

ԳՈՐԾԻՔԱՅԻՆ ՀԻՄՔՈՎ ՍԵՅՍՄԻԿ ՍԱՆԴՂԱԿԻ ՍՏՐՈԿՏՈՒՐԱՅԻ ՄԱՍԻՆ

ՀՍՍՀ ԳԱ ակադ., պրոֆեսոր, տեխն. գիտ. դոկտոր ԱՐՄԵՆ ՆԱԶԱՐՈՎ՝

Ռեֆերատ. Գոյություն ունեցող սեյսմիկ սանդղակները կատարյալ չեն, քանի որ նրանք տալիս են բալանսության գնահատականը հիմնված ոչ սեյսմակայուն շենքերի վնասվածքների հետ կապված որակական հատկանիշների վրա: Առաջարկվում է որպես սեյսմիկ ինտենսիվության չափ ընդունել գետնի տատանումների արագացումը երկրաշարժի ժամանակ: Առաջարկվող ձևը կիրառելի է հաջորդականությունը գոյություն ունեցող սեյսմիկ սանդղակների և գործիքային հիմքով սեյսմիկ սանդղակի միջև:

Գոյություն ունեցող սեյսմիկ սանդղակների հիմքերն են մակրոսեյսմիկ դիտումների տվյալները (Быховский, 1936; Назаров, 1947; Горшков и Шенкарева, 1958; Медведев, 1953)²: Ինժեներների համար մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող ուժեղ երկրաշարժերի բալանսությունը հիմնականում գնահատվում է ըստ կառուցվածքների և մասամբ—գրունտների մնացորդային ձևափոխությունների: Հանրահայտ է, որ երկրաշարժերի ինտենսիվության գնահատումն ըստ որակական հատկանիշների անկատարյալ է: Շենքերի մեխանիկական հատկությունների, դրանց կազմող շինանյութերի և կոնստրուկցիաների ամրության միջև գոյություն ունի բավականին մեծ տարբերություն: Այնուհետև, ժամանակի ընթացքում սեյսմիկ շրջաններում կառուցման ձևերը կատարելագործվում են, սեյսմակայուն շենքերի քանակն աճում է, շինարարական աշխատանքների որակը լավանում է: Ուստի ամեն մի սեյսմիկ շրջանում փոխվում են շինարարության պայմանները և, հետևաբար, պետք է փոխվեն և շենքերի մնացորդային ձևափոխությունների վերլուծման վրա հիմնված, երկրաշարժերի օբյեկտիվ հատկանիշները: Բացի դրանից, տարբեր սեյսմիկ երկրներում այդ փոփոխությունները կատարվում են մի քիչ տարբեր ուղղությամբ և տարբեր տեմպերով, որը չի աջակցում դիտման համասեռ նյութի կուտակմանը:

Տարբեր երկրներում կիրառվում են տարբեր սեյսմիկ սանդղակներ: Վերևում նշված պատճառների հետևանքով դրանց հակադարձ միարժեք համապատասխանության բերումը նույնպես դժվարին է: Ուստի դժվար է իրագործել ստույգորեն հիմնավորված երկրաշարժերի ինտենսիվության գնահատման համաշխարհային փորձի կատարումը: Այդ նույնպես առաջ է բերում սեյսմիկ շրջաններում նախագծման, կառուցման և շահագործման փորձի կուտակման վերաբերյալ էական դժվարություններ:

Տարբեր ժամանակ փորձեր էին արվում սեյսմիկ սանդղակների բարելավման համար դրանց մեջ մտցնելով քանակական բնութագրեր: Նրանցից

¹ ՀՍՍՀ ԳԱ Գեոֆիզիկայի և ինժեներական սեյսմոլոգիայի ինստիտուտի տեսական հետազոտությունների բաժնի վարիչ:

² Գրականությունը տե՛ս էջ 15:

ամենից հայտնիները Կանկանիի (Sieberg, 1923) և Ս. Վ. Մեդվեդևի (Медведев, 1953) փորձերն են, որոնց քննադատական վերլուծումը տրված է այլ տեղ (Быховский, 1936; Назаров, 1954):

