

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ф.П. Сапожников

cleric1227@gmail.com
SPIN-код: 7428-9941

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

В работе проведена оценка влияния сейсмической активности на параметры электромеханической системы. В среде MATLAB построена модель сейсмического импульса из числа используемых для построения реальных сейсмограмм и исследовано его влияние на работу главного циркуляционного насосного агрегата, также проведены исследования воздействия аналогичных импульсов с разной несущей частотой колебаний. Были построены хронограммы вращения вала агрегата и определены выходные параметры системы. Результаты исследования показали, что сейсмическая активность с определенной несущей частотой может оказывать разрушающее воздействие на электромеханическую систему, в том числе приводить к усталостному разрушению вала.

Ключевые слова

Землетрясение, сейсмическая активность, сейсмический импульс, электромеханическая система, главный циркуляционный насосный агрегат

Поступила в редакцию 05.06.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Землетрясение — подземные толчки и колебания земной поверхности. Они происходят постоянно и повсеместно. Сегодня сейсмологи не могут предсказать место и время следующего разрушительного землетрясения, но то, что оно произойдет, не вызывает сомнений [1]. Землетрясения высокой интенсивности способны произвести огромные разрушения. Согласно данным Геологической службы США, за последние 300 лет произошло 7 землетрясений с магнитудой $M \geq 9$, пять из которых приходится на последние 60 лет [2]. Подобные землетрясения могут оказать воздействие на стратегически важные объекты современной промышленности.

Обеспечение экологической безопасности особо ответственных объектов, и в частности атомных электростанций, требует высокого уровня инженерных изысканий. Повышенное внимание уделяется оценке сейсмической и геологической опасности, а также учету нелинейных эффектов, возникающих при сильных динамических воздействиях [3]. Следует отметить, что развитая технологическая инфраструктура способствует усугублению последствий природных катастроф, поскольку даже во время относительно слабых землетрясений многие люди гибнут под обломками зданий и сооружений, а сильные землетрясения приводят к катастрофическим разрушениям сложных технических систем [4].

В настоящее время изучение вопроса защиты электромеханических систем от внешних воздействий является актуальной задачей, так как стоимость новых

агрегатов достаточно велика, и внезапный выход из строя повлечет за собой значительные издержки. Исследования сейсмических импульсов, а также оценка их воздействия на электромеханические объекты современной промышленности, таких как гидроагрегаты, не могут дать полного представления о влиянии сейсмической активности на подобные системы.

Существуют две основные причины землетрясений: одной из них являются процессы поверхностного характера, которые вызывают незначительные землетрясения. Эти процессы заключаются в том, что плиты, дрейфующие вдоль таких великих разломов, как, например, разлом Сан-Андреас в Калифорнии или Альпийский разлом в Новой Зеландии, действуют подобно ножницам, круша края друг друга. Вторая причина отражает более глубокие процессы, происходящие в зонах вдоль краев смещающихся плит, где ребра этих масс земной коры погружаются в земную мантию и на глубине около 500 км повторно всасываются, поглощаются. По этой причине происходят уже более крупные землетрясения [5]. Распространение сейсмических волн в горных породах представляет собой сложный процесс, характеризуемый рядом параметров. Скорости распространения продольных и поперечных волн, а также коэффициенты поглощения являются основными параметрами, определяемыми из сейсмического эксперимента [6]. На поверхности Земли сейсмические волны регистрируются сейсмоприёмниками. Импульсы порождают сейсмические волны, которые бывают продольные и поперечные. Скорость распространения поперечных волн почти в два раза меньше скорости продольных (точнее, в 1,7 раза) и не превышает 3,3...4,0 км/с. Амплитуда поверхностных поперечных волн редко превышает несколько сантиметров. Поэтому чем дальше находится очаг землетрясения от наблюдателя, тем позднее дойдут до последнего поперечные волны по сравнению с продольными [8].

При изучении сейсмических импульсов для приближения реальных сейсмограмм используется несколько разных моделей:

1) импульс Берлаге:

$$w(t) = t^n \exp(-bt) \sin \omega t,$$

где n — параметр, определяющий конкретный вид огибающей импульса;

2) импульс Гельфанда:

$$w(t) = \exp(-bt^2) \sin \omega t;$$

3) затухающая синусоида:

$$w(t) = \exp(-bt) \sin \omega t;$$

4) импульс Пузырёва:

$$w(t) = \exp[-(\omega/\pi)t]^2 \sin \omega t;$$

5) импульс Риккера:

$$w(t) = \{1 - 2[(\omega/\pi)t]^2\} \exp[-(\omega/\pi)t]^2,$$

$$\omega = 2\pi f_0,$$

где f_0 — преобладающая частота [7].

