



ENGINEER

international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

16-february, 2026



engineer.tstu.uz

**ABDURAXMON ASIMOVICH ISHANXODJAYEV TAVALLUDINING
85 YILLIGIGA BAG‘ISHLANGAN
“TRANSPORT INSHOOTLARI: ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR,
SEYSMIK BARQARORLIK”
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIIY-AMALIY KONFERENSIYASI
ILMIY ISHLARI TO‘PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti texnika fanlari doktori, professor, transport qurilishi sohasida taniqli olim, fan va texnika sohasidagi Abu Rayhon Beruniy nomli O‘zbekiston Davlat mukofoti laureati, “Shuxrat belgisi” ordeni, “Sharafli mehnati uchun” medali, “Oliy talim fidoiysi”, Oliy talim alochisi”, “SSSR ixtirochisi”, “Yo‘l ustalarning ustozlari”, “Seysmik xavfsizlik sohasi alochisi” ko‘krak nishonlari sohibi **Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayev tavalludining 85 yilligiga bag‘islangan “Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to‘plami chop etildi.

Abduraxmon Asimovich 100 dan ortiq ilmiy asarlar, shu jumladan, 2 ta monografiya, 2 ta darslik, 18 ta chet elda chop etilgan ilmiy maqola va ishlab chiqarishga tadbiiq etilgan 6 ta ixtiroga berilgan guvohnoma va patentlar muallifidir. Uning ilmiy maslahatchiligi va ilmiy rahbarligida 2 ta doktorlik, 8 ta nomzodlik va 4 ta texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajalariga dissertatsiyalar yoqlandi, ko‘p sonli ilmiy-tadqiqot mavzulari – fundamental va amaliy Ilmiy grantlar, yo‘l-ko‘prik qurilishi bo‘yicha Respublika va soha me‘yoriy hujjatlari yaratganlar.

Ishanxodjayev Abduraxmon Asimovich 1962 yilda Toshkent temir yo‘l muhandislari institutini “Sanoat va fuqaro qurilishi” mutaxassisligi bo‘yicha tugatib, bir yil O‘zbekiston suv xo‘jaligi Davlat loyiha instituti muhandisi, to‘rt yil “Toshshaxarqurilish Bosh Boshqarmasi” qurilish tashkilotlarida qurilish ustasi va ish bajaruvchi lavozimlarida ishladi. Shu davrda u hozirgi Respublika Prezidenti devoni binosi qurilishida ishtirok etdi, Toshkent viloyati Bo‘stonliq rayoni “Chimyon” dam olish zonasida tiklanayotgan “Quyoshli” pioner lager qurilishiga rahbarlik qildi. Nihoyat, u 5-yillik loyiha va ishlab chiqarish tajribasiga ega mutaxassis sifatida 1967-yil dekabrda O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutiga, ushbu institut direktori, o‘sha paytda fan nomzodi, keyinchalik akademik Tursunboy Rashidov ilmiy rahbarligida aspiranturaga kiradi va keyingi 20-yil davomida kichik va katta ilmiy hodim, laboratoriya mudiri lavozimlarida faoliyat ko‘rsatdi.

Shu davrda uning bevosita rahbarligi va ishtirokida O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutida dunyoda yagona “Metropolitanlar zilzilabardoshligi” laboratoriyasi tashkil etildi. Ushbu laboratoriya Toshkent metropoliteni Chilonzor metro yo‘lini noqulay grunt sharoitlari va yuqori seysmik zonada loyihalash va qurishda, metro qurilishi tajribasida birinchi bo‘lib yirik yig‘ma temirbeton elementlardan tiklanadigan yurish va bekat tonnellarining yangi, zilzilabardosh konstruksiyalari yaratish va tadbiiq etishda faol qatnashdi. Toshkent metrosi Chilonzor yo‘lining qurilgan bo‘laklarida ulkan eksperimental tadqiqotlar o‘tkazildi, metro tajribasida birinchi bo‘lib muhandis-seysmometrik kuzatuvlar tashkil qilindi. Laboratoriya ilmiy xodimlari va izlanuvchilaridan 10 dan ortiq kishi nomzodlik va doktorlik dissertatsiyalari yoqladilar. Kafedrada bajarilgan ilmiy-tadqiqotlar natijalarining ishlab chiqarishga tadbiiqidanda hosil bo‘lgan katta miqdordagi iqtisodiy samara institut va O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi hisobotlarida qayd etildi.



Ustozimiz 30 yildan ortiq muddatda rahbarlik qilgan Toshkent avtomobil-yo'llar instituti "Ko'priklar va transport tonneleri" kafedasi O'zbekiston Respublikasi, shuningdek, Osiyo, Afrika va Lotin Amerikasi mamlakatlari uchun ko'priksizlik bo'yicha oliy malumotli kadrlar tayyorladilar. Shuni qayd etish lozimki, professor Ishanxodjaev Abduraxmon Asimovich turli yillarda Tojikiston va Qirg'iziston Respublikalari hududlarida, Armaniston Respublikasining Spitak shahrida ro'y bergan kuchli zilzilalar oqibatlarini o'rganish va tahlil qilishda, sobiq Ittifoq Fanlar Akademiyasi prezidiumi qoshidagi seysmologiya va zilzilabardosh qurilish bo'yicha idoralararo kengash azosi sifatida faol ishtirok etdi. Keyingi yillarda u Toshkent shahri va Respublikada qurilayotgan ulkan transport inshootlari konstruksiyalari, shu jumladan Toshkent metropoliteni yer usti xalqa yo'li konstruksiyalarini ekspertiza qilish jarayonlarida ham bevosita ishtirok etdi.