Պետք է շեշտել երկրաշարժերի ինտենսիվության գնահատման համար ճշգրիտ սանդղակի ստեղծման անհնարինությունը: Սանդղակը, ըստ իր ստույգ ֆիզիկական հասկացողության, պետք է հանդիսանա մեկ պարամետրի ֆունկցիա: Միևնույն երևույթի համար կարող են կազմվել տարբեր սանդղակներ, քանի որ դրանք միարժեքորեն պետք է վերափոխվեն մեկը մյուսով: Դասական օրինակ են հանդիսանում ջերմաստիճանային սանդղակները և դրանց փոխադարձ միարժեք վերափոխումները մեկը մյուսով:

Բոլորովին այլ դիրք են զբաղում սեյսմիկ սանդղակները: Դրանք բազմաթիվ պարամետրերի ֆունկցիաներն են և այդ պատճառով կարող են կամային մոտավորապես: Արդյունքները կլինեն էլ ավելի ճշգրիտ, որովհետև միայն մոտավորապես: Այդ կնշանակի, որ պարամետրերի ռ-չափային ուրիշի համեմատությամբ: Այդ կնշանակի, որ պարամետրերի ռ-չափային տիրույթում մենք գործ ունենք բավականին փոքր լայնակի կտրվածք ունեցող ամրոցական հատկանիշ, որի միջոցով մի քանի պարամետրեր բերվում են մեկի: Իբրև օրինակ կարելի է բերել Բենիոֆի փորձը (Benioff, 1934):

Այստեղ ընթերցողի ուշադրությանն է ներկայացվում սեյսմիկ սանդղակի հետևյալ ստրուկտուրան: Երկրի մակերևույթի տարբեր կետերում սեյսմիկ ինտենսիվության համեմատման համար պետք է ընտրել հարմար չափ: Եթե կառուցվածքի տարածությունը փոքր է սեյսմիկ ալիքի երկարության համեմատ, դրա վարքը շինարարական և գրունտների մեխանիկայի տեսակետից բավականին ճշգրիտ որոշվում է տվյալ կետում երկրաշարժի ժամանակ գրունտի տեղաշարժի երեք բաղադրիչների միջոցով: Տարածված կառուցվածքի դեպքում, երբ դրա չափերը հատկապես ունեն նույն կարգը ինչ սեյսմիկ ալիքի երկարությունը, այս պահանջով մի քանի կետերում նույն տեղաշարժումների գիտնալը, որը հնարավորություն կտա հաշվի առնել տեղաշարժումների տարբերությունը ըստ ամպլիտուդաների և ֆազերի:

Կառուցվածքներում սեյսմիկ ուժերի մեծության որոշման պահին սովորաբար օգտագործում են գետնի տեղաշարժման երկրորդ ասանցյալներն ըստ ժամանակի՝ այսինքն արագացումները:

Ուստի նպատակահարմար է զբանցել անմիջապես հողի արագացումները երկրաշարժերի ժամանակ: Ուրեմն սկզբունքով որպես երկրաշարժերի ինտենսիվության չափ կարելի է ընդունել աքսելերոգրամների կողմից տրվող գետնի տատանումների արագացումը, կամ աքսելերոգրամների բացակայության դեպքում, — գետնի տեղաշարժումները կամ տատանումների արագությունները (Карпетян, 1966):

Փորձը ցույց է տալիս, որ չափազանց դժվար է իրագործել տարբեր կետերում կատարված գետնի տատանումների զբաղման համեմատում: Ուստի անհրաժեշտություն է ծագում սեյսմիկ ինտենսիվության չափի ավելի պարզեցված բնութագրման ստացումը, նույնիսկ եթե այդ կապված կլինի ինֆորմացիայի մասնակի կորուստի հետ: Այդ տեսակետից հետաքրքրություն են ներկայացնում ազատության մեկ աստիճան ունեցող առաձգական սիստեմների ռեակցիաների սպեկտրները՝ մասսայի մեկ միավորի հարաբերությամբ՝ բերված սեյսմիկ արագացումների սպեկտրները (Назаров, 1947; Alford et al., 1951):

Որպես սեյսմիկ ինտենսիվության չափ կարելի է անմիջականորեն ընդունել ավելի պարզ ֆունկցիաները՝ ռեակցիայի սպեկտրը, որոնք ավելի հեշտ համատեղվում են միմյանց միջև:

³ Մի ուրիշ տեղ մենք ցույց կտանք հողի արագացումների վրա հիմնված սեյսմիկ սանդղակ կազմելու սկզբունքային հնարավորությունը. այդ արագացումներն ընդունվում են իբրև երկրաշարժի ինտենսիվության ընդանրացած չափ, նրանց մշակման միջոցով վիճակագրական հիմքի վրա:

