УДК 550.348

СИНТЕЗ ИСХОДНОГО СИГНАЛА ДЛЯ ПРОГНОЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИИ МЕРЗЛОТЫ

Брыжак Е.В., Ескин А.Ю., Шагун А.Н.

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

Опыт инженерно-сейсмологических исследований, проведенных в пределах криолитозоны, показывает, что если методика прогноза сейсмических воздействий в баллах для естественного состояния мерзлых грунтов достаточно обоснована [1], то расчет основных параметров прогнозных акселерограмм, на случай деградации мерзлоты, требует совершенствования [2]. Реализация одного из подходов решения поставленной задачи дается на примере обоснования сейсмической опасности линейного сооружения на юге Якутии (проектируемая трасса железнодорожного пути от станции Икабьекан (БАМ) до Тарыннахского ГОКа). В данной статье основное внимание уделяется количественной оценке параметров вероятных сильных землетрясений и формированию исходных сигналов.

Ключевые слова: максимальные ускорения, резонансные частоты, сейсмическая опасность, сильные землетрясения, акселерограммы, метод микросейсм, частотные характеристики.

THE SYNTHESIS OF SOURCE SIGNAL FOR THE PREDICTION OF SEISMIC EFFECTS ON THE BASE OF LINEAR STRUCTURES WITH THE DEGRADATION OF PERMAFROST

Bryzhak E.V., Eskin A., Shagun A. N.

Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 128, Lermontova Str., e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

Experience of the engineering and seismological researches conducted in the presence of permafrost shows that the technique of calculations of seismic effects for the natural condition of frozen soil is rather proved, but the calculation of the main parameters of synthetic accelerograms in case of permafrost degradation demands improvement. Realization of one of approaches to resolve this problem we give on the example of justification of seismic hazard of linear constructions (the South of Yakutia) of the planned 180 km railway line «Ikabyekan station-Tarynnakhsky mining». This article focuses on the quantitative assessment of the parameters of possible large earthquakes and the formation of the source signals.

Keywords: maximal accelerations, resonance frequency, seismic hazard, earthquakes, accelerogram, microtremor method, frequency characteristics.

При формировании исходного сейсмического сигнала необходимо учитывать местные условия и возможность использования записей сильных событий, зарегистрированных вне рассматриваемого региона, в том числе и мировой сетью. Разработка такого способа особенно важна для тех сейсмически активных регионов, где инструментальные записи сильных движений имеются в ограниченном количестве или где сеть станций записи сильных движений почвы еще не полностью сформирована. Теоретическая основа, отвечающая вышеперечисленным требованиям, опирается на теорию восстановления сигналов и изображений по фазовым характеристикам [1]. В отличие от имеющихся способов, в данном случае задается амплитудный спектр землетрясения с необходимыми параметрами, а фазовый спектр определяется по данным записей местных землетрясений и достаточно полно характеризует местные условия распространения сейсмического сигнала, поскольку учитывает как регулярную, так и случайную (рассеянную) составляющие. Вместе с тем, в пределах исследуемой площадки, пространственные вариации фазы предполагают некоторые различия в огибающих сейсмического сигнала, зарегистрированного в различных пунктах

наблюдения. Поэтому задание исходного сигнала, в общем случае, сводится к ряду реализованных нами процедур, которые не противоречат имеющимся теоретическим и экспериментальным данным.

Определяется зона возможного сильного землетрясения. На основе сейсмологических и сейсмогеологических данных устанавливается наиболее вероятный тип подвижки в очаге. Из каталога или архивных материалов региональной сети сейсмических станций отбираются наиболее сильные землетрясения из интересующих нас зон ВОЗ. Далее производится разделение амплитудных и фазовых характеристик выбранных землетрясений с помощью прямого преобразования Фурье, то есть реализуется получение соответствующих амплитудных и фазовых спектров (в настоящей работе использована стандартная программа вычисления спектров сейсмических сигналов методом БПФ). После чего по амплитудным спектрам отобранных записей землетрясений находится средний амплитудный спектр.

Завершающим этапом является Фурье-синтез полученного среднего амплитудного спектра с фазовым спектром, полученным по местному землетрясению с помощью обратного преобразования Фурье. Поскольку среда выступает формообразующим фактором очагового импульса, то фазовый спектр, так или иначе, учитывает излучение очага. Рассеивающие характеристики сред при усреднении амплитудных спектров, отобранных сильных землетрясений по ансамблю нивелируются, а поглощающие характеристики усредняются и вряд ли сильно отличаются от средних для исследуемого региона, тем более, что ошибка при экспериментальном определении последних может достигать 100%. Здесь надо отметить, что если по каким-либо причинам необходимо более полно учесть рассеивающие составляющие в синтезируемом сейсмическом сигнале, то вместо среднего амплитудного спектра можно использовать амплитудный спектр, полученный как огибающая, соединяющая соседние максимумы отдельных спектров используемых землетрясений.