Ishanxodjayev Abduraxmon Asimovich 50 yildan ortiq davrda ilmiy darajalar beruvchi ixtisoslashgan va ilmiy kengashlarning raisi, ilmiy kotibi, a'zosi va ushbu kengashlar qoshidagi ilmiy seminar raisi sifatida 300 dan ortiq mutaxassislarning doktorlik, nomzodlik va falsafa doktori ilmiy darajasini olish jarayonida qatnashdi. Hozirda u Toshkent Davlat Transport Universiteti huzuridagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengash a'zosi va ushbu ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, O'zbekiston mexaniklar jamiyatining kengashi a'zosi, Sharof Rashidov nomli Samarqand Davlat universiteti va O'zbekiston Fanlar Akademiyasi seysmologiya instituti qoshidagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengashlar a'zosi sifatida ilmiy darajadagi mutaxassislar tayyorlashda faol ishtirok etmoqdalar.

Mazkur ilmiy-amaliy konferensiyaning maqsadi transport qurilishi sohasida olib borilayotgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar yo'nalishlarini muhokama qilish, jumladan ko'priklar va tunnellar qurilishi, metropolitenlar, yuqori seysmik hududlarda transport obyektlarining ishonchliligi va seysmik mustahkamligi, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari, hamda innovatsion muhandislik yechimlari bo'yicha ilmiy natijalar almashuvini ta'minlashdan iboratdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

"Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. Transport inshootlari uchun zamonaviy konstruktiv yechimlar va materiallar;
2. Ko'priklar hamda yo'l o'tkazgichlarni diagnostika qilish, ta'mirlash va mustahkamlash texnologiyalari;
3. Seysmik hududlarda transport inshootlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishdagi dolzarb masalalar;
4. Ilg'or xorijiy tajriba, innovatsion yondashuvlar va amaliy tavsiyalar.

Ushbu ilmiy-ma'rifiy to'plam Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayevning tabarruk 85 yoshga to'lishi munosabati bilan nashr etilib, unda transport qurilishi sohasida faoliyat yuritayotgan yetakchi olimlar, professor-o'qituvchilar va malakali mutaxassislarning ilmiy izlanishlari jamlangan. To'plamda transport qurilishining dolzarb muammolari, zamonaviy muhandislik yechimlari, ilmiy-nazariy va amaliy tadqiqot natijalari yoritilib, ushbu sohaning bugungi holati va istiqboldagi rivojlanish yo'nalishlari aks ettirilgan. Mazkur nashr Abduraxmon Asimovichning transport qurilishi faniga qo'shgan ulkan hissasiga nisbatan chuqur hurmat va e'tirof ramzi sifatida tayyorlangan.



Vibrations of a rigid beam elastically connected to deformable supports under seismic loads

B. Mardonov¹ , N.A. Nishonov¹ , M.J. Berdibaev¹ , A.Ch. Khurramov¹ ,
R.R. Azamov² 

¹Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

²National Research Institute for Seismic Safety and Resilient Construction under Tashkent University Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: In practice, there are problems related to the calculation of groups of piles buried in the ground environment with different depths of immersion. At the same time, the main attention is paid to assessing the influence of the external ground environment on the magnitude of pile movement and the development of contact forces at the points of connection of piles with load-bearing beams is evaluated. As the results of monitoring the condition of bridge structures under the action of external forces, especially seismic ones, show, the greatest structural damage occurs at the junction of piles with beams. The oscillatory process of a rigid beam in contact with two piles through elastic elements is studied. The influence of stiffness coefficients on the frequency response of beam vibrations is estimated.

Keywords: bridge, beam, support, vibration, displacement, ground, seismic load

Колебания жесткой балки, упруго соединенной с деформируемыми опорами, при сейсмических нагрузках

Б. Мардонов¹ , Н.А. Нишонов¹ , М.Ж. Бердибаев¹ , А.Ч. Хуррамов¹ ,
Р.Р. Аъзамов² 

¹Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

²Национальный исследовательский институт сейсмической безопасности и устойчивого строительства при Ташкентском архитектурно-строительном университете, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: На практике встречаются задачи, связанные с расчетами группы свай, заглубленных в грунтовую среду на различную глубину погружения. При этом основное внимание уделяется оценке влияния внешней грунтовой среды на величину перемещения свай и развития контактных усилий в местах связи свай с несущими балками. Как показывают результаты наблюдения состояния мостовых сооружений при действии внешних сил, особенно сейсмических, наибольшие повреждения конструкции происходят в местах стыка свай с балками. В работе изучен колебательный процесс жесткой балки, контактирующей с двумя сваями через упругие элементы. Дана оценка влияния коэффициентов жесткостей на АЧХ колебания балки.

Ключевые слова: мост, балка, опора, колебания, перемещение, грунт, сейсмическая нагрузка

1. Введение

В настоящее время в связи с ростом населения и развитием городов строительство автомобильных дорог в городах значительно увеличилось. Мосты являются важной частью дорожных сетей и играют важную роль в снижении транспортной нагрузки, поддержании работы автомобильных мостов в случае бедствия, такого как землетрясение. Мосты и другие конструкции в сейсмических регионах должны обладать способностью противостоять землетрясениям [1-3].

При проектировании свайных фундаментов следует учитывать следующие факторы: грунтовые условия

площадки строительства; гидрогеологический режим; особенности устройства свай; наличие шлама под нижним концом свай. Из анализа данных о разрушениях мостов [3, 4] отмечается значительное влияние местных условий на сильное движение грунта и последующее повышение уязвимости мостов на участках с мягким грунтом. Многие мосты и возвышенные дорожные пути пересекают водные объекты, где распространены отложения мягкого грунта. Во время землетрясения Хёго-Кен Нанбу (Кобе, 1995) произошел значительный ущерб и обрушение мостов, построенных рядом или в пределах залива Осака [5, 6].