Ըստ երևույթին միջին մարում ունեցող առաձգական սիստեմների համար ինֆորմացիայի կորուստը մեծ չի լինի, երբ արագացման ինտենսիվության չափից անցնում ենք ռեակցիայի սպեկտրների չափին: Իրոք, թեպետ ռեակցիայի սպեկտրները կազմված են աղատության մեկ աստիճան ունեցող գծային օսցիլատորների վրա, դրանք պիտանի եղան աղատության բազմաթիվ աստիճան ունեցող կառուցվածքների վարքի մոտավոր վերլուծման համար:

Ուրեմն, իբրև երկրաշարժերի ինտենսիվության մոտավոր չափ կարելի է ընդունել ռեակցիաների սպեկտրները, որոնք համապատասխանում են մարման մի որոշ ստանդարտ մեծությանը:

Բայց ժամանակակից սեյսմավիճակագրությունը, սեյսմիկ շրջանակացման բարոնդները և շինարարական կանոնները կապված են սեյսմիկ սանդղակին, որը հիմնված է մակրոսեյսմիկայի նյութերի վրա: Երկրաշարժերի ինտենսիվության ժամանակակից պաշտոնական չափն է հանդիսանում բալայնության սեյսմիկ սանդղակը: Ինչպես նշված է վերևում այդ ավելի կոպիտ չափ է, քան ռեակցիաների սպեկտրը:

Չնայած դրան, անհրաժեշտ է գտնել մի որևէ հարմար ուղի, որն ապահովի գոյություն ունեցող երկրաշարժերի բալայնության սանդղակի և ռեակցիաների սպեկտրների օգնությամբ երկրաշարժերի ինտենսիվության գնահատման միջև հաջորդականությունը, եթե մենք չենք ուզում անդառնալ կորցնել նախկին երկրաշարժերի ինտենսիվության մասին կուտակված տեղեկությունները:

Երկրաշարժերի ինտենսիվության գնահատման հաջորդականության պահպանման համար ամենապարզ ուղին հետևյալն է:

1. Հավաքել երկրաշարժերի գոյություն ունեցող բոլոր գործիքային գրառումները և դրանց համապատասխանող երկրաշարժերի ինտենսիվության գնահատականներն ըստ սեյսմիկ սանդղակի, հաշվի առնելով գործիքային դիտումների կետերի գրունտային պայմանները:

2. Բոլոր գրառումները վերահաշվարկել ռեակցիաների սպեկտրների՝ տատանումների լոգարիթմական ղեկրմանն առանդարտ մակարդակի պահին, օրինակ 0,5 (Медведев, 1953):

3. Եթե գրառումները ստացված են բազմաճոճանակների միջոցով (Назаров, 1947), կազմել դրանց համար ռեակցիաների սպեկտրներ, վերահաշվարկելով ստանդարտ լոգարիթմական ղեկրմանն առնելով, եթե սեյսմոմետրների ճճանակներն ունեն ստանդարտայինից տարբեր մարում:

4. Բոլոր ստացված ռեակցիաների սպեկտրները խմբավորել ըստ իրենց վերագրված բալերի, տեղական մակրոսեյսմիկ տվյալների հիման վրա:

5. Բոլոր 6 բալին վերաբերվող սպեկտրները գծագրել մի գրաֆիկի վրա և գծել այդ սպեկտրների վերին ու ներքին պարուրիչները:

Պարուրիչները կսահմանեն սպեկտրալ պատկերացումով նշանակված բոլոր վեցբալային երկրաշարժերի գոյության վայրը: Նույն գործողությունները կատարվում են բոլոր ռեակցիաների սպեկտրների համար, որոնք համապատասխանում են 7, 8 և ավելի բարձր բալերին՝ ըստ մակրոսեյսմիկ տվյալների: Արդյունքը կլինի բոլոր մեզ հետաքրքրող բալերի վերին և ներքին պարուրիչները: Այդ պարուրիչներով սահմանված վայրերը ընդհանուր դեպքում կարող են տեղ-տեղ վերագրվել մեկը մյուսի վրա, այսինքն հաջորդ բալին համապատասխանող սպեկտրների վայրի ներքին սահմանը կարող է լինել ավելի ցածր, քան նախորդ բալի վայրի վերին սահմանը: Մյուս դեպքերում այդ վայրերի միջև կարող են լինել արանքներ, այսինքն սպեկտրների ռեակցիաների չօգտագործված դաշտեր: Այդ հարցը ավելի մանրամասն շարադրված է ալլ տեղ (Назаров, 1970):