В том случае, когда параметры выбранных землетрясений имеют значительный разброс по отношению к требуемым, приходится иметь дело с нормированными амплитудными спектрами с последующим приведением интенсивности полученного исходного сейсмического сигнала к реальному с помощью данных ОСР, ДСР [3] и инструментальной шкалы, или по нормативным средним.

Нами при задании исходного сигнала, по предложенной выше методике, использовались записи местных землетрясений (северо-восток БРЗ), которые по своим параметрам отвечали сильным землетрясениям из выделенных зон ВОЗ для исследуемого района. Но и в этом случае, наши возможности так же ограничены в статистических данных по записям относительно сильных землетрясений в районе строительства, но выбранные из них мы приводим на рисунке 1. Они и послужили основой для формирования исходного сигнала (табл. 1).

Основные параметры используемых землетрясений, отобранных для формирования исходного сигнала, сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Основные параметры используемых землетрясений Якутии

№ п/п	Дата и время	Коорд. эпиц.		К	М	Сейсмостанция, эпицентральное расстояние
		φ	λ			
1	10.11.2005 19-29-54.3	57.37	120.77	15.7	6.3	Чара, 160 км
2	11.12.2005 15-54-13.4	57.43	120.90	14.8	6.0	Чара, 170 км
3	14.12.2005 23-12-13.3	57.46	120.88	12.7	4.8	Юктали, 108 км
4	15.12.2005 10-58-18.2	57.41	120.92	12.4	4.7	Хани, 79 км
5	26.01.2006 16-57-15.2	57.40	120.90	13.1	5.1	Хани, 77 км
6	12.3.2006 15-15-38.6	57.44	120.91	12.0	4.4	Хани, 81 км
7	29.04.2006 06-06-1.7	57.47	120.99	11.8	4.8	Хани, 86 км

Энергетический класс землетрясений меняется от 11,8 до 15,7, эпицентральные расстояния от 77 до 170 км. Это, в какой-то степени, отвечает удаленности зон ВОЗ от трассы железной дороги (0-50 – 200 км). Значительные интер-

валы изменений имеют так же магнитуды, интенсивность землетрясений в баллах и другие параметры. Из этого следует, что каждая из рассмотренных характеристик имеет свои интервалы изменений, что свидетельствует о необходимости более обоснованного подхода к заданию исходного сейсмического воздействия и к оценке его изменения за счет неоднородностей в пунктах строительства ответственных сооружений.

Рис. 1. Акселерограммы землетрясений и соответствующие им амплитудные спектры Фурье

Само задание исходного сигнала, основанного на записях местных землетрясений и данных сейсмологического анализа с указанием пределов в которых могут меняться параметры сильных землетрясений из выделенных зон ВОЗ, реализуется путем получения синтетических акселерограмм с помощью фазовой характеристики местного землетрясения (Рис. 2, Б) и огибающей нормированных амплитудных спектров (Рис. 2, А). Огибающая нормированных амплитудных спектров представляет сейсмический сигнал, как некоторую выборочную совокупность исследуемого класса сигналов, ограниченных параметрами, соответствующими ВОЗ. Результатом такого восстановления является акселерограмма, представленная на рисунке 2, В.

Рис. 2. А-средний нормированный спектр землетрясений, Б-фазовая характеристика, В-восстановленная акселерограмма

Синтезированный по изложенной методике сигнал (Рис. 2, В) использовался как исходный для наиболее вероятной сейсмической модели эталона для всей рассматриваемой 9-ти балльной зоны. Отмечается, что акселерограмма для модели эталона (Рис. 3) получена, согласно расчету колебаний, на поверхности и во внутренних точках среды, по программе Л.И. Ратниковой [4] и при использовании записей местных землетрясений [1; 5].