^a  <https://orcid.org/0000-0002-5192-2107>

^b  <https://orcid.org/0000-0003-3281-8053>

^c  <https://orcid.org/0000-0002-4858-8232>

^d  <https://orcid.org/0000-0003-3591-6468>

^e  <https://orcid.org/0009-0008-8506-9715>



Кроме того, многие участки подверглись разжижению, что привело к постоянным деформациям подструктуры и потере устойчивости опоры мостов (рис.1).



Рис.1. Обрушение пролетного строения моста Нишиномия-ко при землетрясении Хёго-Кен-Нанбу в 1995 году

Участки грунта, расположенные непосредственно над разломом, приходят в движение со значительными горизонтальными и вертикальными ускорениями грунта, а также большими импульсами скорости. Движения грунта вблизи разлома могут предъявлять большие деформационные требования к податливым конструкциям. Это обстоятельство требует, что все расчеты свай, свайных фундаментов и их оснований следует выполнять с использованием расчетных значений характеристик материалов и грунтов.

При землетрясениях опоры и пролетные строения мостов динамически взаимодействуют друг с другом и их совокупность реагирует на движения основания как единая колебательная система. Поэтому основной задачей теории сейсмостойкости мостовых сооружений является исследование совместных колебаний пролетных строений и опор, вызванных колебаниями основания [7-12].

Основной метод исследования состоит в кратком описании подсистем мониторинга с реальными примерами и иллюстрацией основных принципов работы и анализа.

2. Методология

При землетрясениях опоры и пролетные строения мостов динамически взаимодействуют друг с другом и их совокупность реагирует на движения основания как единая колебательная система. Поэтому основной задачей теории сейсмостойкости мостовых сооружений является исследование совместных колебаний пролетных строений и опор, вызванных колебаниями основания [7-12].

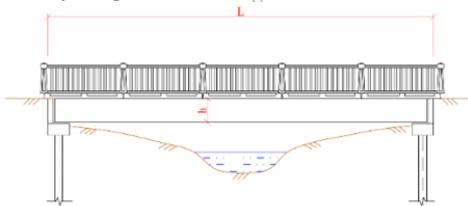


Рис.2. Схема однопролетного балочного моста

В данной работе рассмотрен однопролетный железобетонный мост (рис.2), который представлен в виде двух одинаковых свай равной длины,

контактирующих с пролетным строением. В данной работе изучены колебания двух свай в виде балок квадратного сечения с равными длинами L , частично заложенных в грунтовую среду, и совместно несущих жесткую балку массой M , причем каждая свая взаимодействует с грунтовой средой по закону Винклера (рис. 2 и 3). Основание совершает горизонтальное движение по закону $w=W_0\sin\omega t$.

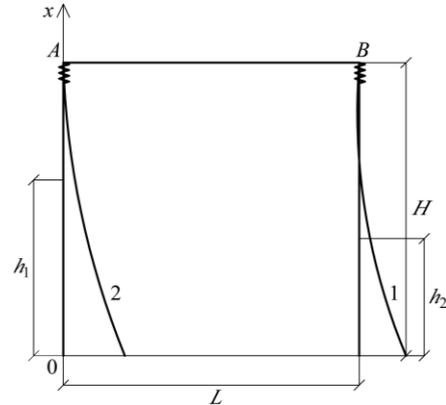


Рис.3. Схема колебаний двух свай, несущих жесткую балку с упругими элементами

Установим начало координат в нижнем сечении 1-свай и направим ось Ox вертикально вверх. Обозначим через $w_{11}(x,t)$ и $w_{12}(x,t)$ прогибы 1-ой балки соответственно на участках $0 < x < h_1$, $h_1 < x < H$. Аналогично обозначим через $w_{21}(x,t)$ и $w_{22}(x,t)$ прогибы второй балки соответственно на участках $0 < x < h_2$, $h_2 < x < H$ (H - общая высота свай).

В каждой зоне прогибы свай $w_{ij}(x,t)$ и перемещение балки $w(t)$ удовлетворяют уравнениям

$$EJ \frac{\partial^4 w_{11}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{11}}{\partial t^2} + k_1 w_{11} = 0 \quad 0 < x < h_1 \quad (1)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{12}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{12}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{при } h_1 < x < H \quad (2)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{21}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{21}}{\partial t^2} + k_2 w_{21} = 0 \quad 0 < x < h_2 \quad (3)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{22}}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 w_{22}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{при } h_2 < x < H \quad (4)$$

и следующим граничным условиям

$$\frac{\partial w_{11}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x=0 \quad (5)$$

$$EJ \frac{\partial^3 w_{11}}{\partial x^3} = k_{01}(w_{11} - w_0)$$

$$w_{11} = w_{12},$$

$$\frac{\partial w_{11}}{\partial x} = \frac{\partial w_{12}}{\partial x}, \quad \frac{\partial^2 w_{11}}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 w_{12}}{\partial x^2} \quad \text{при } x=h_1 \quad (6)$$

$$= \frac{\partial^2 w_{12}}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^3 w_{11}}{\partial x^3} = \frac{\partial^3 w_{12}}{\partial x^3}$$



$$\frac{\partial w_{21}}{\partial x} = 0, \quad \text{при } x=0 \quad (7)$$

$$EJ \frac{\partial^3 w_{21}}{\partial x^3} = k_{02}(w_{21} - w_0)$$

$$w_{21} = w_{22},$$

$$\frac{\partial w_{21}}{\partial x} = \frac{\partial w_{22}}{\partial x}, \quad \frac{\partial^2 w_{21}}{\partial x^2} = \quad \text{при } x=h_2 \quad (8)$$

$$= \frac{\partial^2 w_{22}}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^3 w_{21}}{\partial x^3} = \frac{\partial^3 w_{22}}{\partial x^3}$$

$$w'_{12} = 0, \quad w'_{22} = 0,$$

$$w''_{12} = -\frac{k_{11}}{EJ}(w_{12} - w), \quad \text{при } x=H \quad (9)$$

$$w''_{22} = -\frac{k_{12}}{EJ}(w_{22} - w),$$

где EJ - изгибная жесткость балки, m - погонная масса свай, k_1, k_2 - коэффициенты постели для каждой зоны контакта сваи (балки) с грунтом соответственно, k_{01}, k_{02} - коэффициенты жесткости контакта при сдвиге нижнего сечения сваи с основанием, k_{11}, k_{12} - коэффициенты жесткости упругого контакта балки со сваями.

