

ՀԱՍՏԱԿՑՎԱԾ ՀԵՆԱՐԱՆԻ ԿՈՇՏՈՒԹՅԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ասատուր Վանոյի Էլոյան*, Արման Հայկի Մեսրոպյան

Ա. Նազարովի անվ. երկրաֆիզիկայի և ինժեներային սեյսմաբանության ինստիտուտ, ք. Գյումրի, ՀՀ

*aeloyan@yandex.ru

Ներկայացված է հաջորդաբար միացված ռետինամետաղե և զսպանակային տարրերից կազմված համակցված հենարանի կոշտության բնութագրերի հաշվարկային վերլուծություն տեսական մեթոդաբանությամբ: Ներկայացված հենարանի կոշտության բնութագրերի ուսումնասիրման և տեսական հաշվարկների ճշգրտության գնահատման նպատակով իրականացվել է թվային հաշվարկ համակցված հենարանի և հենարանի մաս կազմող զսպանակի համար: Թվային վերլուծության համար կիրառվել է վերջավոր տարրերի մեթոդը: Վերլուծության արդյունքում ստացված տվյալները վկայել են, որ գոյություն ունեցող տեսական մեթոդները տվյալ խնդրում կիրառման համար ունեն ճշգրտման կարիք, իսկ ներկայացված հենարաններում առաջարկվում է կիրառել կոշտության հարաբերությունների արժեքները որպես ուղղման գործակիցներ, որոնք կարող են ապահովել համակցված հենարանի մեխանիկական վարքի ավելի ճշգրիտ նկարագրությունը:

Բանալի բառեր. տատանումների սահմանափակիչ, զսպանակային հենարան, ռետինամետաղե հենարան, համակցված հենարան, վերջավոր տարրերի մեթոդ

Ներածություն

Ժամանակակից շինարարությունը պահանջում է արդյունավետ տատանումների սահմանափակիչ տարրերի մշակում [1-6], որոնք ունակ են ընկալել դինամիկ ազդեցությունների լայն սպեկտր, որը պայմանավորված է այդ ազդեցությունների բարդ բնույթով: Սահմանափակիչ սարքերի թվին են պատկանում զսպանակային և ռետինամետաղական հենարանները, որոնք մեծ կիրառություն են գտել արդյունաբերական, քաղաքացիական և կամուրջների շինարարության ոլորտներում:

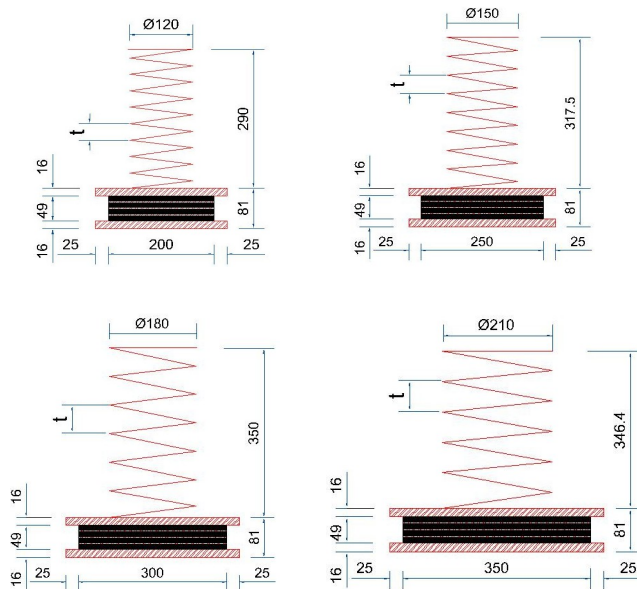
Հենարանային տարրերն ավանդաբար դասակարգվում են ըստ ընկալվող ուժերի բնույթի՝ սեղմում, ձգում և պտույտ [7]: Փաստ է, որ թրթռամեկուսացման խնդիրների համար հիմնականում անհրաժեշտ է հենարան, որը կարող է միաժամանակ ընկալել բոլոր երեք ուժային գործոնները և ապահովել անհրաժեշտ կոշտության բնութագրեր [6]: Առաջացող խնդիրների լուծման համար հատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում համակցված հենարանային տարրերի սխեման, որում զսպանակային տարրը և ռետինամետաղական հենարանն աշխատում են համատեղ:

