

**ТУРЛИ ГЕОМЕТРИК КЕСИМЛИ МЕТРОПОЛИТЕН
ТОННЕЛЛАРИДА ПОЕЗД ҲАРАКАТИДАН ҲОСИЛ БЎЛАДИГАН
ТЕБРАНИШЛАРНИ ГРУНТДА ТАРҚАЛИШИ**

**PROPAGATION OF VIBRATION IN THE GROUND FROM TRAIN
MOTION IN METROPOLITAN TUNNELS WITH DIFFERENT
GEOMETRIC SECTIONS**

Карабаева Мунира Усмановна

Наманган муҳандислик-қурилиш институти. PhD

Karabaeva Munira Usmanovna

PhD of Namangan Engineering Construction Institute

Аннотация: Мақолада турли геометрик кесимга эга бўлган метрополитен тоннелларида поездлар ҳаракатидан ҳосил бўладиган паст частотали тебранишларни грунтнинг эркин сиртида тарқалиш жараёнини ўрганиш бўйича тадқиқот ишларида олинган натижалар таҳлил этилган. Масала чекли элементлар усули билан ечилган.

Abstract: The article examines the results obtained in the course of scientific research into the process of propagation of low-frequency vibrations arising when trains move along the free surface of the soil in urban tunnels of various geometric sections. The problem was solved using the finite element method.

Аннотация: В статье изучены результаты, полученные в ходе научных исследований процесса распространения низкочастотных вибраций, возникающих при движении поездов по свободной поверхности грунта в городских тоннелях различного геометрического сечения. Задача была решена методом конечных элементов.

Калит сўзлар: Тебраниш, дифференциал тенглама, чекли элементлар усули, грунт, частота, эластиклик назарияси, тўсиқ, амплитуда, поезд, чегаравий шартлар, метрополитен.

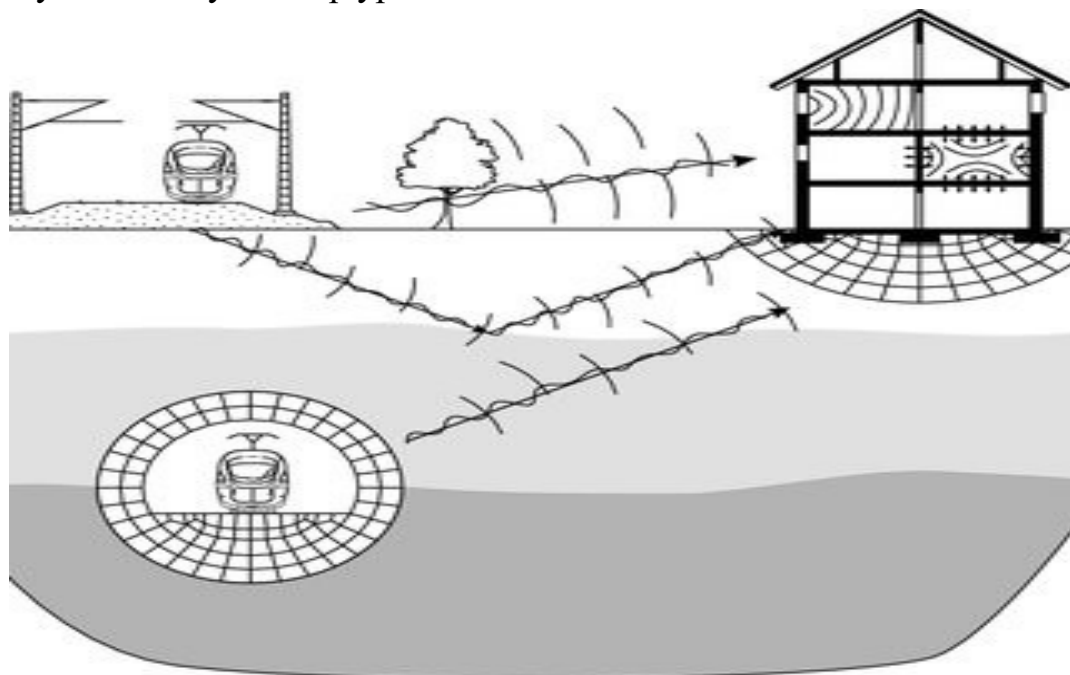
Keywords: Vibrations, differential equation, finite element method, soil, frequency, elasticity theory, obstacle, trench, amplitude, train, boundary conditions, metro.

Ключевые слова: Вибрации, дифференциальное уравнение, метод конечных элементов, грунт, частота, теории упругости, преграда, траншея, амплитуда, поезд, граничный условия, метрополитен.