Անցկացնելով միջնադիր գծեր ըստ միջին կշռած տվյալների կարելի է որոշել ամենահավանական սահմանները բալայնության համար ըստ սպեկտրալ բնութագրերի: Այդ ուղղությամբ կպահանջվի սեյսմոլոգների և ինժեներների կոլեկտիվ աշխատանքը:

Ուրեմն ընդհանուր դեպքում ամեն մի բալին համապատասխանում է տարբեր ուրվագիծ ունեցող ռեակցիաների սպեկտրների դասը, որպես պատահական ֆունկցիաներ: Այդ սպեկտրներին համապատասխանում են երկրաշարժերի ակսելերոգրամները, որպես պատահական ֆունկցիաներ: Հիմնվելով շարժերի ակսելերոգրամները, որպես պատահական ֆունկցիաներ (բալ-սպեկտր, սպեկտր-ակսելոգրամ) կաստիճանական կախման վրա (բալ-սպեկտր, սպեկտր-ակսելոգրամ) հետևելի է որոշել գրունտի արագացման դասը, որպես տվյալ բալանության հետ կապված պատահական ֆունկցիաներ:

Սեյսմիկ սանդղակի այդպիսի ստրուկտուրայի պահին հնարավոր է տրվել բալանություն ակսելերոգրամներ ունեցող երկրաշարժերի ժամանակ կառուցվածքների աշխատանքի խոր վերլուծում, հիմնվելով սեյսմակալությունից ստոխաստիկ տեսության վրա, հաշվի առնելով առաձգապլաստիկ դեֆորմացիաներ և սահմանային վիճակներ:

Ժամանակի ընթացքում մեծ փաստային տվյալների հիման վրա կարելի է կատարելագործել տվյալ բալի հետ կապված ակսելերոգրամների և ռեակցիաների սպեկտրների հավաքակազմերն այն իմաստով, որ դրանցից ընտրել առավել տիպիկը, նույնպես կատարել դրանց հետագա տարբերացումը ելնելով գրունտային պայմաններից, էպիկենտրոնի հեռավորությունից և այլնից: Կիրառելով այս մեթոդը՝ առավելագույն չափով կապահովվի տարբեր երկրներում գոյություն ունեցող սեյսմիկ սանդղակների և պատահված կլինեն դրա սեյսմիկ սանդղակի միջև հաջորդականությունը և ապահովված կլինեն դրա հետագա զարգացման պայմանները ու վերածումը գործիքային հիմքով միջազգային սեյսմիկ սանդղակի:

Գործիքային սանդղակի կատարելագործման և ճշտման համար այն նպատակահարմար է նույնպես բնութագրել ոչ թե մեկ թվով այլ վեկտորով, այսինքն որոշ կարգով գրված մի քանի թվերի ամբողջությամբ (Назаров, 1947):

Մենք այստեղ կանգ չենք առնում մագնիտոլայի և գործիքային սանդղակի կապի բննման վրա, որը պետք է լինի հատուկ բնարկման առարկա:

О СТРУКТУРЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Акад. АН Арм. ССР, профессор, доктор техн. наук А. Г. НАЗАРОВ¹

Реферат. Существующие сейсмические шкалы несовершенны, так как дают оценку балльности на основе качественных признаков, связанных с повреждениями несейсмостойких зданий. Предлагается за меру сейсмической интенсивности принять усреднение колебания почвы при землетрясении. Предлагаемый прием позволит обеспечить преемственность между существующими сейсмическими шкалами и сейсмической шкалой на инструментальной основе.

Основанием для существующих сейсмических шкал являются данные макросейсмических наблюдений (Быховский, 1936; Горшков и Шенкарева, 1958; Медведев, 1953; Назаров, 1947)². Балльность сильных землетрясений, представляющих для инженеров большой интерес, оценивается в основном по остаточным деформациям сооружений и отчасти грунтов. Общеизвестно, что оценка интенсивности землетрясений по качественным признакам несовершенна. Имеется довольно большое различие в механических свойствах зданий, в прочности составляющих

¹ Зав. отделом теоретических исследований Института геофизики и инженерной сейсмологии АН Арм. ССР, Ленинкан.

² Литературу см. на стр. 15.