Հարկ է նշել, որ համակցված հենարանային համակարգերի իրական մոդելների մշակումը պահանջում է համալիր մոտեցում, որը համատեղում է տեսական մեթոդները, փորձնական ստուգումները և թվային մոդելների հաշվարկային վերլուծությունները, իսկ նշված խնդիրներին միտված ուսումնասիրություններն արդիական և արժեքավոր են համարվում, հաշվի առնելով նաև նմանատիպ ուսումնասիրությունների սակավությունը:

Տվյալ աշխատության շրջանակում ուսումնասիրվել է զսպանակային և ռետինամետաղական հենարանային տարրերի հաջորդաբար միացման սխեմայով ստացվող հենարանի կոշտության բնութագրերը, ինչպես նաև իրականացվել է գոյություն ունեցող հաշվարկային մեթոդների կիրառելիության ռացիոնալության գնահատում: Ռետինամետաղե հենարանը կոնստրուկտավորված է կամրջաշինության մեջ կիրառվող ГОСТ 32020-2012 ստանդարտին համապատասխան, իսկ որպես զսպանակ նախատեսվում է կիրառել ըստ ГОСТ 18793-80 պատրաստվող ընդհանուր նշանակության սեղման գլանային զսպանակ: Մշակված տեխնիկական լուծումը նախատեսված է կիրառել տվյալ հոդվածում [8] ներկայացված կինեմատիկ հենարանի կամ նմանատիպ հենարանների կազմում՝ որպես տատանումների սահմանափակիչ տարր:

Նյութեր և մեթոդներ

Դիտարկված են չորս համակցված հենարաններ (նկ. 1), որոնք բաղկացած են ռետինամետաղե բոլոր ուղղություններով շարժական հենարանից [9] և հաջորդաբար կոշտ միացված գլանային պողպատե զսպանակից [10]: Ռետինամետաղե հենարանը հատակագծում նախատեսված է քառակուսի: Ռետինի թերթի հաստությունը բոլոր հենարաններում ընդունված է 10 մմ, իսկ պողպատե թերթինը՝ 3 մմ: Չսպանակների երկրաչափական պարամետրերը ներկայացված են աղ. 1-ում:



Նկ. 1. Համակցված հենարանների սկզբունքային սխեմաներ

Զսպանակի երկրաչափական պարամետրեր

Զսպանակի նշանակումն ըստ ГОСТ 18793-80	Գալարի տրամագիծ, d , մմ	Աշխատող գալարների քանակ, n	Գալարների քանակ, n_0	Գալարների քայլ, t , մմ
1086 -1248	20	8	10	32,50
1086 -1268	25	7	9	40,00
1086 -1278	36	6	8	49,33
1086 -1288	40	5	7	57,27

Հետազոտվել են համակցված հենարանների աշխատանքի առանձնահատկությունները եռաչափ թվային մոդելի միջոցով, որի հաշվարկից ստացված արդյունքները համարվել են էտալոնային: Գնահատվել են կոշտության պարամետրերի որոշման տեսական մեթոդների ճշգրտությունը տվյալ խնդրի պայմաններում՝ ընդունելով զսպանակի տրամագծի և ռետինամետաղե հենարանի կողմի հարաբերությունը ($D/B = 0,6$) հաստատուն: Գլանային զսպանակի ուղղահայաց կոշտությունը որոշվել է հետևյալ բանաձևով՝

$$K_v = \frac{Gd^4}{8nD^3}, \quad (1)$$

որտեղ G -ն սահքի մոդուլն է, d -ն՝ գալարի տրամագիծը, n -ը՝ աշխատող գալարների թիվը, D -ն՝ զսպանակի միջին տրամագիծը: Գլանային զսպանակի հորիզոնական կոշտության որոշման համար կիրառվում են մի շարք տարբեր արտահայտություններ, ընդ որում տվյալ հավասարումները տարբերվում են մի շարք տարբեր արտահայտություններ, ընդ որում տվյալ հավասարումները տարբերվում են զսպանակների բեռնավորման սխեմաներով [11-13], մասնավորապես, տվյալ ստանդարտներում ներկայացված հավասարումներում [12, 13] առկա է զսպանակի նախնական սեղմում, որը հանդես է գալիս արտադրիչներից մեկը, իսկ մեր խնդրի պայմաններում նախնական սեղմումը զրոյական է: Այսպիսով, դիտարկվել է երկու հավասարում, որոնք լայն կիրառվում են ինժեներական պրակտիկայում և ավելի համապատասխան են մեր խնդրի պայմաններին [7, 11]: Հավասարումները ներկայացված են ստորև.