Кириш

Ҳозирги кунга келиб фан-техникани ривожланиши ва аҳолининг ижтимоий даражасининг кўтарилиши туфайли автомобиль ва темир йўл транспортлари ҳаракати натижасида ҳосил бўладиган тебраниш частотаси ва амплитудасини ортишига олиб келмоқда. Катта амплитудага эга бўлган

тебранишлар автомобиль ва темир йўл линияларига яқин жойлашган бино-иншоот ва конструкцияларга салбий таъсирлар: темир йўл полотноларининг силкиниши, йўл элементларини бузилиши, пойдеворларнинг чўкиши, грунт қатламларида ўзгаришлар ва х.к вужудга келтиради. Ушбу тадқиқотда айлана ва тўғри тўртбурчак кесимли тоннелларда поезд ҳаракатидан ҳосил бўладиган паст частотали амплитудалар таъсирида грунтнинг эркин сатҳида ҳосил бўладиган кўчишлар ўрганилган.



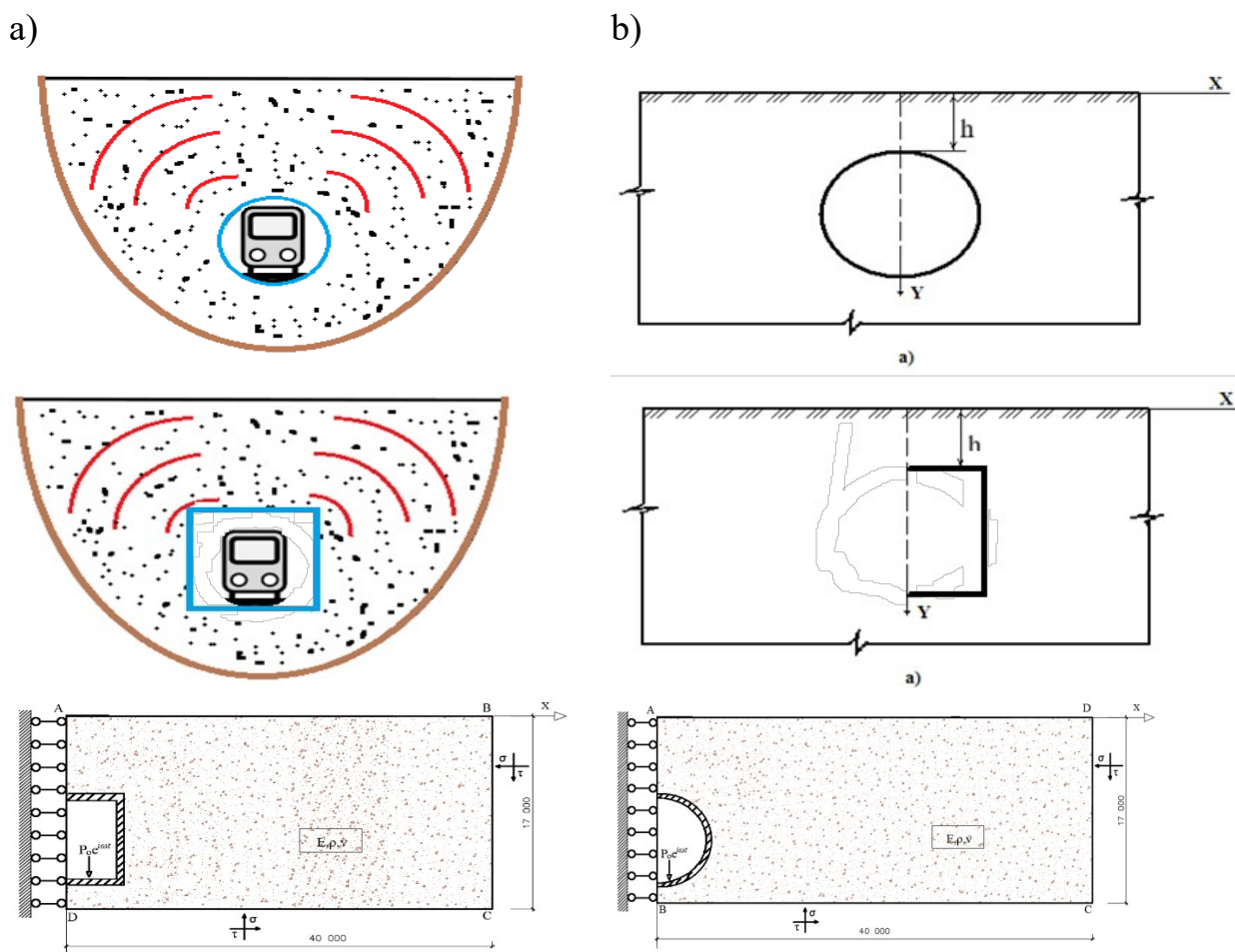
1-расм. Ер усти ва ости транспорт воситаларидан бўладиган тебранишларни тарқалиши.

Тадқиқотда айлана ва тўғри тўртбурчак кесимли тоннеллар жойлашган, ажратиб олинган соҳада тўлқинларнинг тарқалишини ўрганиш учун чекли элементлар усулидан фойдаланилган. Экспериментал тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, вақт бўйича грунтда тебраниш гармоник қонуният асосида тарқалади. Амплитуда қиймати кичик бўлганлиги сабабли масалани чизиқли деб қараш мумкин. Тебраниш бир фазада рўй беряпти деб олсак, масалани эластиклик назариясининг текис масаласи деб қараш мумкин [1].