их строительных материалов и конструкций. Далее, с течением времени методы строительства в сейсмических районах совершенствуются, количество сейсмостойких зданий увеличивается, улучшается качество строительных работ. Поэтому в каждом сейсмическом регионе меняются условия строительства и соответственно должны изменяться объективные признаки землетрясений, полученные на основе анализа остаточных деформаций зданий. Кроме того, в различных сейсмических странах изменения эти происходят в несколько различных направлениях и различными темпами, что не способствует накоплению однородного наблюдательного материала.

В разных странах применяются различные сейсмические шкалы. Приведение их во взаимодозначное соответствие также затруднено в силу причин, изложенных выше. Поэтому трудно осуществить строго обоснованное накопление мирового опыта по оценке интенсивности землетрясений. Это влечет за собой также существенное затруднение в накоплении опыта по проектированию, возведению и эксплуатации сооружений в сейсмических районах.

В различные времена делались попытки улучшения сейсмических шкал, путем внесения в них количественных характеристик. Из них наиболее известны попытки Канкани (Sieberg, 1923) и С. В. Медведева (1953). Их критический разбор дан в другом месте (Быховский, 1936; Назаров, 1954).

Следует подчеркнуть, что невозможно создать точную шкалу для оценки интенсивности землетрясения. Шкала, в ее строгом физическом понимании, должна являться функцией одного параметра. Для одного и того же явления могут быть составлены различные шкалы, но они должны однозначно преобразовываться друг в друга. Классическим примером являются температурные шкалы и их взаимно однозначные преобразования друг в друга.

Совершенно другое положение занимают сейсмические шкалы. Они являются функцией многих параметров и поэтому могут быть сконструированы лишь приближенно. Результаты будут тем точнее, чем более доминирующее значение будет иметь один какой-либо параметр по сравнению с другими. Это значит, что в n -мерном пространстве параметров мы имеем дело с цилиндром с достаточно малым поперечным сечением. Есть еще одна возможность составления приближенной сейсмической шкалы, если взять за основу какой-либо интегральный признак, при помощи которого несколько параметров приводятся к одному. В качестве примера можно привести попытку Бениоффа (Benioff, 1934).

Здесь вниманию читателя предлагается следующая структура сейсмической шкалы. Для сравнения сейсмической интенсивности в различных точках земной поверхности нужно выбрать подходящую меру. Если протяжение сооружения мало по сравнению с длиной сейсмической волны, то поведение его, с точки зрения строительной механики и механики грунтов, достаточно точно определяется тремя компонентами перемещения грунта при землетрясении в данной точке. При протяженном сооружении, размер которого в плане имеет тот же порядок, что и длина сейсмической волны, требуется знание тех же перемещений в основании в нескольких точках для учета различия в смещениях по амплитудам и фазам.

³ В другом месте мы покажем принципиальную возможность составления сейсмической шкалы на основе ускорений почвы, принимаемых за обобщенную меру интенсивности землетрясений путем их обработки на статистической основе.

При определении величин сейсмических сил в сооружении обычно оперируют вторыми производными от смещений почвы по времени, т. е. ускорениями.

Поэтому целесообразно записывать непосредственно ускорение почвы при землетрясениях. Итак, за меру интенсивности землетрясения в принципе можно принять ускорение колебаний почвы, доставляемое акселерограммами, или в случае отсутствия таковых, смещение или скорости колебаний почвы с последующим их пересчетом в ускорение (Карапетян, 1966).

Опыт показывает, что чрезвычайно трудно осуществить сравнение записей колебаний почвы, произведенных в различных точках³.

Поэтому возникает потребность в получении более упрощенной характеристики меры сейсмической интенсивности, даже если это будет сопровождаться частичной потерей информации. С этой точки зрения представляют интерес спектры реакций упругих систем с одной степенью свободы, отнесенные к единице массы—спектр приведенных сейсмических ускорений (Назаров, 1947; Alford et al., 1951).

За меру сейсмической интенсивности можно непосредственно принять спектр реакций, как более простых функций, легче сопоставляемых между собой.

По-видимому, потеря информации для упругих систем со средним затуханием при переходе от меры интенсивности по ускорениям к мере интенсивности по спектрам реакций не слишком велика. Действительно, хотя спектры реакций составлены на основе линейных осцилляторов с одной степенью свободы, они оказались пригодными для приближенного анализа поведения сооружения со многими степенями свободы.

Итак, за приближенную меру интенсивности землетрясений можно принять спектры реакций, отвечающие некоторому стандартному значению затухания.