$$K_{H1} = \frac{3Ed^4}{8Dn[3D^2+(2+\nu)h_0^2]}, \quad (2)$$

$$K_{H2} = \frac{3Ed^4H}{8D^3n}, \quad (3)$$

որտեղ E -ն առաձգականության մոդուլն է, ν -ն՝ Պուասոնի գործակիցը, H -ը և h_0 -ն՝ զսպանակի ազատ բարձրությունը: Գլանային զսպանակի ոլորման կոշտության որոշման համար կիրառվել է հետևյալ հավասարումը [7]՝

$$K_{\theta} = \frac{Ed^4}{64Dn}. \quad (4)$$

Ռետինամետաղական հենարանի համապատասխանաբար սեղման, սահքի և ոլորման կոշտության որոշման [14] համար կիրառվել են հետևյալ հավասարումները.

$$K_v = \frac{EA}{H_r}, \tag{5}$$

$$K_H = \frac{GA}{H_r}, \tag{6}$$

$$K_\theta = \frac{4GI}{H}, \tag{7}$$

որտեղ H -ը ռետինամետաղե հենարանի բարձրությունն է, A -ն՝ ռետինամետաղե հենարանի մակերեսը, H_r -ը՝ ռետինի շերտերի գումարային բարձրությունը, I -ն հենարանի իներցիայի մոմենտն է, E -ն՝ ռետինի բերված առաձգականության մոդուլը, որը հաշվի է առնում հենարանի կազմում ռետինի աշխատանքի առանձնահատկությունները [14] և որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$E = 76,5G(\beta - 1,1), \tag{8}$$

որտեղ β -ն ռետինամետաղե հենարանի ձևից կախված գործակից է:

Համակցված հենարանի բաղկացուցիչ տարրերի բնութագրերը ներկայացված են աղ. 2-ում:

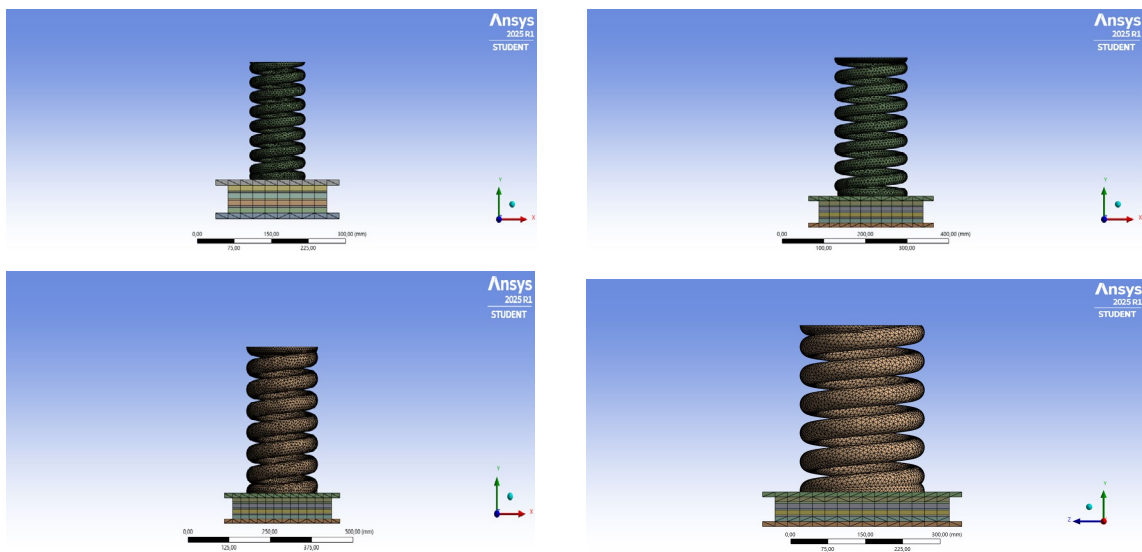
Աղյուսակ 2

Պողպատի և ռետինի ֆիզիկական բնութագրեր

Տարրի անվանում	Առաձգականության մոդուլ, E , ՄՊա	Սահքի մոդուլ, G , ՄՊա	Պուասոնի գործակից, μ
Պողպատ	200000	80000	0,30
Ռետին	-	0,90	0,49