Эластиклик назариясининг динамик масаласини ечишда грунтнинг маълум бир чуқурлигида жойлаштирилган метрополитен тоннелига қўйилган гармоник юклама таъсирида грунтнинг эркин сатҳида ҳосил бўладиган кўчишларни аниқлашда муҳитнинг ва конструкцияларнинг физик-механик хусусиятлари ҳисобга олинади. Бунда ажратиб олинган соҳа эластик бир жинсли изотроп деб қабул қилинади. Ярим текисликдан ажратиб олинган тўғри тўртбурчакда Y ўқи йўналишида иккита параллел тўпланган гармоник

куч қўйилган. Ажратиб олинган соҳанинг физик-механик хоссаларини E - Юнг модули, ν - Пуассон коэффиценти, ρ - зичлик орқали характерланади. Бу катталикларнинг сон қийматлари қуйидагича қабул қилинди:

$$E=2,85 \cdot 10^8 \text{ Па}; \quad \rho=1,87 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4; \quad \nu=0,35$$



2-расм. Ҳисоблаш схемаси

Бу масалада ҳам Y ўқи йўналишини ўрганилаётган соҳанинг марказидан ўтказилса, бу масала ҳам шу ўққа нисбатан симметрик масалага айланади. Масалани ечишда чекли элементлар усули қўлланилиб, ажратилган соҳа 878 та учбурчакка 489 та тугун орқали ажратилди [2].

Поезд узунлиги, тебраниш таъсирида бўлган тоннелдаги грунт узунлиги етарлича узун бўлганлиги сабабли, у бино узунлигидан ортади. Шунинг учун масалани эластиклик назариясининг текис масаласи, тоннел узунлиги бўйича эса тебранишлар бир фазада рўй беради деб ҳисоблаш мумкин.

Бу масалани тадқиқ этишда ЭХМни хотираси чекланганлиги сабабли узуликсиз чексиз системага чекли элементлар усулини қўллаб бўлмайди. Шу сабабли ушбу масалани ечишда шундай сонли усулни танлаш керакки, ажратиб олинган чекли соҳадаги табиий ҳолат бузилмаслиги зарур.

2-расмда чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳисоблаш схемаси кўрсатилган.

Бу ерда ташлаб юборилган ярим текисликнинг қисмлари реакцияси чегарадаги нормал ва уринма кучланишлар билан алмаштирилган [5].

$$\sigma = a \cdot \rho \cdot V_p \cdot \dot{U} \quad (1)$$

Бунда σ ва τ – чегарадаги нормал ва уринма кучланишлар; \dot{U} ва \dot{V} – чегаравий нуқталар тезликларини ўқлардаги проекциялари; V_p и V_s — P ва S - тўлқинларнинг тезликлари; a ва b - ўлчамсиз параметрлар; ρ - материал зичлиги.

(1) чегаравий шартлар тўлқин энергияларини физик жиҳатдан ютиб олади ва шу билан чегарада тўлқинни ўтказиб юбориб, уни аксланишига йўл қўймайди. ДС ва СВ чегарада қуйидагига эга бўламиз:

$$\sigma = \rho \cdot V_p \cdot \dot{U} \quad \text{ва} \quad \sigma = \rho \cdot V_p \cdot \dot{W} \quad (2)$$

Ажратилган соҳани учбурчакли чекли элементларга бўлиб, ҳаракат тенгламасини қуйидагича ёзамиз:

$$[M] \left\{ \ddot{u}(t) \right\} + [C] \left\{ \dot{u}(t) \right\} + [K] \left\{ u(t) \right\} = \left\{ P(t) \right\} - [G] \left\{ \dot{u} \right\} \quad (3)$$

Бу ерда: $[M]$, $[C]$, $[K]$ ва $[G]$ – мос равишда системанинг масса, демпфир ва бикрлик матрицалари; $\left\{ u(t) \right\}$, $\left\{ p(t) \right\}$ – тугуннинг кўчиш ва таъсир этувчи кучларнинг векторлари; $[G]$ – чегара шартларини ҳисобга олувчи диагонал матрица [4].

$$\left\{ \Gamma(i-1, i-1) \dot{u} \right\} = \dot{u} \left\{ V_p \right\} d\Delta l_i \rho_i \quad (4)$$

Бунда d —элемент қалинлиги; Δl_{i-i} -чи чегаравий нуктадаги элементнинг ўртача ўлчами; ρ_i - i -чи чегаравий нуктадаги элементнинг зичлиги.

Фараз қилайлик, ташқи таъсир этувчи куч частотаси ω бўлган гармоник функция кўринишида берилган:

$$\{P(t)\} = \{P_0\} e^{i\omega t} \quad (5)$$

Системанинг реакцияси турғун жараён учун қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} \{u(t)\} &= \{\bar{u}\} \cdot e^{i\omega t} \\ \dot{\{u(t)\}} &= i\omega \{\bar{u}\} e^{i\omega t} \\ \ddot{\{u(t)\}} &= -\omega^2 \{\bar{u}\} e^{i\omega t} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Энди (5) ва (6) ни (3) ҳаракат тенгламасига қўйсақ, вақтга боғлиқ бўлмаган комплекс алгебраик тенгламалар системасига эга бўламиз.

$$[K] \{\bar{u}\} = \{P_0\} \quad (7)$$

Бунда $\{\bar{u}\}$ —тебраниш амплитудасининг вектори; $\{P_0\}$ —таъсир этувчи кучнинг амплитудаси вектори [3].