Решения уравнений (1) - (4) и амплитуда колебания балки $w(t)$ представим в виде

$$w_{ij}(x,t) = W_{ij}(x) \sin \omega t, \quad w = W_b \sin \omega t,$$

где функции $W_{ij}(x)$ удовлетворяют уравнениям и следующим условиям

$$EJ \frac{\partial^4 w_{11}}{\partial x^4} + (k_1 - m\omega_0^2)W_{11} = 0 \quad 0 < x < h_1 \quad (10)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{12}}{\partial x^4} - m\omega_0^2 W_{12} = 0 \quad \text{при } h_1 < x < H \quad (11)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{21}}{\partial x^4} + (k_2 - m\omega_0^2)W_{21} = 0 \quad 0 < x < h_2 \quad (12)$$

$$EJ \frac{\partial^4 w_{22}}{\partial x^4} - m\omega_0^2 W_{22} = 0 \quad \text{при } h_2 < x < H \quad (13)$$

$$W'_{11} = 0,$$

$$W''_{11} - k_{01}W_{11} / EJ = \quad \text{при } x=0 \quad (14)$$

$$= k_{01}W_0 / EJ$$

$$W_{11} = W_{12}, \quad W'_{11} = W'_{12},$$

$$W''_{11} = W''_{12}, \quad W'''_{11} = W'''_{12}, \quad \text{при } x=h_1 \quad (15)$$

$$W'_{12} = 0,$$

$$W''_{12} - k_{02}W_{11} / EJ = \quad \text{при } x=0 \quad (16)$$

$$-k_{02}W_0 / EJ$$

$$W_{21} = W_{22}, \quad W'_{21} = W'_{22},$$

$$W''_{21} = W''_{22}, \quad W'''_{21} = W'''_{22}, \quad \text{при } x=h_2 \quad (17)$$

$$W'_{12} = 0, \quad W'_{22} = 0,$$

$$W''_{12} = -\frac{k_{11}}{EJ}(W_{12} - W_1), \quad \text{при } x=H \quad (18)$$

$$W''_{22} = -\frac{k_{12}}{EJ}(W_{22} - W_1),$$

Полагая $k_2 < k_1$, $\omega_0 < \sqrt{k_2 / 4m}$, решения уравнений (9)-(12) представим через функции Крылова

$$W_{11} = C_1 Y_1(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)) +$$

$$+ C_2 Y_2(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)) +$$

$$+ C_3 Y_3(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)) +$$

$$+ C_4 Y_4(\beta_1(\xi - \bar{h}_1)), \quad \text{при } 0 < \xi < \bar{h}_1$$

$$W_{12} = C_1 S_1[\omega(\xi - \bar{h}_1)] +$$

$$+ C_2 \frac{\beta_1}{\omega} S_2[\omega(\xi - \bar{h}_1)] +$$

$$+ C_3 \frac{\beta_1^2}{\omega^2} S_3[\omega(\xi - \bar{h}_1)] +$$

$$+ C_4 \frac{\beta_1^3}{\omega^3} S_4[\omega(\xi - \bar{h}_1)] \quad \text{при } \bar{h}_1 < \xi < 1$$

$$W_{21} = B_1 Y_1(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)) +$$

$$+ B_2 Y_2(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)) +$$

$$+ B_3 Y_3(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)) +$$

$$+ B_4 Y_4(\beta_2(\xi - \bar{h}_2)), \quad \text{при } 0 < \xi < \bar{h}_2$$

$$W_{22} = B_1 S_1[\omega(\xi - \bar{h}_2)] +$$

$$+ B_2 \frac{\beta_2}{\beta_0} S_2[\omega(\xi - \bar{h}_2)] +$$

$$+ B_3 \frac{\beta_2^2}{\beta_0^2} S_3[\omega(\xi - \bar{h}_2)] +$$

$$+ B_4 \frac{\beta_2^3}{\beta_0^3} S_4[\omega(\xi - \bar{h}_2)] \quad \text{при } \bar{h}_2 < \xi < 1$$

где $Y_j(z)$ и $S_j(z)$ - функции Крылова

$$Y_1 = \cos \beta_1 z \operatorname{ch} \beta_1 z, \quad Y_2 = (\sin \beta_1 z \operatorname{ch} \beta_1 z + \cos \beta_1 z \operatorname{sh} \beta_1 z),$$

$$Y_3 = \sin \beta_1 z \operatorname{sh} \beta_1 z, \quad Y_4 = (\sin \beta_1 z \operatorname{ch} \beta_1 z - \cos \beta_1 z \operatorname{sh} \beta_1 z),$$

$$S_1 = 0.5 * (\operatorname{ch} \omega z + \cos \omega z), \quad S_2 = 0.5 * (\operatorname{sh} \omega z + \sin \omega z),$$

$$S_3 = 0.5 * (\operatorname{ch} \omega z - \cos \omega z), \quad S_4 = 0.5 * (\operatorname{sh} \omega z - \sin \omega z),$$

$$\xi = \frac{x}{H}, \quad \omega = \sqrt{\frac{mL^4 \omega_0^2}{EJ}}, \quad \beta_1 = \sqrt[4]{\omega_1^2 - \omega^2},$$

$$\beta_2 = \sqrt[4]{\omega_2^2 - \omega^2}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{k_1 L^4}{4EJ}},$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{k_2 L^4}{4EJ}}, \quad \bar{h}_1 = \frac{h_1}{H}, \quad \bar{h}_2 = \frac{h_2}{H}.$$