В качестве объекта исследования был выбран главный циркуляционный насосный агрегат. Главные циркуляционные насосы АЭС — одно из значительных устройств на АЭС, состоящее из большого количества систем и контрольно-измерительных средств. Внеплановый сбой работы ГЦН — остановка подачи теплоносителя в активную зону реактора — может привести к повышению температуры и выходу из строя тепловыделяющих элементов ТВЭЛов, являющимися главным конструктивным элементом активной зоны [9].

В среде MATLAB было проведено моделирование работы главного циркулярного насосного агрегата под воздействием сейсмических импульсов. Также были установлены параметры работы агрегата без влияния на него землетрясения (рис. 1).

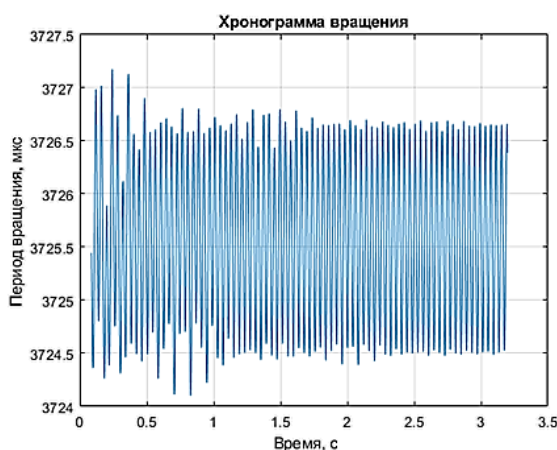


Рис. 1. Хронограмма вращения вала агрегата в нормальном режиме работы

Как видно из графика выше, на период обращения вала агрегата влияет только электрический момент, так как гидродинамический момент в модели пренебрегается (рис. 2).

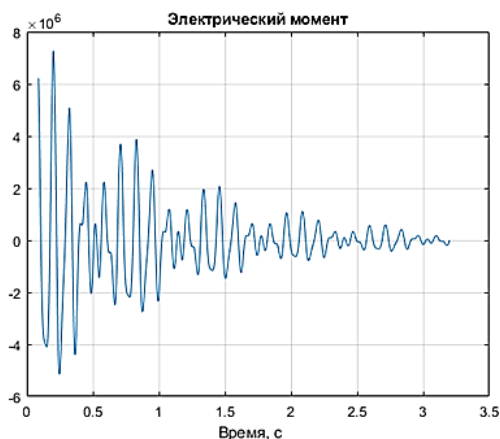


Рис. 2. Электрический момент

Для оценки влияния землетрясения на работу исследуемого объекта был выбран импульс Гельфанда: $w(t) = \exp(-0,5t)^2 \sin \omega t$. Для дальнейших сравнений несущая частота колебаний была выбрана равной 5 Гц (рис. 3).

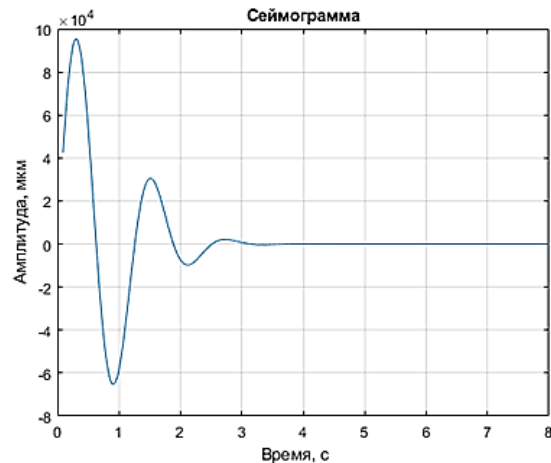


Рис. 3. Импульс Гельфанда с частотой 5 Гц

Как видно из сейсмограммы выше, максимальная амплитуда колебаний составляет примерно 10 см, что соответствует землетрясению магнитудой примерно 6,0, если объект находится в эпицентре колебаний. Во время действия этого импульса на вал агрегата начинает оказывать действие некий сейсмический момент (рис. 4).