Рис. 3. Исходный сигнал для компоненты NS и его спектр

Основные параметры модели и сигнала следующие: мощность верхнего слоя 10 м, скорости сейсмических волн 2700 – V_p и 1450 – V_s , максимальное ускорение 208 см/с², максимум спектра 39 см/с, ширина спектра на уровне 0,5 от максимума меняется от 1 до 8 Гц, длительность колебаний на уровне 0,3 от максимума составляет 20 с. Указанные параметры исходного сигнала говорят о том, что он соответствует 8-ми балльному воздействию, а ширина спектра характеризует его соответствие как относительно далеким (максимумы спектра в основном в диапазоне 0-3 Гц), так и относительно близким (3-8 Гц) по эпицентральному расстоянию землетрясениям из выделенных зон ВОЗ. При проведении необходимых расчетов для линейных сооружений, расположенных в 8-ми балльной зоне синтезированный сигнал (Рис. 3) необходимо масштабировать на 7-ми балльные воздействия для эталонных коренных пород.

В отношении выбора исходных «эталонных» сигналов для коренных пород, учитывая необходимость прогноза их параметров при переходе из мерзлого состояния в талое, необходим и анализ различий в сейсмических воздействиях при условии сохранения параметров исходного сигнала. Несмотря на то, что это специальная тема исследований, проведены конкретные расчеты, которые показывают степень их относительного несоответствия и возможность их использования в пределах погрешностей самих инструментальных методов.

Сформированные исходные сигналы имеют широкополосные спектры, в этом отношении важно проанализировать, как отмечено выше, различия в сейсмических воздействиях на основания линейного сооружения, когда они представлены «эталонными» коренными породами в мерзлом и талом состоянии. При этом, в качестве воздействия, используется землетрясение с такой же максимальной амплитудой, но с более выраженным пиковым характером его спектра в области низких частот (1-2 Гц). Низкий диапазон является наиболее опасным для инженерных сооружений, поскольку он обязан и максимальной энергии землетрясений, проявляемой на больших периодах колебаний [6].

Модели «эталонов» различаются только значениями скоростей в верхнем 10-ти метровом слое: мерзлые 3000 м/с – V_p и 1600 м/с – V_s ; талые 2800 м/с – V_p и 1560 – V_s , при равном значении отношений V_p/V_s . Прогноз скоростей соответствует ранее установленным зависимостям для БСЗ между скоростями продольных (V_{pT} и V_{pM}) и поперечных (V_{sT} и V_{sM}) для талого (т) и мерзлого (м) состояния [1]. Они имеют вид:

$$V_{sT} = 1,39V_{sM} - 1,30 \quad (1)$$

$$V_{pT} = 1,47V_{pM} - 2,76 \quad (2)$$

Результаты расчетов для мерзлого и прогнозируемого талого состояния коренных пород, представленных моделями 1 и 2 показывают, что их различия по ускорениям, максимуму спектров и по его спаду незначительны (Рис. 4). Различия отмечаются только по частотным характеристикам в области относительно высоких частот, то есть за пределами инженерного диапазона частот.

В отношении анализа проведенных теоретических расчетов делается вывод о том, что при выборе за «эталон» коренных пород с фиксированными значениями скоростей сейсмических волн, при расчетах сейсмических воздействий, необходимо учитывать и их состояние. Но если это твердомерзлые породы, то различия в их поведении, при одинаковых сейсмических воздействиях, не выйдут за пределы погрешностей используемых методов сейсмического микрорайонирования. Это подтверждают данные рисунка 4 и указывают на возможность

использования для практических расчетов «эталонов», представленных моделями как талых, так и твердомерзлых пород. Для пластично-мерзлых коренных пород возможность их выбора в качестве эталонных ограничена и должна обосновываться степенью их трещиноватости, льдистости и прочности.

Рис 4. Акселерограммы (А), спектры (Б) и частотные характеристики (В) сейсмогрунтовой модели «эталона» для мерзлого (1) и талого (2) состояния

Полученные, в последнем случае сведения, об изменениях параметров колебаний эталонных грунтов при возможном их оттаивании учитываются при прогнозе сейсмических воздействий на линейные сооружения в случае деградации мерзлоты.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-05-00200 А и № 14-05-31359 мол_а).

Список литературы

1. Джурик В.И., Дреннов А.Ф., Басов А.Д. Прогноз сейсмических воздействий в условиях криолитозоны. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 272 с.
2. Джурик В.И. Методика районирования параметров сейсмической опасности линейных сооружений по сейсмо-грунтовым моделям / В.И. Джурик, С.П. Серебrenников, А.Ф. Дреннов, Л.А. Усынин // Криосфера Земли. – 2008. Том XII, № 4. – С. 66-76.
3. Методические рекомендации по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений МДС 22-1.2004/МИИТ. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 48 с.
4. Ратникова Л.И. Методы расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 124 с.
5. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность: методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию [под ред. О.В. Павлова]. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
6. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. – М.: Стройиздат, 1985. – 73 с.