Рассмотрим случай жесткого контакта сваи с основанием, где полагаем $k_{01} \rightarrow \infty$ и $k_{02} \rightarrow \infty$. Постоянные



C_i, B_i ($i=1,2,3,4$) определяются из граничных условий (13), (15), (17)-(18), которые записываем в виде

$$c_{11}C_1 + c_{12}C_2 + c_{13}C_3 + c_{14}C_4 = W_0, \quad (19)$$

$$c_{12}C_1 + c_{22}C_2 + c_{23}C_3 + c_{24}C_4 = 0, \quad (20)$$

$$b_{11}B_1 + b_{12}B_2 + b_{13}B_3 + b_{14}B_4 = W_0, \quad (21)$$

$$b_{21}B_1 + b_{22}B_2 + b_{23}B_3 + b_{24}B_4 = 0, \quad (22)$$

$$a_{11}C_1 + a_{12}C_2 + a_{13}C_3 + a_{14}C_4 = W_1, \quad (23)$$

$$a_{21}C_1 + a_{22}C_2 + a_{23}C_3 + a_{24}C_4 = 0, \quad (24)$$

$$d_{11}B_1 + d_{12}B_2 + d_{13}B_3 + d_{14}B_4 = W_1, \quad (25)$$

$$d_{21}B_1 + d_{22}B_2 + d_{23}B_3 + d_{24}B_4 = 0, \quad (26)$$

$$\begin{aligned} c_{11} &= Y_1(-\beta_1\bar{h}_1), c_{12} = Y_2(-\beta_1\bar{h}_1)\omega/2\beta_1, \\ c_{13} &= Y_3(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^2/2\beta_1^2, c_{14} = Y_4(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^3/4\beta_1^3, \\ c_{21} &= -\beta_1Y_4(-\beta_1\bar{h}_1), c_{22} = \omega Y_1(-\beta_1\bar{h}_1), \\ c_{23} &= Y_2(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^2/2\beta_1, c_{24} = Y_3(-\beta_1\bar{h}_1)\omega^3/2\beta_1, \\ b_{11} &= Y_1(-\beta_1\bar{h}_2), b_{12} = \omega Y_2(-\beta_2\bar{h}_2)\omega/2\beta_2, \\ b_{13} &= Y_3(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^2/2\beta_2^2, b_{14} = Y_4(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^3/4\beta_2^3, \\ b_{21} &= -\beta_2Y_4(-\beta_2\bar{h}_2), b_{22} = \omega Y_1(-\beta_2\bar{h}_2), \\ b_{23} &= Y_2(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^2/2\beta_2, b_{24} = Y_3(-\beta_2\bar{h}_2)\omega^3/2\beta_2, \\ a_{11} &= S_1(\omega\bar{h}_{11}), a_{12} = \frac{\beta_1 S_2(\omega\bar{h}_{11})}{\omega}, \\ a_{13} &= \frac{\beta_1^2 S_3(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^2}, a_{14} = \frac{\beta_1^3 S_4(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^3}, \\ a_{21} &= S_4(\omega\bar{h}_{11}), a_{22} = \frac{\beta_1 S_1(\omega\bar{h}_{11})}{\omega}, \\ a_{23} &= \frac{\beta_1^2 S_2(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^2}, a_{24} = \frac{\beta_1^3 S_3(\omega\bar{h}_{11})}{\omega^3}, \\ d_{11} &= S_1(\omega\bar{h}_{21}), d_{12} = \frac{\beta_2 S_2(\omega\bar{h}_{21})}{\omega}, \\ d_{13} &= \frac{\beta_2^2 S_3(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^2}, d_{14} = \frac{\beta_2^3 S_4(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^3}, \\ d_{21} &= S_4(\omega\bar{h}_{21}), d_{22} = \frac{\beta_2 S_1(\omega\bar{h}_{21})}{\omega}, \\ d_{23} &= \frac{\beta_2^2 S_3(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^2}, d_{24} = \frac{\beta_2^3 S_3(\omega\bar{h}_{21})}{\omega^3}. \end{aligned} \quad (27)$$

где W_0 – перемещение основания, W_1 и W_2 – соответственно перемещения сечения $x=H$ сваи,

$$\bar{h}_{11} = 1 - \bar{h}_1, \bar{h}_{21} = 1 - \bar{h}_2,$$

$$\bar{h}_1 = h_1/H, \bar{h}_2 = h_2/H.$$

Полагаем $C_i = r_i W_1 + s_i W_0$, $B_i = q_i W_1 + n_i W_0$, $i=(1, 2, 3, 4)$ (28)

где r_i, s_i, q_i и n_i определяются из системы (19) - (26)

$$r_1 = \frac{r_{22}}{\Delta_1}, s_1 = -\frac{r_{12}}{\Delta_1}, r_2 = \frac{r_{11}}{\Delta_1}, s_2 = -\frac{r_{21}}{\Delta_1},$$

$$r_3 = r_1\Delta_{11} + r_2\Delta_{12}, s_3 = s_1\Delta_{11} + s_2\Delta_{12},$$

$$r_4 = r_1\Delta_{21} + r_2\Delta_{22}, s_4 = s_1\Delta_{21} + s_2\Delta_{22},$$

