

УДК 624.151.6

**КРИТЕРИИ ИСТИННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВОБОДНОГО КОЛЕБАНИЯ
СИСТЕМ ГОРНЫХ СКЛОНОВ**

**CRITERIA TRUTH COMPUTER SIMULATION OF FREQUENCY RESPONSE CURVES
OF THE FREE OSCILLATIONS HILLSIDES SYSTEMS**

©**Оразхан Б. Б.**

*Казахский государственный женский педагогический университет
г. Алматы, Казахстан, s200201@bk.ru*

©**Orazkhan B.**

*Kazakh State Women's Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan, s200201@bk.ru*

©**Куттыбекова С.**

*Казахский государственный женский педагогический университет
г. Алматы, Казахстан, saule_kuttybek@mail.ru*

©**Kuttybekova S.**

*Kazakh State Women's Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan, saule_kuttybek@mail.ru*

©**Баймахан А. Р.**

*PhD докторант
Казахский национальный университет им. аль – Фараби
г. Алматы, Казахстан*

©**Baymakhan A.**

*Ph.D. doctoral student
Kazakh National University. al-Farabi
Kazakh State Women's Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan*

©**Баймахан Р. Б.**

*д-р техн. наук
Казахский государственный женский педагогический университет
г. Алматы, Казахстан, brysbek@yandex.ru*

©**Baymakhan R.**

Dr. habil.

*Kazakh State Women's Pedagogical University
Almaty, Kazakhstan, brysbek@yandex.ru*

Аннотация. Анализируется информационная база данных о точности вычисленных значений частотных характеристик свободных колебаний пластины треугольной формы жестко закрепленной на скальное основание решенные разными авторами. В результате анализа влияния форм конечных элементов предлагается специальный критерий, позволяющий назначить минимального количества задания расчетных узловых масс. Излагается результаты конечноэлементного расчета по нахождению частотных характеристик сложного крупномасштабного объекта -состоящая из систем горных склонов

во взаимосвязи между собой и с деформируемым основанием. Показываются соответствующие для пяти низких частот формы колебаний относительно скальной основы.

Abstract. The information database on the accuracy of the computed values of the frequency characteristics of free oscillations of a triangular-shaped dam rigidly fixed to a rock foundation decided by different authors is analyzed. As a result of the analysis of the influence of the finite element forms, a special criterion is proposed that allows to assign a minimum amount of the design of the target nodal masses. The results of a finite element calculation for finding the frequency characteristics of a complex large-scale object-consisting of mountain slope systems in the interrelation between themselves and with a deformable base-are presented. The shape of oscillations corresponding to five rock-frequencies with respect to a rock base is shown.

Ключевые слова: алгоритм, компьютер, критерий, главные частоты, форм колебаний.

Keywords: algorithm, computer, criterion, main frequencies, vibration modes.

С целью выработки критерия определяющий точности вычисленных значений частотных характеристик упругой области сначала решена тестовая задача о свободном колебании плоской плотины прямоугольной треугольной формы с жестко закрепленным нижним основанием рассмотренные различными авторами [1-3]. Предполагалось, что массы конечных элементов равномерно распределены по их площадям; матрица масс системы M разлагалась на треугольные матрицы методом Холецкого. Физико – механические постоянные однородного материала плотины таковы: объемный вес - $\gamma = 2,35 \cdot \frac{10^{-2} \text{ Мн}}{\text{м}^3}$, модуль Юнга – $E = 2,46 \cdot 10^4 \text{ Мпа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; высота плотины - $H=100\text{м}$, ширина по основанию - $L = 75\text{м}$. Треугольная область сечения плотины разбивалась на переменное количество треугольных элементов; исключим из матриц $[M]$, $[K]$ элементы, соответствующие узлам, лежащим на основании. Количество узлов при счете варировался, взято от 43 до 144 узлов. Все вычисления производились с двойной точностью. Следует сказать, что затем появились переведенные на русский язык основополагающие капитальные работы по применению МКЭ к динамическим задачам книги О. Зенкевича [4], К. Бате, Е. Вильсона [5], из Казахских авторов [6] и др. На Рисунке 1 приведены варианты применения конечных элементов различной формы. Вариант Рисунка 1.а применены И. А. Константиновым, Л. А. Розиным и автором работы [3]. В данной работе повторениями результатов этих авторов полученные в свое время элементами треугольной формы, в настоящей работе решена та же задача с применением изопараметрических элементов. Получены те же значения частот свободных колебаний для этой области. Далее после такого обоснования достоверности алгоритма, разработанного критерия назначения границ расчетной области, с целью моделирования склонов гор, сначала решены задачи, показанные на Рисунке 1.а, затем варианты Рисунке 1. б, с и d.