Արդյունքեր և քննարկում

Իրականացվել է համակցված հենարանի հաշվարկ տեսական եղանակով [7], որի համար նախապես իրականացվել է զսպանակի և ռետինամետաղե հենարանի կոշտության բնութագրերի որոշումը: Ստացված արդյունքները համեմատվել են ծավալային երկրորդ կարգի վերջավոր տարրերից կազմված մոդելների (նկ. 2) վերջավոր տարրերի մեթոդով հաշվարկի արդյունքների հետ:



Նկ. 2. Համակցված հենարանի թվային հաշվարկային մոդելներ

Թվային հաշվարկային վերլուծության համար կիրառվել է *Ansys* ծրագրային փաթեթի *Mechanical Analysis* մոդուլը [15]: Տվյալ խնդրում պողպատի աշխատանքն ընդունվել է գծային, իսկ ռետինի աշխատանքը մոդելավորվել է ըստ *Neo-Hookean* հիպերատաճական աշխատանքի մոդելի [16]: Արդյունքները ներկայացվել են աղ. 3-ում:

Աղյուսակ 3

Համակցված համակարգի հաշվարկային տվյալներ

Վերլուծության անվանում		Կոշտություն, կՆ/մմ, կՆ մմ/ռադ								
		Զսպանակային հենարան			Ռետինամետաղե հենարան			Համակցված հենարան		
		ուղղահայաց	հորիզոնական	ուլորման	ճալիկայաց	հորիզոնական	ուլորման	ուղղահայաց	հորիզոնական	ուլորման
Մոդել 1	Տեսական	0,115	0,052	520,8	268,5	0,90	9795,9	0,114	0,049	494,5
	Թվային		251,7						-	
Մոդել 2	Տեսական	0,165	0,085	1162,5	553,9	1,40	23915,8	0,164	0,080	1108,6
	Թվային		393,7						-	
Մոդել 3	Տեսական	0,480	0,280	4860,0	991,4	2,00	49591,8	0,470	0,240	4426,2
	Թվային		1260,0						-	
Մոդել 4	Տեսական	0,550	0,350	7619,1	1613	2,75	91875,0	0,549	0,310	7035,6
	Թվային		1196,9						-	
	Տեսական	0,540	0,189	8330,6	-	-	-	0,530	0,170	7251,8

Հաշվարկի արդյունքների վերլուծությունից պարզ է դառնում, որ մոդելներում զսպանակի ուղղահայաց կոշտության թվային մոդելների հաշվարկից ստացված արժեքներն ի համեմատ տեսական հաշվարկի, փոքր են համապատասխանաբար՝ 5 %, 3 %, 3,1 % և 2,7 % -ով, հորիզոնական կոշտության արժեքները հավասարում (2)-ի կիրառման պարագայում փոքր են՝ 67 %, 58,8 %, 57,1 % և 46 % -ով, իսկ ուլորման կոշտության արժեքները մեծ են՝ 3,8 %, 8,8 %, 9,1 % և 9,3 % -ով: Համակցված հենարանների թվային մոդելների հաշվարկից ստացված ուղղահայաց կոշտության արժեքներն ի համեմատ տեսական հաշվարկի, փոքր են համապատասխանաբար՝ 2,6 %, 16,4 %, 28,9 % և 3,5 % -ով, հորիզոնական կոշտության արժեքները հավասարում (2)-ի կիրառման պարագայում փոքր են՝ 77,0 %, 73,7 %, 80,4 % և 65,3 % -ով, իսկ ուլորման կոշտության արժեքները մոդել

1-ում և մոդել 4-ում մեծ են՝ 3,4 % և 3,1 %-ով, իսկ մոդել 2-ում և մոդել 3-ում փոքր են՝ 8,2 % և 22,8 %-ով: Ստացված տարբերությունները հիմնականում պայմանավորված են տեսական մեթոդների պարզեցվածությամբ և իրական աշխատանքի պայմանների տարածական բնույթով: Հավասարում (3)-ի միջոցով ստացված արդյունքներն էականորեն տարբերվում են թվային վերլուծության արդյունքներից և դիտարկման ենթակա չեն:

Հաշվարկային վերլուծության արդյունքում ստացված կոշտության տարբերությունները ներկայացված են աղ. 4-ում:

Աղյուսակ 4

Կոշտության հարաբերությունների արժեքները հաշվարկներում

Մոդելի անվանում		Մոդել 1	Մոդել 2	Մոդել 3	Մոդել 4
Համակցված հենարան	$\frac{k_{\theta i}^p}{k_{\theta i}^m}$	1,03	0,91	0,77	1,03
	$\frac{k_{H i}^p}{k_{H i}^m}$	0,34	0,26	0,19	0,54
	$\frac{k_{v i}^p}{k_{v i}^m}$	0,97	0,83	0,71	0,96

Եզրակացություն

Ներկայացված համակցված հենարանի տեխնիկական լուծման համար գոյություն ունեցող տեսական հաշվարկի մեթոդները, բացառությամբ մոդել 3-ի, ուղղահայաց և ոլորման կոշտության որոշման համար ընդհանուր առմամբ կիրառելի են, և արտացոլում են տվյալ հենարանի իրական աշխատանքը: Հորիզոնական կոշտության որոշման բանաձևերն առանց ուղղման գործակցի կիրառելի չեն:

Թվային և տեսական վերլուծության արդյունքները վկայում են, որ համակցված հենարանը մինչ զսպանակի ամբողջական նստումն ավելի ընկրկելի կլինի ուղղահայաց և հորիզոնական ուղղությամբ, ի համեմատ միայն զսպանակի, իսկ ամբողջական նստումից հետո, ելնելով ռետինամետաղական հենարանների մեծ կոշտությունից, կարող է ցուցաբերել համապատասխան աստիճանական դիմադրության հնարավորություն, որոնք անհրաժեշտ պայմաններ են տվյալ կինեմատիկ հենարանի համար:

Այսպիսով, ելնելով ստացված արդյունքներից, ներկայացված հենարաններում առաջարկվում է կիրառել կոշտության հարաբերությունների արժեքները, որպես ուղղման գործակիցներ: Ինչպես նաև նմանատիպ հենարանների նախագծման ժամանակ, հաշվի առնելով տվյալ տարրի պատասխանատու դերը, իրականացնել ծավալային վերջավոր տարրերից կազմված թվային եռաչափ մոդելների հաշվարկներ՝ հենարանի տարածական ոչ գծային աշխատանքի ազդեցությունները գնահատելու նպատակով:

Գրականության ցանկ

- [1] **А.М. Уздин, С.В. Елизаров, Т.А. Белаш**, Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений: учеб. пособие, ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», Москва, 2012, 501 с.
- [2] **Г.А. Джинчвелашвили, К.А.В.олесников, В.Б.Заалишвили, И.С.Годустов**, Перспективы развития систем сейсмоизоляции современных зданий и сооружений, Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений 6 (2009) 27-31.
- [3] **Г.А. Джинчвелашвили, О.В. Мкртычев**, Эффективность применения сейсмоизолирующих опор при строительстве зданий и сооружений, Транспортное строительство 9 (2003) 15-19.
- [4] **C.Christopoulos, A.Filiatrault**, Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation; Iuss Press, Pavia, Italy, 2019.
- [5] **I.B. Buckle, R.M.Mayes**, Seismic isolation: History, application, and performance—A world view. Earthq. Spectra 6 (1990) 161–201.
- [6] **F.Naeim, J.M.Kelly**, Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, 1st ed.; John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, USA, 1999.
- [7] **С.Д. Пономарев, Л. Е. Андреева**, Расчет упругих элементов машин и приборов, Машиностроение, Москва, 1980, 326 с.
- [8] **Ա.Հ. Մեքրոպյան**, Նոր կինեմատիկ սեյսմամեկուսիչ հենարանի կիրառման արդյունավետության գնահատում, ՃՇՀԱՀ-ի գիտական աշխատությունների ժողովածու 1 (Երևան, 2025) 60-66:
- [9] **ГОСТ 18793-80**. Пружины сжатия. Конструкция и размеры, Москва, 1982, 79 с.
- [10] **ГОСТ 32020-2012**. Опорные части резиновые для мостостроения. Технические условия Москва, 2014, 27 с.
- [11] **ГОСТ 34093-2017**. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, Стандартиформ, 2017, 42 с.
- [12] **DIN EN 13906-1:2013**. Cylindrical helical springs made from round wire and bar – Calculation and design – Pt 1: Compression springs. – Brussels: European committee for standardization, 2013.
- [13] **РД 32.51-95**. Методика расчета на прочность пружин рессорного подвешивания подвижного состава железных дорог при действии продольных и комбинированных нагрузок. Руководящий документ. Москва, ВНИТИ, 1995, 41 с.
- [14] **ОДМ 218.2.002-2008**. Рекомендации по проектированию и установке полимерных опорных частей мостов, Москва, 2008, 90 с.
- [15] **D. M. Practical**, Finite Element Analysis for Mechanical Engineers, FEA Academy 2020, 639 p.
- [16] **M.C. Boyce, E.M. Arruda**, Mechanics of Solid Polymers: Theory and Computational Modeling, Oxford University Press, Oxford, 2017, 600 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОПОРЫ

Асатур Ваноевич Элоян*, Арман Айкич Месропян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии имени А. Назарова, г. Гюмри, РА

**aeloyan@yandex.ru*

Представлен расчетный анализ характеристик жесткости комбинированной опоры, состоящей из последовательно соединенных резинометаллического и пружинного элементов, выполненной с использованием теоретической методологии. С целью исследования жесткостных характеристик представленной опоры и проверки теоретических расчетов был проведен численный расчет для

комбинированной опоры и входящей в ее состав пружины. Для численного анализа был применен метод конечных элементов. Полученные в результате анализа данные показали, что существующие теоретические методы требуют корректировки применительно к данной задаче. Для представленных опор предлагается использовать значения отношений жесткостей в качестве поправочных коэффициентов, способных обеспечить более точное описание механического поведения комбинированной опоры.

Ключевые слова: ограничитель колебаний, пружинная опора, резинометаллическая опора, комбинированная опора, метод конечных элементов

STUDY OF STIFFNESS CHARACTERISTICS OF A COMBINED BEARING

Asatur Eloyan*, Arman Mesropyan

Institute of geophysics and engineering seismology after A. Nazarov, Gyumri, RA

**aeloyan@yandex.ru*

A computational analysis of the stiffness characteristics of a combined support, consisting of sequentially connected rubber bearing and spring elements, is presented, performed within the framework of a theoretical methodology. To investigate the stiffness behavior of the proposed support and to verify the theoretical calculations, a numerical analysis was carried out for both the hybrid support as a whole and the helical spring constituting one of its components. The finite element method (FEM) was employed as the primary tool for numerical simulation. The results obtained from the analysis demonstrate that the existing theoretical approaches, when applied to this problem, require refinement and adjustment. For the examined types of supports, it is proposed to use stiffness ratio parameters as corrective coefficients, which can provide a more accurate representation of the mechanical behavior of the combined support system.

Keywords: *displacement restraining device, spring support, elastomeric bearing, combined support, finite element method*

Էլոյան Ասատուր Վանոյի, տ.գ.թ., դոցենտ (ՀՀ, ք. Գյումրի) - ԵՄՄԻ, «Մեյսմալայուն շինարարության և ինժեներային սեյսմաբանության» բաժին, (+374)94583167, aeloyan@yandex.ru, **Մեսրոպյան Արման Հայկի** (ՀՀ, ք. Երևան) - ԵՄՄԻ, «Մեյսմալայուն շինարարության և ինժեներային սեյսմաբանության» բաժին, հայցորդ, (+374)98268426, mesropyanarman99@gmail.com

Элоян Асатур Ванович, канд.техн.наук, доцент (РА, г. Гюмри) - ИГИС, отдел Сейсмостойкого строительства и инженерной сейсмологии, (+374)94583167, aeloyan@yandex.ru, **Месропян Арман Айкич** (РА, г. Ереван) - ИГИС, отдел Сейсмостойкого строительства и инженерной сейсмологии, соискатель, (+374)98268426, mesropyanarman99@gmail.com

Eloyan Asatur, doctor of philosophy (PhD) in Engineering, Associate Professor (RA, Gyumri) - IGES, Department of Earthquake-Resistant Construction and Engineering Seismology, (+374)94583167, aeloyan@yandex.ru, **Mesropyan Arman** (RA, Yerevan) - IGES, Department of Earthquake-Resistant Construction and Engineering Seismology, applicant, (+374)98268426, mesropyanarman99@gmail.com

Ներկայացվել է՝ 02.10.2025թ.

Գրախոսվել է՝ 30.10.2025թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 22.12.2025թ.