$$r_{11} = c_{11} + c_{13}\Delta_{11} + c_{14}\Delta_{21},$$

$$r_{12} = c_{12} + c_{13}\Delta_{12} + c_{14}\Delta_{22},$$

$$r_{21} = a_{11} + a_{13}\Delta_{11} + a_{14}\Delta_{21},$$

$$r_{22} = a_{12} + a_{13}\Delta_{12} + a_{14}\Delta_{22},$$

$$\Delta_1 = r_{11}r_{22} - r_{21}r_{12}, \Delta_{11} = \frac{c_{24}a_{21} - a_{24}c_{21}}{\Delta_0},$$

$$\Delta_{12} = \frac{c_{24}a_{22} - a_{24}c_{22}}{\Delta_0}, \Delta_{21} = \frac{a_{23}c_{21} - c_{23}a_{21}}{\Delta_0},$$

$$\Delta_{22} = \frac{a_{23}c_{22} - c_{23}a_{22}}{\Delta_0}, \Delta_0 = c_{23}a_{24} - a_{23}c_{24}.$$

$$q_1 = \frac{q_{22}}{\nabla_1}, n_1 = -\frac{q_{12}}{\nabla_1}, q_2 = \frac{q_{11}}{\nabla_1}, n_2 = -\frac{q_{21}}{\nabla_1},$$

$$q_3 = q_1\nabla_{11} + q_2\nabla_{12}, n_3 = s_1\nabla_{11} + n_2\nabla_{12},$$

$$q_4 = q_1\nabla_{21} + q_2\nabla_{22}, s_4 = n_1\nabla_{21} + n_2\nabla_{22},$$

$$q_{11} = b_{11} + b_{13}\nabla_{11} + b_{14}\nabla_{21},$$

$$q_{12} = b_{12} + b_{13}\nabla_{12} + b_{14}\nabla_{22},$$

$$q_{21} = d_{11} + d_{13}\nabla_{11} + d_{14}\nabla_{21},$$

$$q_{22} = d_{12} + d_{13}\nabla_{12} + d_{14}\nabla_{22},$$

$$\nabla_1 = q_{11}q_{22} - q_{21}q_{12}, \nabla_{11} = \frac{b_{24}d_{21} - d_{24}b_{21}}{\nabla_0},$$

$$\nabla_{12} = \frac{b_{24}d_{22} - d_{24}b_{22}}{\nabla_0}, \nabla_{21} = \frac{d_{23}b_{21} - b_{23}d_{21}}{\nabla_0},$$

$$\nabla_{22} = \frac{d_{23}b_{22} - b_{23}d_{22}}{\nabla_0}, \nabla_0 = b_{23}d_{24} - d_{23}b_{24}.$$

Перерезывающие силы в сечении $x=H$ каждой сваи будут равны

$$EJ \frac{d^3 W_{21}(H)}{dx^3} = A_{11}W_1 + A_{01}W_0, \quad (29)$$

$$EJ \frac{d^3 W_{22}(H)}{dx^3} = A_{12}W_1 + A_{02}W_0,$$

$$A_{11} = r_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{11}) + r_2\omega^2 \beta_1 S_3(\omega\bar{h}_{11}) +$$

$$+ r_3\beta_1^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{11}) + r_4\beta_1^3 S_1(\omega\bar{h}_{11}),$$

$$A_{01} = s_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{11}) + s_2\omega^2 \beta_1 S_3(\omega\bar{h}_{11}) +$$

$$+ s_3\beta_1^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{11}) + s_4\beta_1^3 S_1(\omega\bar{h}_{11}),$$

$$A_{12} = q_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{21}) + q_2\omega^2 \beta_2 S_3(\omega\bar{h}_{21}) +$$

$$+ q_3\beta_2^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{21}) + q_4\beta_2^3 S_1(\omega\bar{h}_{21}),$$

$$A_{02} = n_1\omega^3 S_2(\omega\bar{h}_{21}) + n_2\omega^2 \beta_2 S_3(\omega\bar{h}_{21}) +$$

$$+ n_3\beta_2^2 \omega S_4(\omega\bar{h}_{21}) + n_4\beta_2^3 S_1(\omega\bar{h}_{21}),$$

Из условий упругого контакта сваи с балкой следует



$$EJ \frac{d^3 W_{21}(H)}{dx^3} = -k_1(W_1 - W_b), \quad (30)$$

$$EJ \frac{d^3 W_{21}(H)}{dx^3} = -k_2(W_2 - W_b),$$

где W_b – перемещение балки, k_1 и k_2 - коэффициенты жесткости связи балки со сваями. Сравнивая формулы (29) и (30), установим связи между перемещениями сечений свай W_1 , W_2 и балкой W_b основания W_0 из которых определяем

$$\left(\bar{k}_1 = \frac{k_1 H^3}{EJ}, \bar{k}_2 = \frac{k_2 H^3}{EJ} \right).$$

$$W_1 = \frac{\bar{k}_1}{\bar{k}_1 + A_{11}} W_b - \frac{A_{01}}{\bar{k}_1 + A_{11}} W_0,$$

$$W_2 = \frac{\bar{k}_2}{\bar{k}_2 + A_{12}} W_b - \frac{A_{02}}{\bar{k}_2 + A_{12}} W_0.$$

Из уравнения движения балки под действием упругих сил следует

$$-m\omega_0^2 W_b = -k_1(W_1 - W_b) - k_2(W_2 - W_b). \quad (31)$$

Здесь m – масса балки.