Но современная сейсмостатистика, карты сейсмического районирования и строительные правила привязаны к сейсмической шкале, основанной на материалах макросейсмоки. Современной официальной мерой интенсивности землетрясений является сейсмическая шкала балльности. Как было установлено выше, это еще более грубая мера чем спектр реакции. Несмотря на это необходимо найти какой-либо подходящий путь для обеспечения преемственности между существующей шкалой балльности землетрясения и оценкой интенсивности землетрясения с помощью спектров реакций, если не хотим потерять безвозвратно накопленные сведения об интенсивности бывших землетрясений.

Для сохранения преемственности в оценке интенсивности землетрясений наиболее простым является следующий путь.

1. Собрать все существующие инструментальные записи землетрясений и соответствующие им оценки интенсивности землетрясений по сейсмической шкале с учетом локальных грунтовых условий пунктов инструментальных наблюдений.

2. Пересчитать все полученные записи в спектры реакций при стандартном уровне логарифмического декремента колебаний, например при 0,5 (Медведев, 1953).

3. Если записи получены по маятниковым сейсмометрам (Назаров, 1947), составить по ним спектры реакций с пересчетом на стандартный логарифмический декремент, если маятники сейсмометров имеют затухание, отличное от стандартного.

4. Все полученные спектры реакций сгруппировать по баллам, приписанным им на основе локальных макросейсмических данных.

5. Нанести все спектры, отвечающие 6 баллам, на один график и вычертить верхние и нижние огибающие этих спектров. Огибающие ограничат область существования всех фиксированных шестибалльных землетрясений в спектральном представлении. Такие же операции прделываются для всех спектров реакций, отвечающих 7, 8 и более баллам по макросейсмическим данным. В результате получим верхние и нижние огибающие для всех интересующих нас баллов. Области, ограниченные этими огибающими, в общем случае могут налагаться местами друг на друга, т. е. нижняя граница области спектров, отвечающее рассматриваемому баллу, может оказаться ниже верхней границы области предыдущего балла. В других случаях между этими областями могут оказаться просветы, т. е. неиспользованные поля спектров реакций. Подробнее этот вопрос изложен в другом месте (Назаров, 1970).

Проведя усредненные линии по средневзвешенным данным, можно установить наиболее вероятные границы для балльности по спектральным характеристикам. В этом направлении потребуются коллективная работа сейсмологов и инженеров.

Итак, в общем случае каждой балльности отвечает класс спектров реакций различных очертаний как случайных функций. Этим спектрам соответствуют акселерограммы землетрясений как случайных функций. На основании ступенчатой зависимости (балл—спектр, спектр—акселерограмма) можно установить класс ускорений грунта, как случайных функций, привязанных к данной балльности.

При такой структуре сейсмической шкалы возможен глубокий анализ работы сооружений при землетрясениях, отвечающих акселерограммам данной балльности на основании стохастической теории сейсмостойкости с учетом упругопластических деформаций и предельных состояний.

С течением времени, в результате накопления большого фактического материала, наборы акселерограмм и спектров реакции, привязанных к данному баллу, можно совершенствовать в смысле выбора из них наиболее типичных, а также производить их дальнейшую дифференциацию в зависимости от грунтовых условий, отдаленности эпицентра и так далее.

При применении такого метода в максимальной мере сохранится преемственность между существующими сейсмическими шкалами в различных странах и сейсмической шкалой на инструментальной основе с обеспечением условий его дальнейшего развития и превращения в международную сейсмическую шкалу на инструментальной основе.

В целях совершенствования и уточнения инструментальной шкалы, целесообразно также характеризовать ее не одним числом, а вектором, т. е. совокупностью нескольких чисел, записанных в определенном порядке (Назаров, 1947).

Здесь мы не рассматриваем связь инструментальной шкалы интенсивности землетрясений с магнитудой, что должно быть предметом специального обсуждения.

ON THE STRUCTURE OF SEISMIC SCALE ON AN INSTRUMENTAL BASIS

ARMEN NAZAROV, Prof., Dr.Tech.Sc., Mem.Armen.Ac.Sc.¹

Abstract. Existent seismic scales which give an estimation of magnitude based on qualitative indications connected with the damage of nonseismic buildings are imperfect. As a measure of seismic intensity it is proposed to assume the acceleration of soil vibrations during earthquakes. A way is proposed to ensure succession between existent seismic scales and the scale on an instrumental basis.

The bases of existent seismic scales are the results of macroseismic observations (Быховский, 1936; Горшков и Шинкарева, 1958; Медведев, 1953; Назаров, 1947). Magnitudes of severe earthquakes which are of particular interest for engineers are estimated mainly by residual deformations of structures and to some extent by that of soils.