Подробные алгоритмы решения такой задачи имеется в работе [6] с применением моделей горных пород [7-8] и для грунтов [9] анизотропного строения.

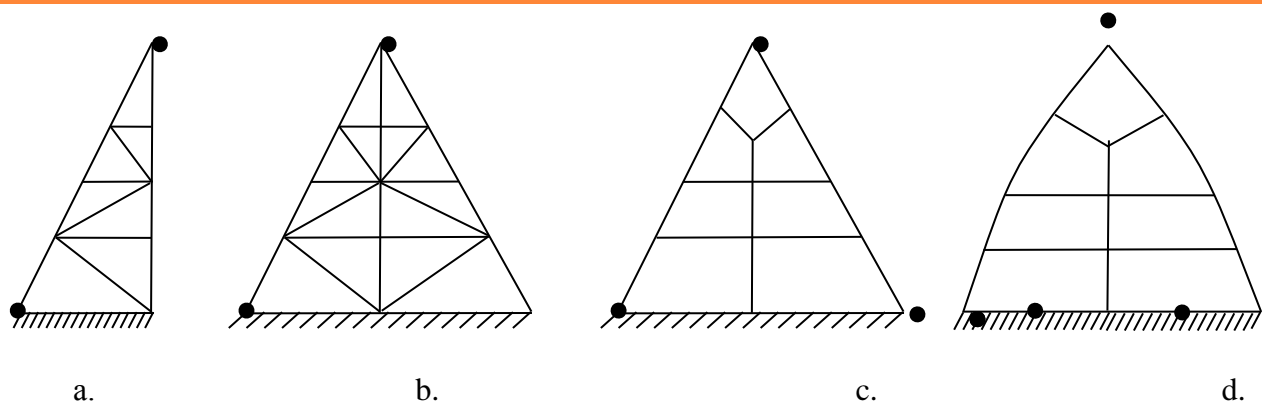


Рисунок 1. Расчетные треугольные области различной формы для решения тестовых задач для нахождения частот свободных колебаний: а, б– область плотины, моделированная трехузловыми элементами; с, д– область плотины, моделированная изопараметрическими четырехузловыми элементами.

В Таблице 1 приведены значения первых низших частот колебаний плотины, полученные разными исследователями и автором настоящей диссертации. Из таблицы видно, при всех одинаковых размерах и значениях упругих постоянных материала плотины наблюдаются небольшие расхождения в значениях низших частот ω_i ($i = 1,5$) с увеличением количества узлов, а в значениях ω_6 - существенное различие. Это различие, по-видимому, объясняется тем, что авторы [1-2], матрицу масс приняли в виде (4.10), т.е. массы элементов сосредоточены в узлах, следовательно, ММС является диагональной. В вычислениях низших частот автором использованы матрицы равномерно распределенных масс. Эти расчеты показывают о применимости привлечение ограниченного количества узлов при расчете значений низших частот изучаемого объекта на основе разработанного алгоритма и программы.

Таблица 1.

СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ НИЗШИХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ПЛОТИНЫ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Источники	n	Номера низших частот ω_i , рад/сек					
		1	2	3	4	5	6
1. Константинов И. А. Динамика гидротехнических сооружений. Ч. II. Ленинград: Энергия, 1976, 196 с.	25	29,7	68,4	75,9	124,2	156,1	173,5
	36	29,1	68,0	75,2	122,3	152,4	176,0
	144	25,5	64,8	73,6	114,2	161,4	168,6
2. Розин Л. А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам. М.: Стройиздат, 1977, 129 с.	144	27,5	64,8	73,6	114,2	161,4	200,7
3. Канд. Дисс. И. Б. Баймаханов	36	29,6	71,6	77,7	140,4	169,2	212,9
	45	28,7	69,4	76,2	132,8	166,8	206,6
	78	28,6	66,7	77,8	121,7	169,2	187,6
	144	27,4	64,9	73,9	115,4	163,9	173,8
Настоящая работа	144	26,3	64,7	73,8	114,6	162,1	171,2