Ажратилган соҳани чекли элементларга бўлиб чиқамиз. Элемент тугунлари ва соҳа элементларини тўғри рақамланиши натижасида О.Зенкевич томонидан яратилган қўлланмани қўллаш орқали масаладаги масса, бикрлик матрицалари лента кўринишига эга бўлади ва ҳосил бўлган системалар системаси симметрик, лента кўринишига эга бўлади.

Гаусс усули билан (7) тенгламани ечиб, системанинг доимий комплекс амплитуда вектори аниқланади.

$$\{\bar{u}\} = \{\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{u}_3, \dots, \bar{u}_N\} \quad (8)$$

Бунда N – соҳанинг эркинлик даражаси. Реал кўчишлар қуйидаги формула орқали аниқланади.

$$\{u(t)\} = \text{Re}\{u\} \cos \omega t + \text{Im}\{u\} \sin \omega t \quad (9)$$

Грунт сиртидаги тебранишлар амплитуда ўрамаси полотно ўқидан узоқлашган сари сўнувчан ва номонотон характерга эга.

3–9-расмларда Y ўқи йўналишида таъсир этувчи турли кинематик юк частоталарида грунт сатҳида тебраниш амплитудасини ўзгариш графиги кўрсатилган. Бу ерда абсцисса тоннелнинг симметрия ўқиғача бўлган масофани билдиради. Ордината эса эркин ярим фазода амплитуда қийматларини ўзгаришини кўрсатади. Айлана ва тўғри тўртбурчак кесимли метрополитен тоннелларида поезд ҳаракатидан ҳосил бўладиган тебраниш тўлқинларининг амплитудаларини солиштирилган.

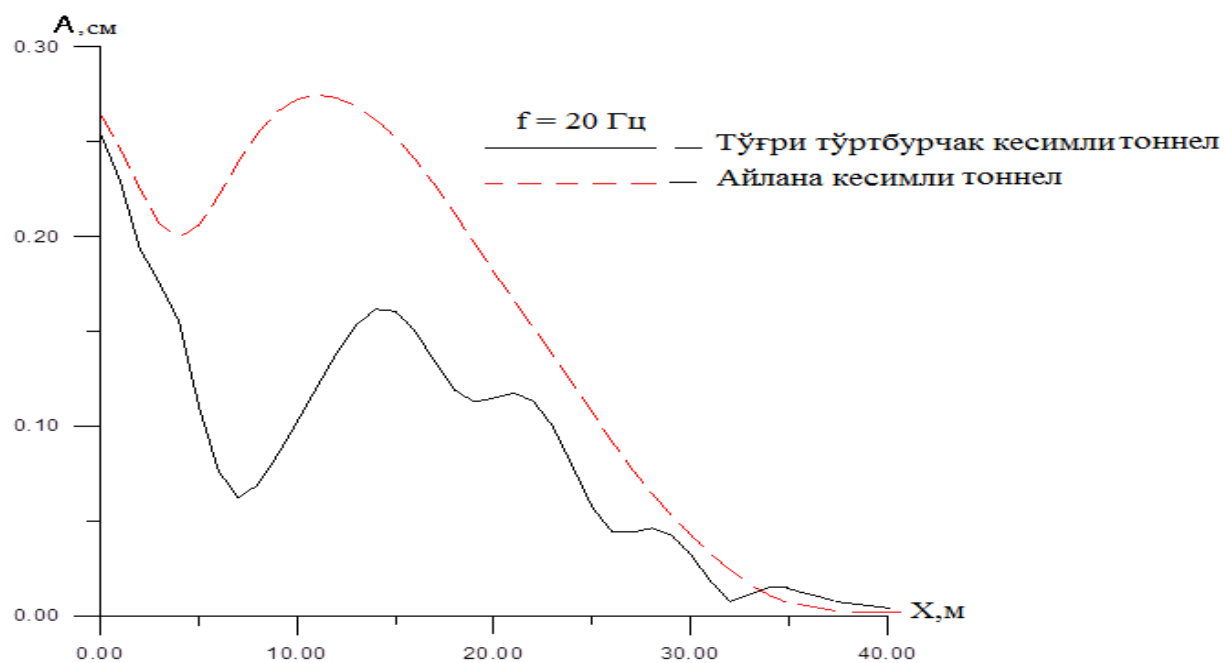
Графикларда айлана кесимли тоннелларида поезд ҳаракатидан ҳосил бўлган тебраниш тўлқинлари амплитудаси пунктир чизик билан тўғри тўртбурчак кесимли тоннелларда поезд ҳаракатидан ҳосил бўлган тебраниш тўлқинларининг амплитудалари эса узлуксиз тўғри чизик билан белгиланган.