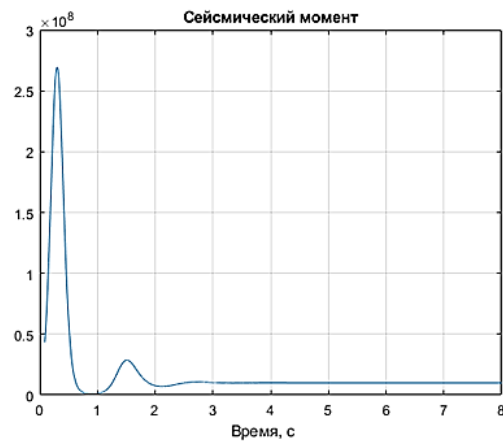


Рис. 4. Сейсмический момент для импульса Гельфанда 5 Гц

Видно, что данный момент почти на 2 порядка больше чем электрический, а значит, оказывает существенно большее влияние (рис. 5).

Также для сравнения были смоделированы более продолжительные импульсы с несущей частотой 35 Гц и оценено их влияние на объект (рис. 6).

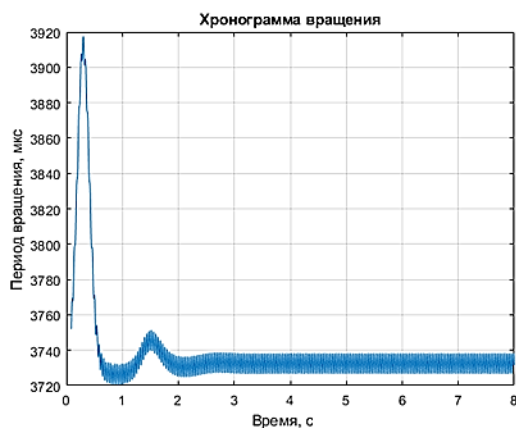


Рис. 5. Хронограмма вращения вала агрегата под действием импульсов

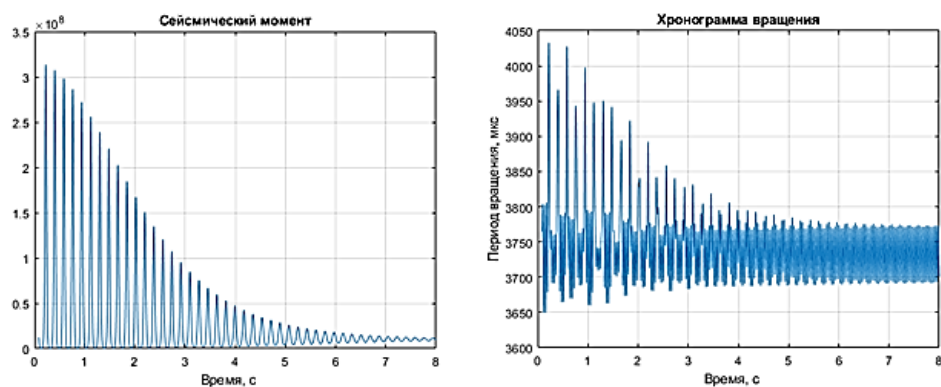


Рис. 6. Влияние импульса 35 Гц

Из графиков видно, что под воздействием сейсмических импульсов разной несущей частоты существенно изменяется период обращения вала агрегата. Подобные импульсы способны вызывать изгибные и крутильные колебания вала и привести к образованию дефектов механической, а значит и электрической части всей системы, что в дальнейшем может привести к усталостному разрушению. Усталостное разрушение происходит под действием переменных нагрузок, которые возникают вследствие динамики установки. При ее работе возникают три типа колебаний: поперечные, продольные и крутильные [10].

Таким образом, исследование характеристик ГЦНА показало, что сейсмические импульсы способны оказывать существенное воздействие на параметры электромеханической системы. Задача защиты таких систем от сейсмической активности является актуальной.

Литература

- [1] Баранов С.В., Скуфьина Т.П. Об экономических последствиях землетрясения 11.03.2011 вблизи восточного побережья Японии. *Проблемы анализа риска*, 2011, Т. 8, № 6, с. 62–71.