Переходим теперь к изучению свободного колебания крупного объекта, состоящая из массива систем горных склонов. Проблемой здесь является вопрос выбора размера области длиной L и высотой H следует и установить минимально необходимое количества расчетных

узловых масс. Иначе найденные без обоснования необходимой минимальной количества масс, полученные результаты будут неверные. Показанные на Рисунке 2 на границах конечноэлементной расчетной области ставились конкретные кинематические условия, отражающие физическую сущность колебательного процесса горных склонов. Для подтверждения достоверности разработанной расчетной схемы, необходимо, обосновать выбор размера ее внешних границ. С этой целью, исходя из критерия, разработанного И. Б. Баймахановым в свое время для подземных сооружений через площади, предлагаем следующий критерий для исследования динамики горной системы через массу [3]:

$$m_{s_1} = \sum_{i=1}^n m_i \quad (1) K_m = \frac{m_{s_1}}{M_{s_2} + m_{s_1}} \quad (2)$$

В этих выражениях: n – количество склонов; m_{s_1} – масса систем горных склонов на суммарной площади s_1 ; M_{s_2} – масса сплошной области оснований горных систем s_2 , вычисляемый прямым произведением длины L на высоту H . $\omega_0 = \omega_{0j+1}$ Для оценки величины K_m исходим из условия выполнения точности шага табулирования акселерограммы землетрясении примем:

$$\omega_0 = \omega_{0j+1} \quad \Delta t = t_{i+1} - t_i \quad (3)$$

Для достижения линейности изменения функции на бесконечно малом отрезке времени Δt описывающий в целом нелинейного изменения записи акселерограмм ее длина должна быть $\Delta t \leq 0.01$ сек. Числовые эксперименты показали, что приемлемые стабильные значения вычисленной наименьшей частоты свободных колебаний ω_0 (или это главный тон колебаний) получится при выполнении условия:

$$\omega_0 = \omega_{0j+1} - \omega_{0j} \leq 0.01 \quad (4)$$

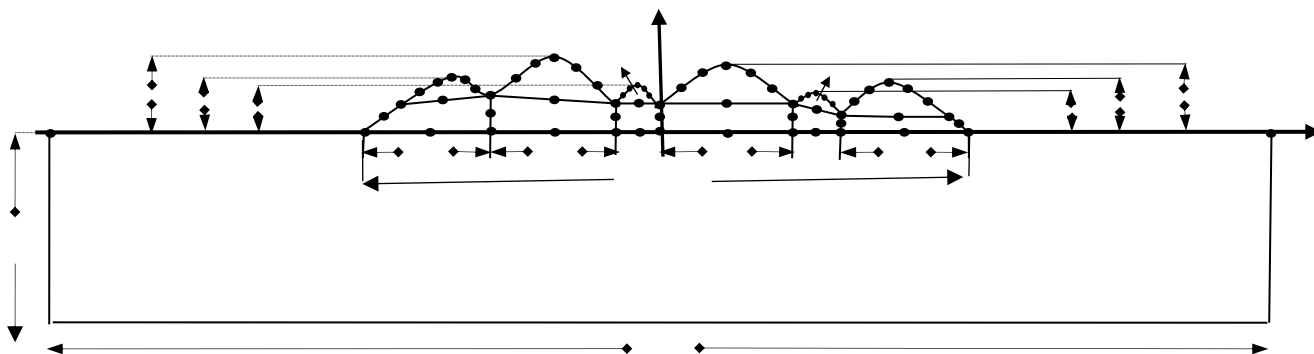


Рисунок 2. Конечноэлементная расчетная схема задачи по определению частоты и форм свободных колебаний системы состоящей из горных склонов

Обозначим эту точности как $\varepsilon = 0.01 \text{ рад/сек}$. Оказался что, точность вычисления

наименьшей частоты главного тона колебаний ω_0 оказался одинаковой что и значения назначенного шага табулирования акселерограммы землетрясения Δt . Окончательно получим критерия назначения конечных размеров наземной и подземной части расчетной