$f=20$ Гц кинематик юклама частотасида тебраниш амплитудасида иккала тадқиқотда олинган тебраниш амплитудалари қийматлари ўртасида фарқ аниқ фарқланади. Тоннелнинг симметрия ўқидан 10 м масофада тебраниш амплитудаси тўғри тўртбурчак кесимли тоннелларда айлана кесимли тоннелларда ҳосил бўлган тебраниш амплитудасига нисбатан 2.3 марта кам, 20 м масофада бу кўрсаткич - 1,5 марта, 30 метрда эса 2,3 марта камлигини кўриш мумкин, симметрия ўқидан 40 м масофада бу қийматлар орасидаги фарқ йўқолади.

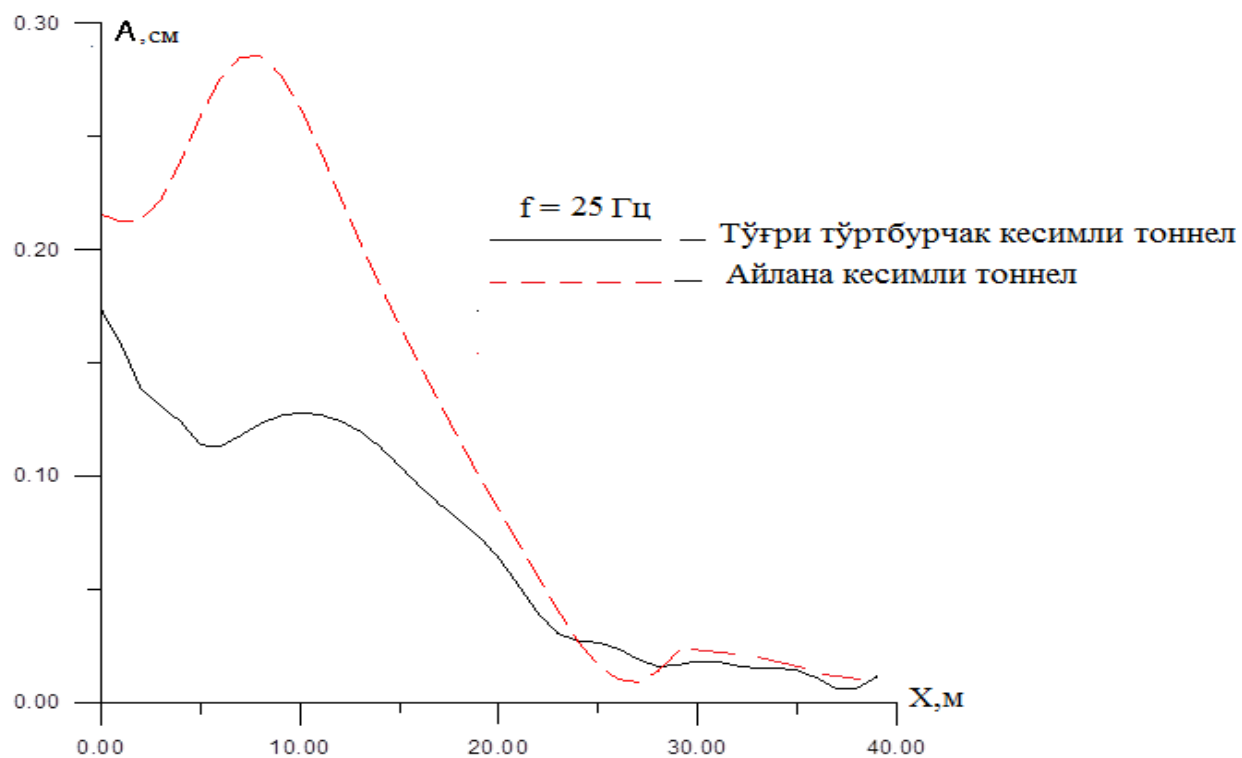
$f=30$ Гц кинематик юклама частотасида 10 метр масофада бу қиймат 2,1 марта, 20 м - 2,9 марта, 30 м – 2,98 марта, симметрия ўқидан 40 м масофада 1.14 баробар кам бўлиши аниқланди.

$f=40$ Гц кинематик юклама частотасида 10 метр масофада бу фарқ 2,7 марта, 20 метрда - 3,4 марта, 30 метрда эса – 8,2 марта, симметрия ўқидан 40 м масофада 1.43 баробар камлигини кўриш мумкин.

$f=50$ Гц кинематик юклама частотасида 10 метрда бу фарқ 3 марта, 20 метрда - 3,3 марта, 30 метрда – 2.6 марта, симметрия ўқидан 40 м масофада 2 баробар камлиги аниқланди.