It is well known that the estimation of earthquake intensity by qualitative indications is imperfect. There is rather a great scattering in the mechanical properties of structures, in the strength of building materials and constructions. Furthermore, methods of construction in seismic regions improve in due course, the quantity of antiseismic buildings increases, the quality of construction works is improved too. Conditions of construction in each seismic region are changed and therefore the estimation of intensity of earthquakes based on analysis of residual deformations must be changed too. Moreover, in different seismic countries these changes are proceeding in somewhat diverse directions and at divergent rates; this makes the compilation of homogeneous observational data difficult.

Diverse seismic scales are used in different countries. Their transformation into a single-value conformity is difficult due to the above-mentioned causes. It is difficult therefore to carry out a strictly substantiated compilation of world experience on estimation of earthquake intensity. It brings essential difficulties in the compilation of the experience on design, construction and operation of constructions in seismic regions too.

Attempts have been made at various times to improve the seismic scales by introducing quantitative characteristics. The best known attempts are those made by Cancani (Sieberg, 1923) and S. Medvedev (Медведев, 1953). Their critical analysis is given elsewhere (Быховский, 1936; Назаров, 1954).

The first point which should be emphasized is the impossibility of creating a strict scale for the estimation of the earthquake intensity. The scale in its strict physical conception must be a function of one parameter only. Different scales may be composed for the same phenomenon

¹ Head, Dept. of Theoretical Investigations, Institute of Geophysics and Engineering Seismology, Armenian Academy of Sciences, Leninakan.

but it should be possible for them to be transformed one into the other in only one way. Temperature scales and their unambiguous transformations one into another are a classic example.

Seismic scales do not satisfy this condition. They are functions of many parameters and therefore they may be constructed only approximately. The more dominant is the significance of one parameter as compared with the others, the more precise will be the result. This means that in an n -dimensional space of parameters we deal with a cylinder with a fairly small cross-section. Another possibility of constructing an approximate seismic scale exists if as a basis an summary indicator will be taken which permits the reduction of several parameters into one. The attempt by Benioff (1934) may serve as an example.

The reader's attention is drawn to the following structure of seismic scale. An appropriate measure must be selected in order to compare the seismic intensity at different points of the earth surface. If the length of the structure is small in comparison with the seismic wave length, the behaviour of the building from the standpoint of both structural and soil mechanics is fairly precisely determined by the three components of soil displacement at given point during the earthquake. If the length of the structure is comparable with the seismic wave length, the knowledge of displacements at several points of the foundation is necessary, in order to take into account the differences of displacements by amplitudes and phases. Second time-derivatives of soil displacement, i.e. accelerations are used by determination of values of seismic forces in structures. It is expedient therefore to record immediately the acceleration of soil during earthquakes. Thus in principle, it is possible to assume soil vibration accelerations as a measure of earthquake intensity, the data being obtained from accelerograms; in their absence soil displacements or soil vibration rates may be used after their transformation into accelerations (Капанетян, 1966).

Experience has shown the extreme difficulties of the comparison of soil displacements or accelerations at different points². Therefore the need arises to simplify the measures of seismic intensity, even if a partial loss of information results. From this point of view spectra of elastic system reactions with one degree of freedom related to a unit mass are of interest—spectrum of reduced seismic acceleration or response spectrum (Назаров, 1947; Alford et al., 1951).

The response spectrum may be assumed as a measure of seismic intensity; these simpler functions are easier to correlate.

Evidently the loss of information for elastic systems with middle damping is not great, when transition from intensity measures based on accelerations to that based on response spectra is carried out. Indeed

² We shall show elsewhere the principal possibility to compile a seismic scale based on the soil accelerations assumed to be the generalized measure of earthquake intensities, by their statistical analysis.

they turn out to be suitable for an approximate analysis of the behaviour of structures with many degrees of freedom, although the response spectra were based on linear oscillators with one degree of freedom.

Thus response spectra corresponding to some standard value of damping may be assumed as the approximate measure of earthquake intensity.

However all modern seismostatistics, seismic region maps and building codes are bound to the seismic scale based on macroseismic data. The seismic scale is the present-day official measure of earthquake intensity. This is a cruder measure than the response spectra as shown above.

In spite of this, some proper way for securing the succession between the existent scales of earthquake intensities and estimation of earthquakes based on the response spectra should be found if we do not wish to irretrievably lose the compiled information on the intensities of previous earthquakes.