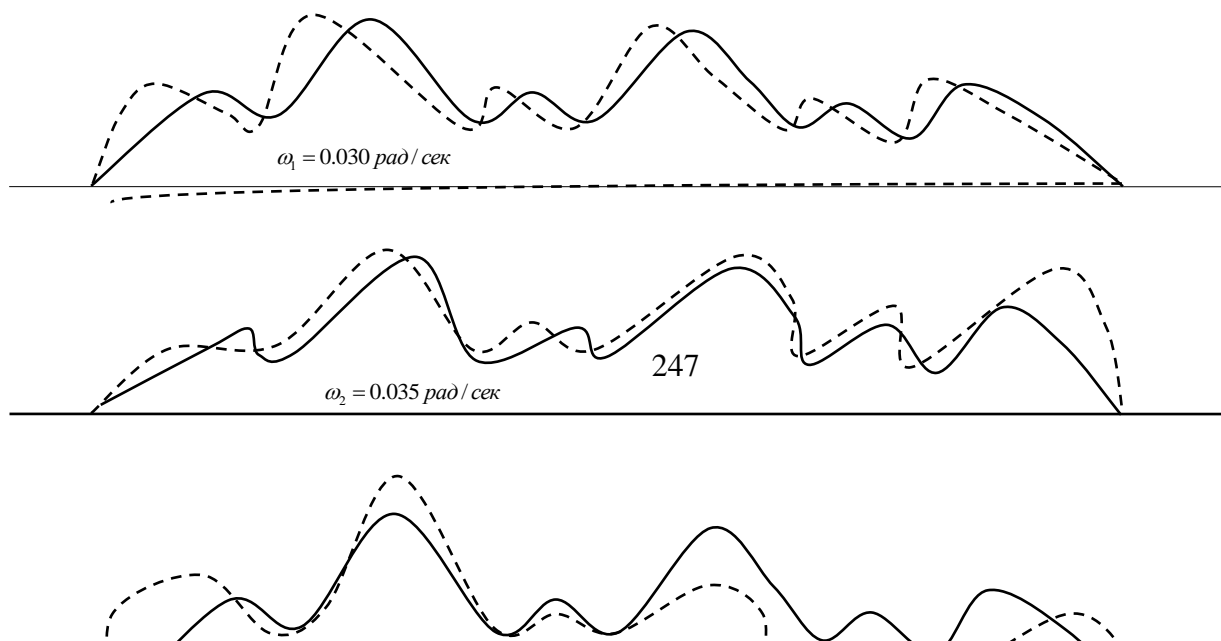
конечноэлементной области: $K_m = \frac{m_s}{M+m_s} \leq 0.01$ (5). С помощью предложенного критерия определяющий истинных частот свободных колебаний (1)-(5) и по алгоритмам работ [10-12] частоты и формы свободных колебаний системы состоящей из горных склонов, показанный на Рисунке 2, при следующих значениях длин и высот: $l_1 = 350\text{м}$, $l_1 = 300\text{м}$, $l_1 = 150\text{м}$, $l_1 = 400\text{м}$, $l_1 = 200\text{м}$, $l_1 = 400\text{м}$, $h_1 = 350\text{м}$, $h_1 = 150\text{м}$, $h_1 = 220\text{м}$, $h_1 = 250\text{м}$, $h_1 = 180\text{м}$, $h_1 = 200\text{м}$, $h_1 = 300\text{м}$. Общая длина основания горных склонов, $l_s = 2000\text{м}$. Высота полуплоскости - $H = 3000\text{м}$ длина по основанию - $L = 7000\text{м}$. Для простоты упругие свойства горных склонов и оснований приняты одинаковыми и при горизонтальной слоистости - угол наклона слоев $\varphi = 0$ имеют следующие физико-механические свойства: $E_1 = 1.074 \cdot 10^4 \text{Мпа}$, $E_2 = 0.513 \cdot 10^4 \text{Мпа}$, $G_2 = 0.120 \cdot 10^4 \text{Мпа}$, $\nu_1 = 0.413$, $\nu_2 = 0.198$. По предложенному критерию и алгоритмам работы [6] найдены значения частот свободных колебаний и соответствующие им формы свободных колебаний. Из теории колебаний известно, что высшие частоты не вносят значительный вклад на форму колебаний. По этому в Таблице 2 приведены значения первых 10 низких круговых частот, периодов и частот в герцах.