-
- [2] Significant earthquakes — 2018.
URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php> (дата обращения 19.04.2018).
- [3] Алешин А.С. *Сейсмическое микрорайонирование особо ответственных объектов*. Москва, Светоч Плюс, 2010, 303 с.
- [4] Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. *Системные аварии и катастрофы в техносфере России*. МЧС России. Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012, 308 с.
- [5] Пеньков А.И., Диятов Д.Н., Чындакаев С.Д. Минимизация последствий землетрясения в республике Алтай на примере «Чуйского землетрясения». *Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сб. тр. Всеросс. науч. – практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов*. Т. 2. Томск, Изд-во ТПУ, 2015, с. 245–248.
- [6] Пузырев Н.Н. *Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию*. Новосибирск, НИЦ ОИГГМ, 1997, 301 с.
- [7] Рабинович Е.В., Ганчин К.С., Пупышев И.М., Шефель Г.С. Модель сейсмического импульса, возникающего при гидравлическом разрыве пласта. *Математические структуры и моделирование*, 2014, № 4(32), с. 105–111.
- [8] Геология. URL: <http://www.mygeos.com/geologiya> (дата обращения 20.04.2018).
- [9] Главный циркуляционный насос ГЦН. URL: <http://iiceb.ru/glavnyj-cirkulyacionnyj-nasos-gcn> (дата обращения 20.04.2018).
- [10] Смирнов Н.И., Смирнов Н.Н., Горланов С.Ф. О причинах сломов валов УЭЦН. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 2012, № 3, с. 17–22.

Сапожников Феликс Павлович — студент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Тумакова Екатерина Владимировна, ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

INVESTIGATING THE IMPACT OF SEISMIC ACTIVITY ON THE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OPERATION

F.P. Sapozhnikov

cleric1227@gmail.com

SPIN-код: 7428-9941

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The work estimates the impact of seismic activity on the electromechanical systems parameters. We have constructed a seismic impulse model in the MATLAB environment from among the actual seismograms used for the construction and investigated its influence on the operation of the reactor coolant pump set. The authors have also researched the impact of the equivalent impulses with the different carrier vibration frequency. We have constructed the chronograms of the unit shaft rotation and determined the output parameters of the system. The research results show that the seismic activity with the specified carrier frequency can have a destructive effect on the electromechanical system and result in the fatigue failure of the shaft in particular.

Keywords

Earthquake, seismic activity, seismic impulse, electromechanical system, reactor coolant pump set

Received 05.06.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Baranov S.V., Skufina T.P. On economic repercussions of 11.03.2011 earthquake near the East Japan coast. *Problemy analiza riska* [Issues of Risk Analysis], 2011, vol. 8, no. 6, pp. 62–71.
- [2] Significant earthquakes — 2018. Available at: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php> (accessed 19 April 2018).
- [3] Aleshin A.S. Seysmicheskoe mikrorayonirovanie osobo otvetstvennykh ob"ektov [Seismic microzoning of particularly important facilities]. Moscow, Svetoch Plyus publ., 2010, 303 p.
- [4] Vorob'yev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Sistemnye avarii i katastrofy v tekhnosfere Rossii. MChS Rossii [System incidents and accidents in Russian technosphere. EMERCOM]. Moscow, FC VNII GOChS EMERCOM of Russia publ., 2012, 308 p.
- [5] Pen'kov A.I., Diyatov D.N., Chyndakaev S.D. Minimizatsiya posledstviy zemletryaseniya v respublike Altay na primere "Chuyskogo zemletryaseniya" [Minimizing effect of earthquake in Altay republic as exemplified by "Chuya earthquake"]. *Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennyye problemy i puti resheniya. Sb. tr. Vseross. nauch. – prakt. konf. molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. T. 2* [Ecology and safety in technosphere: current issues and methods of their solving. Proc. Russ. sci.-pract. conf of young scientists, post-graduates and students. Vol. 2]. Tomsk, Izd-vo TPU, 2015, pp. 245–248.
- [6] Puzyrev N.N. Metody i ob"ekty seysmicheskikh issledovaniy. Vvedenie v obshchuyu seysmologiyu [Methods and objects of seismological studies. Introduction in general seismology]. Novosibirsk, NITs OIGGM publ., 1997, 301 p.
- [7] Rabinovich E.V., Ganchin K.S., Pupyshev I.M., Shefel' G.S. The model of the seismic pulse arising at hydraulic fracturing. *Matematicheskie struktury i modelirovanie* [Mathematical Structures and Modeling], 2014, no. 4(32), pp. 105–111.

- [8] Geologiya [Geology]. Available at: <http://www.mygeos.com/geologiya> (accessed 20 April 2018).
- [9] Glavnyy tsirkulyatsionnyy nasos GTsN [GTsN main circulating pump]. Available at: <http://iiceb.ru/glavnyj-cirkulyacionnyj-nasos-gcn> (accessed 20 April 2018).
- [10] Smirnov N.I., Smirnov N.N., Gorlanov S.F. Some causes leading to shifts' failure of electric centrifugal pumps units. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*, 2012, no. 3, pp. 17–22.

Sapozhnikov F.P. — student, Department of Metrology and Interchangeability, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — E.V. Tumakova, Assistant, Department of Metrology and Interchangeability, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.