The simplest way of securing succession in the estimation of earthquake intensity is the following:

1. To collect all instrumental earthquake records in existence and corresponding estimations of the earthquake intensities based on seismic scale, taking into account the local ground conditions at the points of instrumental observations.

2. To recalculate all obtained records into response spectra by standard level of the logarithmic decrement of oscillations, e.g. 0.5 (Медведев, 1953).

3. To compose the response spectra by recalculation on the standard logarithmic decrement for the records obtained by means of multipendulous seismometers (Назаров, 1947) if their damping is other than the standard one.

4. To group all the obtained response spectra by intensities which were ascribed to them based on local macroseismic data.

5. To plot all spectra corresponding to the intensity 6 by seismic scale on one diagram and to draw the upper and lower envelopes of these spectra. These envelopes will confine in spectral notion the area of existence of all recorded earthquakes with intensity 6. The same procedures should be followed for all the response spectra corresponding to earthquake intensities 7, 8 and so on, according to the macroseismic data. As a result upper and lower envelopes for all intensities of interest will be obtained.

6. Areas confined by these envelopes may be superimposed generally in some places, i.e. the lower boundary of spectral area corresponding to the following intensity may lie below the upper boundary of the preceding intensity. In other cases there may be gaps between these areas, i.e. unused fields of the response spectra. A detailed elucidation of this question is given elsewhere (Назаров, 1970).

The most probable boundaries for intensities according to spectral characteristics may be estimated by drawing mean lines using average weighted data. Joint work by seismologist and engineers is required for this.

Thus in general, each intensity by macroseismic data corresponds to one class of response spectra with different outlines, as random functions. These spectra correspond to earthquake accelerograms also as random functions. The class of soil acceleration as random functions, connected with the given intensities may be established, based on this step-wise relationship (Intensities of earthquakes by macroseismic data — response spectra, response spectra — accelerograms).

With such a structure of the seismic scale it is possible to analyse the behaviour of building during earthquakes, which correspond to accelerations of the given intensities, based on the stochastic theory of antiseismicity; elasto-plastic deformations and limiting states should be taken into consideration.

In due course as a result of the compilation of many facts, one may improve the sets of accelerograms and response spectra linked with the given intensities, as regards the choice of more typical ones, and carry out their further differentiation too, depending on ground conditions, distance from the epicentre, etc.

By using such a method the succession between seismic scales existent in different countries and the seismic scale on an instrumental basis will be kept to a considerable extent, and conditions will be secured for its further development and transformation into an international seismic scale on an instrumental basis.

The expediency of a more accurate instrumental scale, by describing it by a vector, i.e. by a group of several numbers written down in a definite order is not excluded.

The connection of the instrumental scale of earthquake intensities with magnitudes is not dealt with here; this topic should be discussed separately.

Ч Р У Ч Ы Ы П П Р В П П Ы — Л И Т Е Р А Т У Р А — R E F E R E N C E S

- Быховский В. А., 1936. О сейсмических шкалах. Труды Сейсмологического института АН СССР, 73: 1—42.
- Горшков Г. П. и Шинкарева Г. А., 1958. О корреляции сейсмических шкал. Труды ИФЗ АН СССР, 1, 168.
- Карапетян Н. К., 1966. Методика определения приведенных сейсмических ускорений по сейсмограммам землетрясений и взрывов. ДАН Арм. ССР, 43(5): 275—278.
- Медведев С. В., 1953. Новая сейсмическая шкала. Труды ИФЗ АН СССР, № 21: 110.
- Назаров А. Г., 1947. Инструментальное определение сейсмических сил для расчета сооружений. Известия АН Арм. ССР, сер. естеств. наук, 3: 31—50.
- Назаров А. Г., 1954. О новой сейсмической шкале. Известия АН Арм. ССР, 7(3): 53—65.
- Назаров А. Г., 1970. О переводе сейсмической шкалы на количественную основу. Известия АН Арм. ССР, сер. техн. наук, 23(3): 27—37.
- Alford I. L., Housner G. W. and Martel R. R., 1951. Spectrum analysis of strong motion earthquakes. Earthquake Research Laboratory, California Institute of Technology.
- Benioff M., 1934. The physical evaluation of seismic destructiveness, Bulletin, Seismological Society of America, 24(4).
- Sieberg A., 1923. Erdbaukunde, Jena: Gustav Fischer.