Таблица 2.

ЗНАЧЕНИЯ ПЕРВЫХ ДЕСЯТЫХ ГЛАВНЫХ ЧАСТОТ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ ГОРНЫХ СКЛОНОВ

Номер частот	Круговые частоты ω , рад/сек	Периоды T , сек	Частоты f , гц
1	0.030	211.3	0.047
2	0.035	180.2	0.055
3	0.040	156.0	0.064
4	0.041	150.5	0.066
5	0.042	149.2	0.067
6	0.053	119.1	0.084
7	0.054	118.3	0.085
8	0.056	112.1	0.089
9	0.059	105.8	0.094
10	0.062	101.7	0.098

Анализируя полученные результаты заметим, что, во-первых, значения круговых частот расположены плотно, во-вторых, период 10-тона колебаний уменьшается в 2 раза по сравнению с главным тоном колебаний. Формы колебаний, соответствующие первым 5-ти частотам показаны на Рисунке 3.



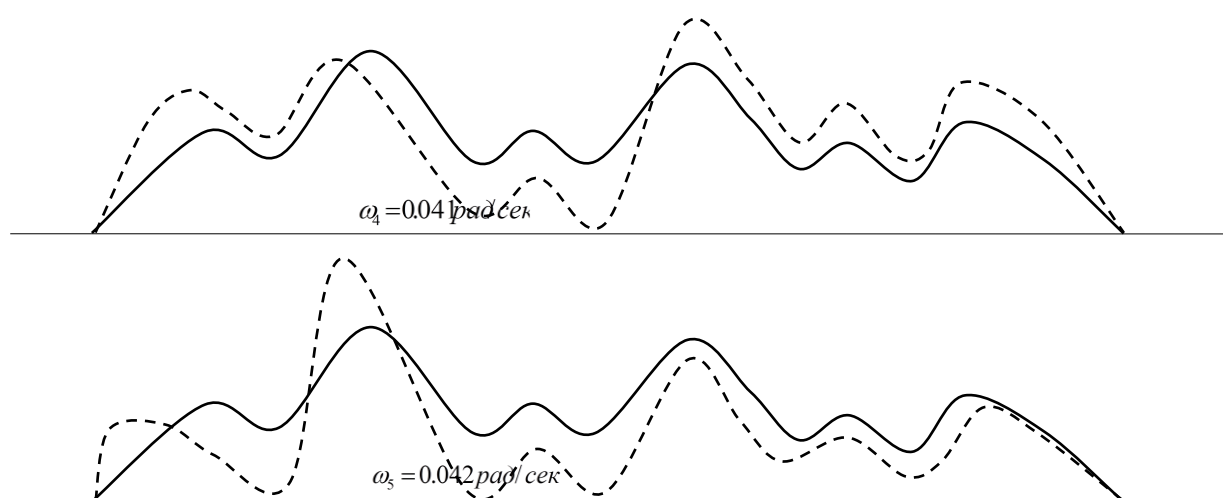


Рисунок 3. Формы свободных колебаний исследуемой области, состоящей из систем горных склонов, соответствующие первым 5-ти частотам

По главной частоте ω_1 , который соответствует первая форма колебаний все склоны гор сдвигаются влево, по второй частоте ω_2 , наоборот все склоны смещаются преимущественно вправо. Начиная с третьей частоты ω_3 и выше совершаются волнистые формы, которые опускаются вниз и поднимаются вверх. Эти найденные частоты свободных колебаний имеют важные значения при сейсмическом вынужденном колебаний, который выясняется возможности наступления резонанса.

Список литературы:

1. Константинов И. А. Динамика гидротехнических сооружений. Ч. II. Ленинград: Энергия, 1976, 196 с.
2. Розин Л. А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам. М.: Стройиздат, 1977, 129 с.