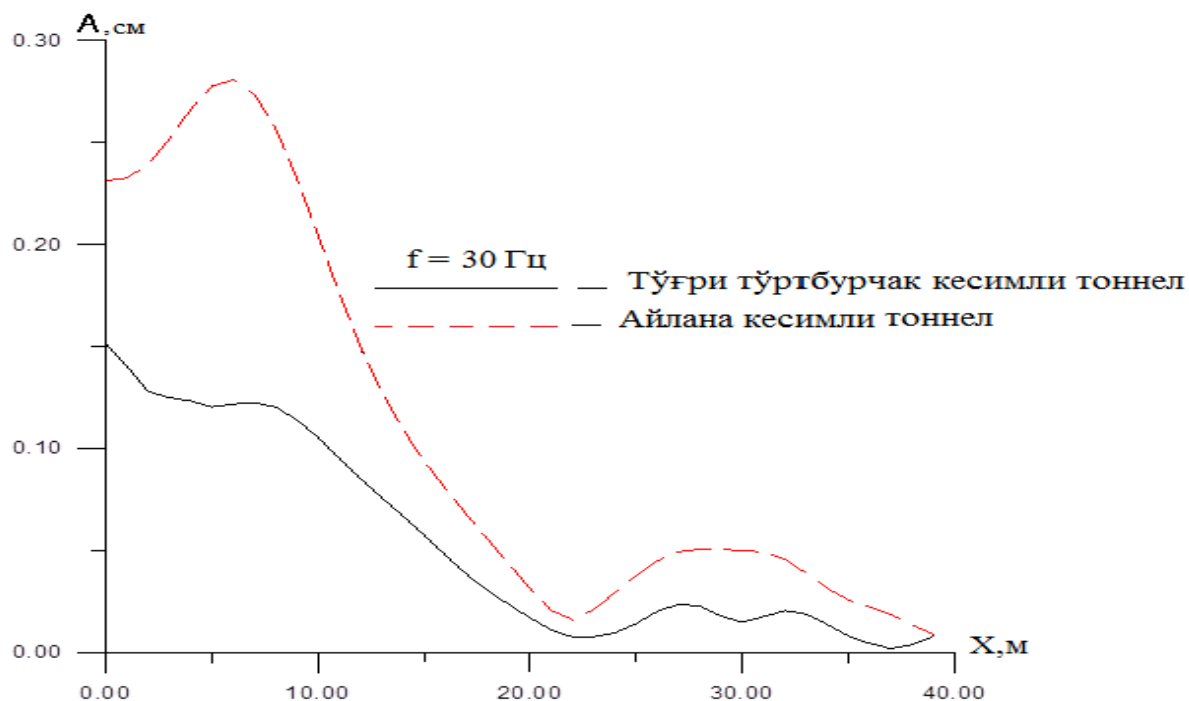


3-расм. Ярим текисликнинг эркин чегарасида тебраниш амплитудасининг ўзгариши

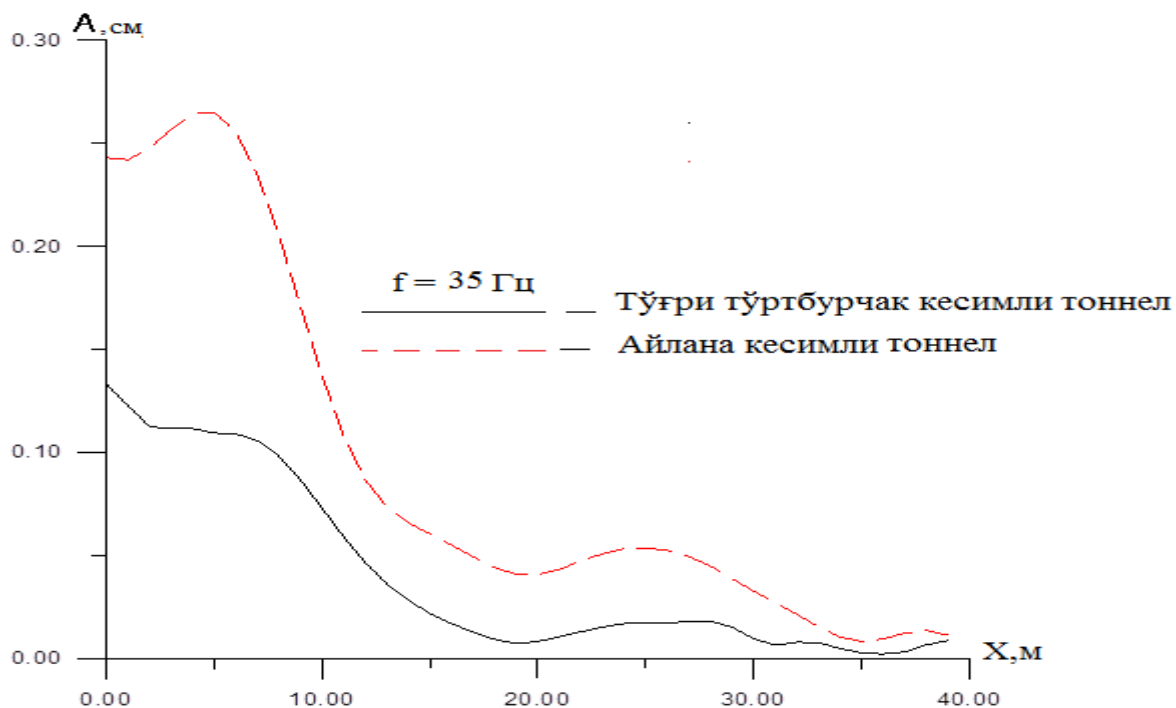


4-расм. Ярим текисликнинг эркин чегарасида