Поставляя из (31) выражения W_1 и W_2 , получаем

$$W_b = W_0 \frac{\alpha_0}{\alpha_1 + m_1 \omega^2}$$

$$\text{где } \alpha_0 = -\frac{A_{01}}{\bar{k}_1 + A_{11}} \bar{k}_1 - \frac{A_{02}}{\bar{k}_2 + A_{12}} \bar{k}_2,$$

$$\alpha_1 = \frac{A_{11}}{\bar{k}_1 + A_{11}} \bar{k}_1 + \frac{A_{12}}{\bar{k}_2 + A_{12}} \bar{k}_2, \quad m_1 = \frac{mH}{\rho J}.$$

3. Результаты исследования

На рис. 4 представлены кривые зависимости перемещения балки от безразмерной частоты для различных значений коэффициентов жесткости k_1 и k_2 связи свай с балкой. В расчетах принято:

$E=2 \cdot 10^{10}$ Па, $H=8$ м, $h_1=0.6H$, $h_2=0.4H$, $m=3000$ кг, $\rho=6000$ кг/м³, $W_0=5$ мм площадь поперечного квадратного сечения свай со сторонами равными 0.3 м.

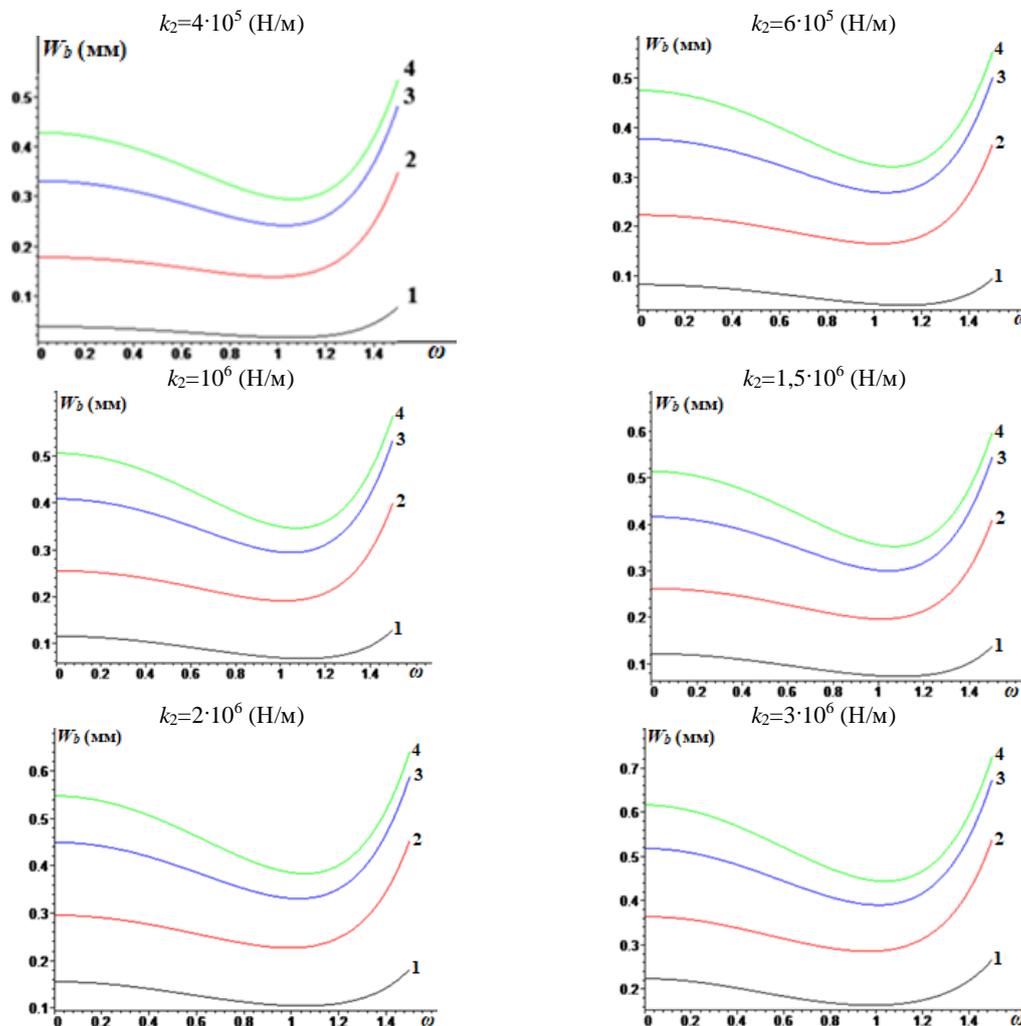


Рис.4. Кривые изменения амплитуды колебаний балки W_b (мм) от безразмерной частоты ω при различных значениях коэффициентов жесткости k_1 и k_2 (Н/м):
1- $k_1=10^6$, 2- $k_1=6 \cdot 10^6$, 3- $k_1=10^6$, 4- $k_1=10^7$

Из анализа кривых представленных на рис.4 следует,

что перемещение балки в принятых интервалах



изменения частоты с ростом коэффициентов жесткости упругих элементов также увеличивается. При частотах близких к единице амплитуда колебаний балки принимает минимальные значения. Резонансные явления для выбранных параметров и интервала изменения частоты отсутствуют. Таким образом, можно сделать вывод, наличие грунтов с высокими коэффициентами постели могут в значительной степени влиять на амплитудные частотные характеристики колебаний балки.

4. Заключение

Характер колебательного процесса двух жёстко связанных между собой свай в значительной степени определяется разностью глубин заложения свай в грунтовую среду. При сохранении глубины погружения одной сваи и уменьшении глубины другой наблюдается рост амплитуды колебаний жёстко связанной со сваями массивной недеформируемой балки (рис.4). Анализ результатов расчёта прогибов и напряжений выявил существенное различие в характере распределения прогибов по длине двух свай с разной глубиной заложения. Причем, для свай с большей глубиной заложения ее максимальные прогибы достигаются вблизи контакта с основанием, тогда как у свай с меньшей глубиной заложения прогибы непрерывно уменьшаются по длине (рис.4). Из анализа законов распределения напряжений по длине свай следует (рис.4), что максимальные значения напряжений возникают в нижних сечениях свай, причем их наибольшие значения достигаются в свае, имеющей большую глубину заложения в грунтовую среду.