3. Баймаханов И. Б. Напряженное состояние подземных сооружений в массиве сложного строения при сейсмических воздействиях: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Алма-Ата, 1986. 24 с.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1976. 541 с.
5. Бате К., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1982. 447 с.
6. Баймахан Р. Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов. Алматы, 2002. 232 с.
7. Ержанов Ж. С., Айтиалиев Ш. М., Масанов Ж. К. Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно-слоистом массиве. Алма-Ата: Наука, 1971. 160 с.
8. Ержанов Ж. С., Айтиалиев Ш. М., Масанов Ж. К. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в слоистом анизотропном массиве. Алма-Ата: Наука, 1980. 206 с.
9. Бугров А. К., Голубев А. И. Анизотропные грунты и основания сооружения. М.: Недра, 1993. 245 с.
10. Курманбеккызы Н. Об устойчивости водонасыщенного склона над горной дорогой. // Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы автомобильных дорог» (Алматы, 14-15 апреля, 2005 г.). Алматы, 2005. С. 164-168.
11. Рысбаева А. К. Критерий определения устойчивости оползневых склонов // Сборник материалов международной научно-методической конференции «Актуальные вопросы естественно-научных дисциплин». Алматы, 2014. С. 47-50.
12. Baimakhan A. R. et al. Deformation stability of a dam tilt anisotropic structure // Proceeding the 15th Asian Regional Conference on Soil Mekhanics and Geotechnical Engineering. Extended Abstracts. Fukuoka, 2015. P 573-576.

References:

1. Konstantinov, I. A. (1976). Dynamics of hydraulic structures. Part II. Leningrad, Energiya, 96. (in Russian)
2. Rozin, L. A. (1977). Finite Element Method in Application to Elastic Systems. Moscow, Strojizdat, 129. (in Russian)
3. Baimakhanov, I. B. (1986). Stress state of underground structures in an array of complex structures under seismic influences: author's abstract. Ph.D. diss. Alma-Ata, 24. (in Russian)
4. Zenkevich, O. (1976). Finite Element Method in Engineering. Moscow, Mir, 541. (in Russian)
5. Bate, K., & Wilson, E. (1982). Numerical analysis methods and the finite element method. Moscow, Strojizdat, 447. (in Russian)
6. Baymakhan, R. B. (2002). Calculation of the seismic stress of underground structures in an inhomogeneous thickness by the finite element method. Almaty, 232. (in Russian)
7. Erzhanov, Zh. S., Aitaliev, Sh. M., & Masanov, Zh. K. (1971). Stability of horizontal workings in an inclined-layered massif. Alma-Ata, Nauka, 160. (in Russian)
8. Erzhanov, Zh. S., Aitaliev, Sh. M., & Masanov, Zh. K. (1980). Seismic stress of underground structures in a layered anisotropic massif. Alma-Ata, Nauka, 206. (in Russian)
9. Bugrov, A. K., & Golubev, A. I. (1993). Anisotropic soils and basement of the structure. Moscow, Nedra, 245. (in Russian)
10. Kurmanbekkizy, N. (2005). On the stability of a water-saturated slope above a mountain road. *International scientific and technical conference Modern problems of highways. Almaty, April 14-15, 2005. 164-168.* (in Russian)

11. Rysbaeva, A. K. (2014). The criterion for determining the stability of landslide slopes. *Collection of materials of the international scientific and methodical conference Actual questions of natural science disciplines. Almaty, 47-50.* (in Russian)
12. Baimakhan, A. R., & al. (2015). Deformation stability of a damn tilt anisotropic structure. *Proceeding The 15th Asian Regional Conference on Soil Mekhanics and Geotechnical Engineering. Extended Abstracts. Fukuoka, Japan. 573-576*

Работа поступила
в редакцию 17.10.2017 г.

Принята к публикации
21.10.2017 г.

Ссылка для цитирования:

Оразхан Б. Б., Куттыбекова С., Баймахан А. Р., Баймахан Р. Б. Критерии истинности компьютерного моделирования амплитудно–частотных характеристик свободно колебания систем горных склонов // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №11 (24). С. 243-250. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/orazkhan> (дата обращения 15.11.2017).

Cite as (APA):

Orazkhan, B., Kuttybekova, S., Baymakhan, A., & Baymakhan, R. (2017). Criteria truth computer simulation of frequency response curves of the free oscillations hillsides systems. *Bulletin of Science and Practice*, (11), 243-250