тебраниш амплитудасининг ўзгариши

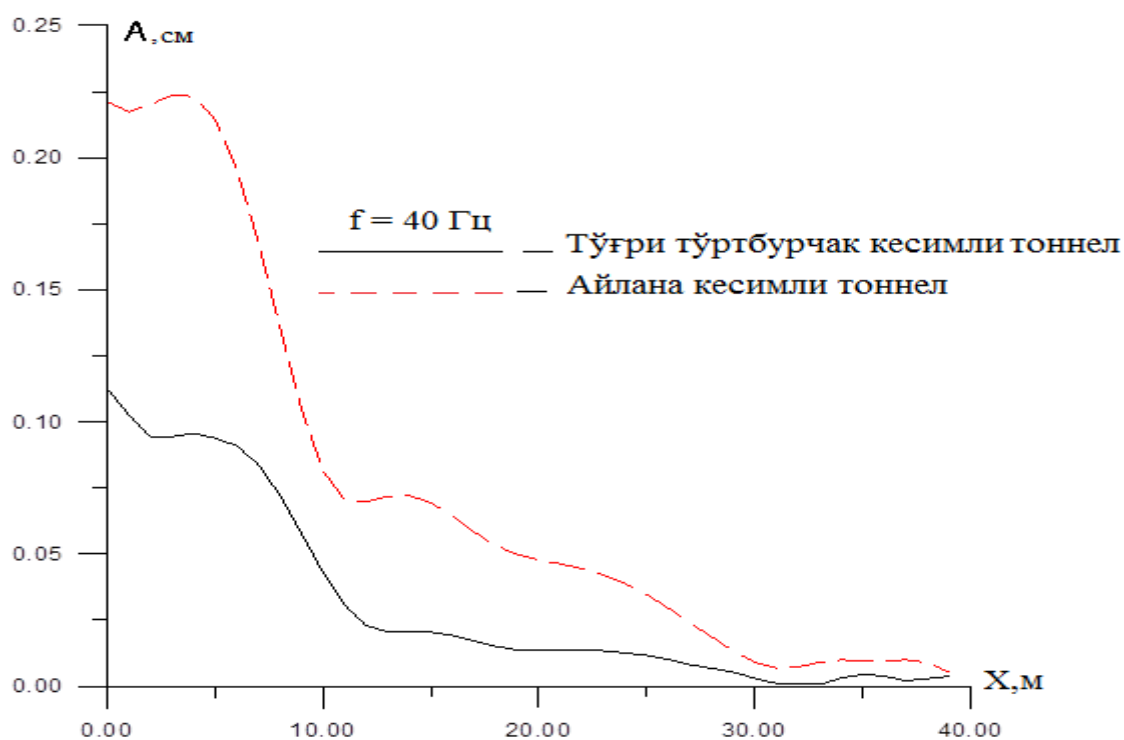
T_T



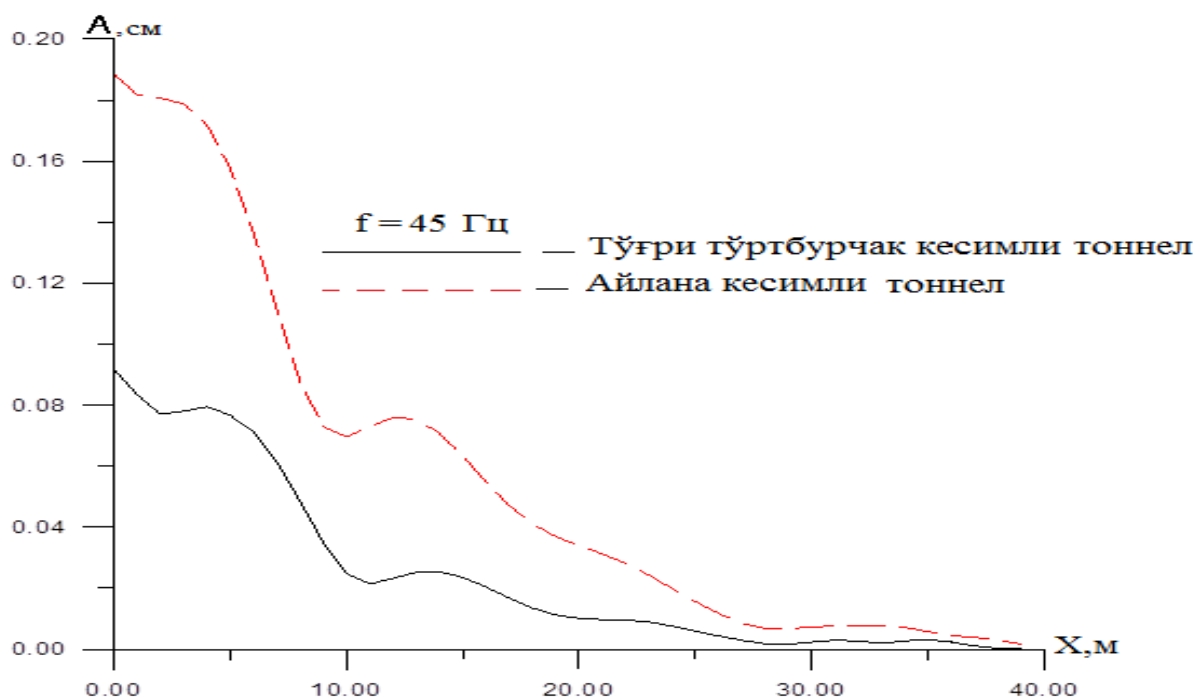
5-расм. Ярим текисликнинг эркин чегарасида тебраниш амплитудасининг ўзгариши