Использованная литература / References

- [22] B. Mardonov., M. Berdibaev., A. Khurramov. Vibrations of a Girder on Rigid Supports of Finite Mass Interacting With Soil under Seismic Loads. E3S Web of Conferences. 2021. №264. P.02038. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402038> CONMECHYDRO, 2021.
- [23] B. Mardonov., N. Nishonov., M. Berdibaev. Calculation of beam road bridges for seismic loads taking into account the interaction of supports with the ground. AIP Conference Proceedings 2612, 040017 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0113617>. Published Online: 15 March 2023.
- [24] Карцивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений при сильных землетрясениях. М.: Транспорт, 1974, 260 с.
- [25] Шестоперов Г.С. Сейсмостойкость мостов. М.: Транспорт, 1984.–143 с.
- [26] Chung, R. et al., The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, NIST Special Publication 901, National Institute of Standards and Technology, July 1996, 544 pp.
- [27] EERI, Earthquake Engineering Research Institute, The Hyogo-Ken Nanbu Earthquake, January 17, 1995, Preliminary Reconnaissance Report, Feb. 1995, 116 pp.
- [28] Rashidov T.R., Shermuxamedov U.Z. Transport inshootlaring zilzilabardoshligi: darslik / Rashidov T.R., Shermuxamedov U.Z. – Toshkent: Complex Print, 2020. - 408 b.

[29] B. Mardonov., N. Nishonov., Kh. Baybulatov., M. Berdibaev. The effect of a seismic wave on a two-span beam on rigid supports interacting with the ground E3S Web of Conferences 401, 03070 / CONMECHYDRO – 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103070>.

[30] Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. Гос. изд. литературы по строительству и архитектуры М-Л., 1954.

[31] Рашидов Т.Р., Кузнецов С.В., Мардонов Б.М., И.Мирзаев И. Прикладные задачи сейсродинамики сооружений. Книга 1. Ташкент изд-во Навруз 2019, 568 с.

[32] Джонсон К. Механика контактного взаимодействия.

[33] Власов В.З., Леонтьев Н.Н. Балки, плиты и обложки на упругом основании. М.1960, 491с.

Сведения об авторах / Information about the authors

**Мардонов
Батиржан /
Mardonov
Batirjan**

Главный научный сотрудник
Института механики и
сейсмостойкости сооружений
имени М.Т. Уразбаева
Академии наук Республики
Узбекистан.,

д-р физ.-мат. наук, профессор.

E-mail: batsam@list.ru

Tel.: +998949465614

<https://orcid.org/0000-0002-5192-2107>

**Нишонов
Неъматилла
Асатиллаевич /
Nishonov
Nematilla
Asatillayevich**

Старший научный сотрудник
Института механики и
сейсмостойкости сооружений
имени М.Т. Уразбаева
Академии наук Республики
Узбекистан., (PhD).

Email: nematilla81@mail.ru

Tel.: +998977819727

<https://orcid.org/0000-0003-3281-8053>

**Бердибаев Марс
Жанабаевич /
Berdibaev Mars
Janabaevich**

Старший научный сотрудник
Института механики и
сейсмостойкости сооружений
имени М.Т. Уразбаева
Академии наук Республики
Узбекистан., (PhD).

E-mail: mars.berdibaev@mail.ru

Tel.: +998913959041

<https://orcid.org/0000-0002-4858-8232>

**Хуррамов Асрор
Чориевич /
Khurramov
Asror
Choriyevich**

Младший научный сотрудник
Института механики и
сейсмостойкости сооружений
имени М.Т. Уразбаева
Академии наук Республики
Узбекистан.

E-mail:

asrorbekxuramov@mail.ru

Tel.: +998909446530



<https://orcid.org/0000-0002-8338-2053>

**Rahmatali
Rohatali oqli**

Ташкентском архитектурно-
строительном университете.

E-mail:

azamovrahmatalia@gmail.com

Tel.:+998946845540

<https://orcid.org/0009-0008-8506-9715>

Аъзамов Раҳматали Роҳатали угли / A'zamov	Базовый Национальный исследовательский сейсмической безопасности и устойчивого строительства при	докторант института
--	--	------------------------



K. Sultanov

Parameters of underground metro structure interaction with soil under seismic loads and methods for their determination8

B. Mardonov, N. Nishonov, M. Berdibaev, A. Khurramov, R. Azamov

Vibrations of a rigid beam elastically connected to deformable supports under seismic loads13

A. Belyi, Sh. Kadirova, M. Mamadaliev

Experience in Implementation and Prospects for the Development of Structural Health Monitoring Systems at Transport and Civil Infrastructure Facilities20

U. Shermukhamedov, Sh. Mirkhodjaev, A. Karimova, A. Abdullaev

On the issue of assessing a monolithic reinforced concrete overpass under seismic impacts24

I. Mirzaev, S.M. Gaynazarov

Mutual influence of parallel tunnels in an elastic medium in the epicentral zone of an earthquake31

Sh. Erboev, D. Juraeva

Modern building materials based on household waste and natural raw materials37

Kh. Akramov, R. Ametov

Physicochemical analysis of expanded clay concrete modified with mineral and chemical additives39

Z. Rakhimjonov, A. Khurramov

Application of new seismically insulated supporting parts for seismic protection of bridge intermediate buildings44

E. Shipacheva, Z. Muradov

Concrete for Additive Construction Production in Dry Hot Climate Conditions for Transport Infrastructure49

I. Mirzaev, U. Shermukhamedov, A. Karimova, A. Abdullaev

Seismic Performance of Continuous Monolithic Bridges54

A. Khasanov, Z. Khasanov, B. Kurbanov, B. Toshmukumov

Use of basalt reinforcement, mesh, and fabrics as structural materials in geotechnical and earthworks59