС. Амплитуда перегиба доходит до 150 м.

Погребенная долина глубоко врезана в каменноугольные известняки и доломиты. На участке здания ГЭС дно ее лежит на 200 м глубже меженного уровня Волги, а ширина по верху составляет 1.5 км. Борты погребенной долины наклонены под углом 45-55°.

Толща четвертичных отложений горизонтально перекрывает неогеновые образования, заполняющие палеоврез Волги, что свидетельствует об отсутствии тектонических смещений по древним тектоническим нарушениям в четвертичное время.

Сейсмическое микрорайонирование участка ГЭС для определения относительного приращения интенсивности сейсмических колебаний в зависимости от грунтовых и локальных условий было выполнено методом инструментальной регистрации микросейсм в пунктах наблюдений и расчетным способом. В связи с техническими возможностями выбора пунктов наблюдений инструментальная регистрация проведена для пунктов, расположенных на гребне плотины относительно опорного пункта, расположенного в основании плотины.

На гребне плотины, высота которой составляет 45 м, приращения интенсивности сейсмических колебаний составили $\Delta I = 0.5-1.2$ балла. Для непригруженного основания плотины приращения интенсивности сейсмических колебаний, полученные расчетным способом, с учетом грунтов, залегающих в основании плотины, расчетные значения приращений интенсивности варьируют от $\Delta I = -0.25$ до $\Delta I = +0.19$ балла, что с точностью до целого балла соответствует нулевым приращениям сейсмических колебаний в основании плотины Жигулевской ГЭС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Определение параметров сейсмических воздействий, выполнение поверочных расчетов сейсмостойкости с учетом современного состояния грунтов и конструкций сооружений Жигулевской ГЭС [Текст] / ОАО «Инженерный центр ЕЭС-Гидропроект, Ленгидропроект, Теплоэнергопроект, Фирма ОРГРЭС» Центр службы геодинамических наблюдений в энергетической отрасли (ЦСГНЭО). – М., 2004.
2. Романов, А.А. Жигулевская ГЭС. Эксплуатация гидротехнических сооружений. Книга I. [Текст] / А.А. Романов. – Самара, 2010. – 360 с.
3. Технический отчет о проектировании и строительстве Волжской ГЭС им. В.И. Ленина [Текст]: в 2 т. 1950-1958 гг.

© Леонов О.В., Романов А.А.,
Евдокимов С.В., 2011