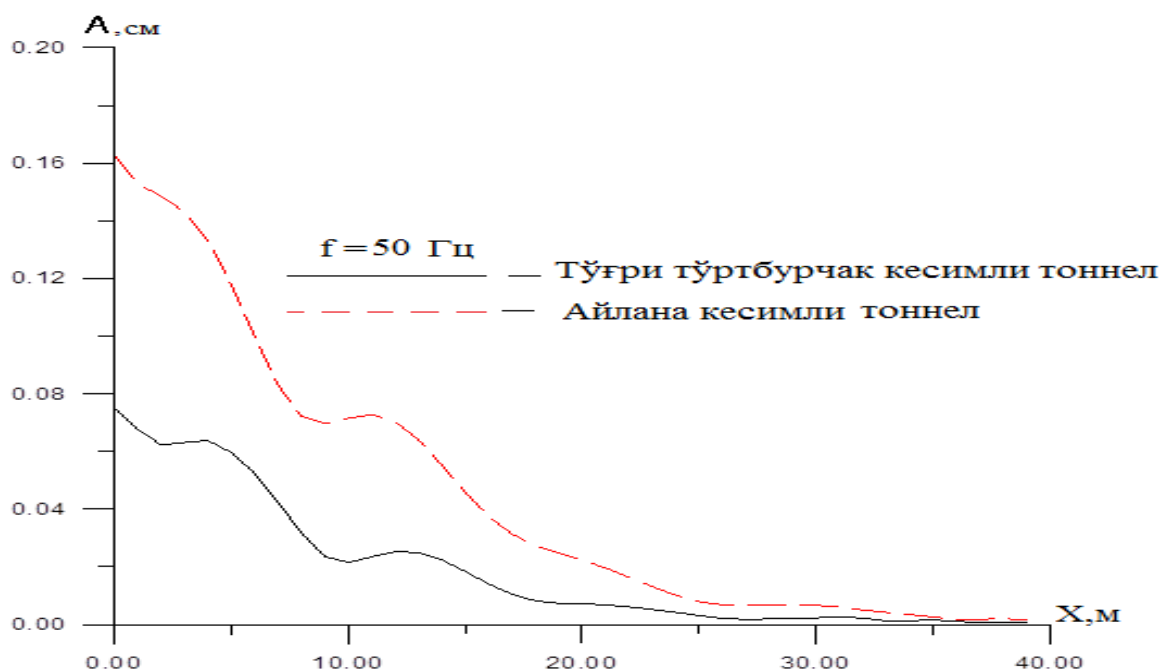
6-расм. Ярим текисликнинг эркин чегарасида тебраниш амплитудасининг ўзгариши



7-расм. Ярим текисликнинг эркин чегарасида тебраниш амплитудасининг ўзгариши



8-расм. Ярим текисликнинг эркин чегарасида тебраниш амплитудасининг ўзгариши



9-расм. Ярим текисликнинг эркин чегарасида тебраниш амплитудасининг ўзгариши

Хулоса қилиб шуни айтиш мумкинки, айлана кесимли тоннелларда поездлар ҳаракатидан ҳосил бўлган вибрация даражаси тебраниш частотасига боғлиқ равишда тўғри тўртбурчак бўлган ҳолга нисбатан 30% дан 110% гача катта бўлиши аниқланди.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Юлдашев Ш.С., Карабаева М.У. Защита зданий от вибраций, возникающих при движении железнодорожного транспорта, с помощью экранов // Журнал Проблемы механики. – Ташкент, 2017. –№2-3. – С. 161–163.
2. Карабаева М.У. Propagation of vibrations in soils from subway tunnels taking into account open trenches constructed to reduce vibration level // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 8, Issue 9, September, 2021. – p. 18291–18295.
3. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. М.: Высшая школа, 1976. 277с.
4. Ильичев В.А., Юлдашев Ш.С., Саидов С.М. Исследование распространения вибрации при прохождении поездов в зависимости от расположения железнодорожного полотна // Основания, фундаменты и механика грунтов. М.,1999. № 2.

5. Lysmer J., Kyhlemeyer L. Finite Dynamic Model for Infinite Media // Jour Engineering Mechanics Division.ASCE. 1969. Vol. 95.NoEM 4. August.P. 859 – 887.