

ЭЛЕКТРЛАШГАН ТЕМИР ЙЎЛЛАР КОНТАКТ ТАРМОҒИ ДИНАМИКАСИНИ ЎЗГАРИШИДА ТЎҒРИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ УСУЛИНИ ҚЎЛЛАШ

Азим ўғли Ислон Каримов

Тошкент давлат транспорт университети, «Электр таъминоти» кафедраси
ассистенти
nauka.islom@gmail.com

Иномжон Ўролов

Тошкент давлат транспорт университети, ET-758 гуруҳ талабаси

АННОТАЦИЯ

Ток олишнинг тадқиқот усуллари такомиллаштиришнинг истиқболли йўналишлари (ОЭУ) тамойилидан фойдаланиш, тўғри математик моделлаштириш (ТММ) усули асосида янги сонли алгоритмларни ишлаб чиқариш лозимдир. ТММ да ўтказилган ҳисоблар - дифференциал тенгламалар тузмасдан туриб тўғридан тўғри оддий ҳисоблаш нисбатларини олиш имконини берувчи кучли воситадир. Контакт тармоғининг динамик масалаларни ечиш учун ТММ қўллаш, кўп муҳандисларга контакт осмаси элементлари: контакт сими; ушлаб турувчи трос; торлар ва фиксаторларни ҳақиқий хусусиятларни инобатга олган ҳолда математик моделларни яратиш контакт тармоғини бир нечта ток қабул қилгич билан ўзаро таъсири хусусиятлари ўрганиш имконини беради.

Фазовий ромбсимон контакт тармоғи (ФРКТ) да қўлланилувчи ток қабул қилгич билан контакт осмаси ўзаро таъсири учун ТММ методикасини қўллаш хусусиятларни кўриб чиқамиз. Контакт симини қотириш нуқталарига осилган мутлақо эгилувчан иш сифатида тасаввур қилинган. Қотириш нуқталари бир хил баландлик даражасида бўлсин ва қотирилишлар орасидаги масофа L , ипнинг чизиқли зичлиги ρ ва тортилиши K билан тавсифланади. ТММ усулининг умумий алгоритмига мувофиқ, тола n та таркибий элементга бўлади. Бунда иккала элемент ва бўлимларга тартиб рақамлари берилади.

Таркибий элемент шартли равишда уч қисмга бўлинади: ички, бу элементнинг эластик инерциял хусусиятига боғлиқ ва иккита инерциясиз чегарали ҳудудларга бўлинади.

Калит сўзлар: контакт тармоғи, ток қабул қилгич, тўғри математик моделлаштириш, охириги элементлар усули, эластиклик, тебраниш.

ABSTRACT

The highest level of detail of the contact suspension is achieved in the finite element (FEM) models. Calculation of DMM is a powerful tool that allows to obtain simple calculation relations directly, without making differential equations. Application of DMM to solve the problems of the dynamics of the contact network, gives a wide range of engineers the opportunity to create mathematical models taking into account the real characteristics of the elements of the contact suspension: a contact wire, a bearing cable, Strings and fixtures; study the interaction of contact suspension with several current collectors.

Let's consider the features of application of the DMM method to the problems of interaction of contact suspension with current collectors on the example of spatially rhomboid autocompensated contact line SRACL. Imagine a contact wire with a completely flexible thread suspended on supports. Let the suspension points be at the same height level and the distance between the supports is L . The strand is characterized by linear density ρ and tension K . According to the general DMM algorithm, the strand is divided by sections into n structural elements. Both elements and sections are assigned serial numbers.

The structural element is conventionally divided into three parts: the inner, which is attributed the elastic-inertial properties of the element, and the two non-interferential boundary regions.

Keywords: contact line, pantograf, direct mathematical modeling, finite element method, elasticity, disturbances.

КИРИШ

Ҳозирги вақтда электрлашган темир йўллар контакт тармоғида ток қабул қилгич билан контакт осмасини ўзаро таъсирини ўрганишнинг асосий усули математик моделлаштиришдир. Бу ҳолат тавсилотларнинг энг юқори даражасига контакт осмаларини моделларда охириги элемент усули (ОЭУ) ёрдамида эришилади [1,2]. Бу ерда контакт осма ўзининг таркибий элементлари орасидаги боғланишлар тўплами намоён бўлади, ҳамда ҳар бир элементнинг ҳаракати оддий дифференциал тенгламалар билан тавсифланади. Контакт осмасини алоҳида элементларга ажратиш, ҳисоблашлар хусусий ҳосилаларда дифференциал тенгламаларни ечиш орқали осонлаштирилади. Шу билан бирга, ҳар қандай контакт осмасини берилган массаси каби шартли параметрларидан фойдаланиш керак эмас. Баъзи ҳолларда мураккаб дифференциал тенгламаларни оддий дифференциал тенгламалар системасига келтириш учун охириги элементлар усули (ОЭУ) қўлланилади [3-4].

АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ ВА МЕТОДОЛОГИЯ

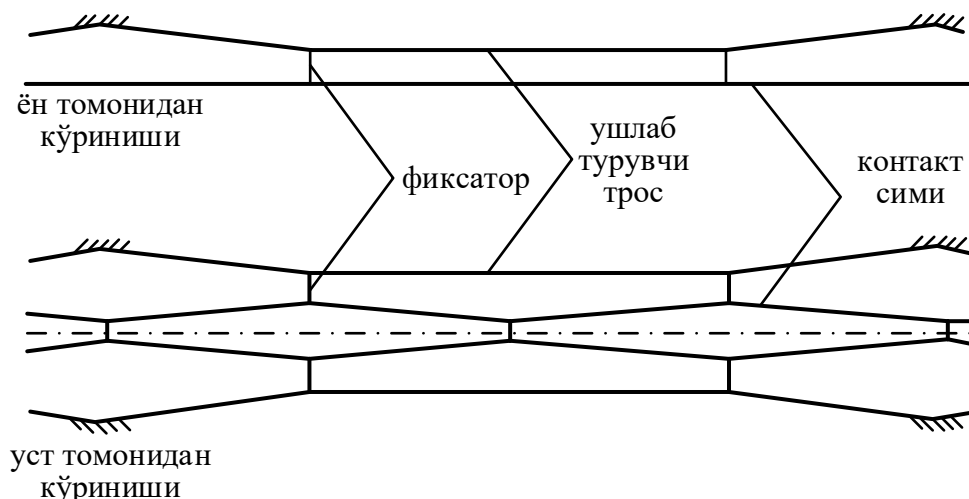
Ушбу соҳада рус олимлари: Демченко А.Т., Туркин В.В. лар изланишлар олиб борган ва илмий ишларида таҳлиллар олиб бориш натижасида куйдаги усуллардан фойдаланишган. Ток олишнинг тадқиқот усуллари такомиллаштиришнинг истиқболли йўналишлари (ОЭУ) тамойилидан фойдаланиш, тўғри математик моделлаштириш (ТММ) усули асосида янги сонли алгоритмларни ишлаб чиқариш лозимдир.

ТММ да ўтказилган ҳисоблар - дифференциал тенгламалар тузмасдан туриб тўғридан тўғри оддий ҳисоблаш нисбатларини олиш имконини берувчи кучли воситадир. Контакт тармоғининг динамик масалаларни ечиш учун ТММ қўллаш, қўп муҳандисларга контакт осмаси элементлари: контакт сими; ушлаб турувчи трос; торлар ва фиксаторларни ҳақиқий хусусиятларни инобатга олган ҳолда математик моделларни яратиш контакт тармоғини бир нечта ток қабул қилгич билан ўзаро таъсири хусусиятлари ўрганиш имконини беради.

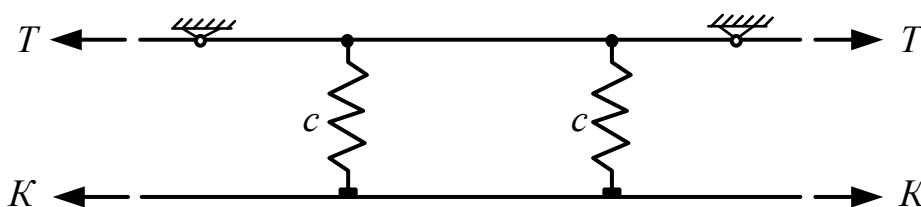
МУҲОКАМА

Фазовий ромбсимон контакт тармоғи (ФРКТ) да қўлланилувчи ток қабул қилгич билан контакт осмаси ўзаро таъсири учун ТММ методикасини қўллаш хусусиятларни кўриб чиқамиз (1-расм). ФРКТ юзавий схема билан алмашлашда сезиларли содалашган ҳисобларга эришилади, ўзаро эластиклик элемент билан боғланган контакт сими ва ушлаб турувчи тросдан ташкил топган (2-расм). Схепада контакт осма симлари: ушлаб турувчи трос ва контакт симларининг тортилиши T ва K , ушлаб турувчи трос ва контакт симлари икки баробар тортилиш кучига эга. Эластиклик элемент C қаттиқлик билан характерланади ҳамда тортиш, куч катталигига боғлиқ эмас, фиксаторга мос бириктирилганлиги тажриба натижаларидан намоён бўлмоқда [6].

Ҳар бир симнинг тортилишини доимий деб ҳисоблаймиз, ток қабул қилгичнинг кўтаришига боғлиқ эмас, контакт симларини оғирлик юкламалари қотириш оралиқлари бўйича тенг тақсимланган. Биз контакт симига таъсир қилувчи барча кучларни маълум деган тахмин қилиб чиқамиз. Бундай ҳолатда, муаммо бир нечта ташқи кучлар таъсирида контакт симининг тебраниш қонуниятини ўрнатиш учун камаяди. Бундай муаммонинг ечими [5] да келтирилган, аммо бу ерда биз ТММ усулининг ҳисобланадиган муносабатларда олиб келадиган бошланғич нуқталари ва асосий тамойилларини қисқача кўриб чиқамиз.



1-расм. Қотириш ораллиқларида ФРКТ элементлари жойлашуви



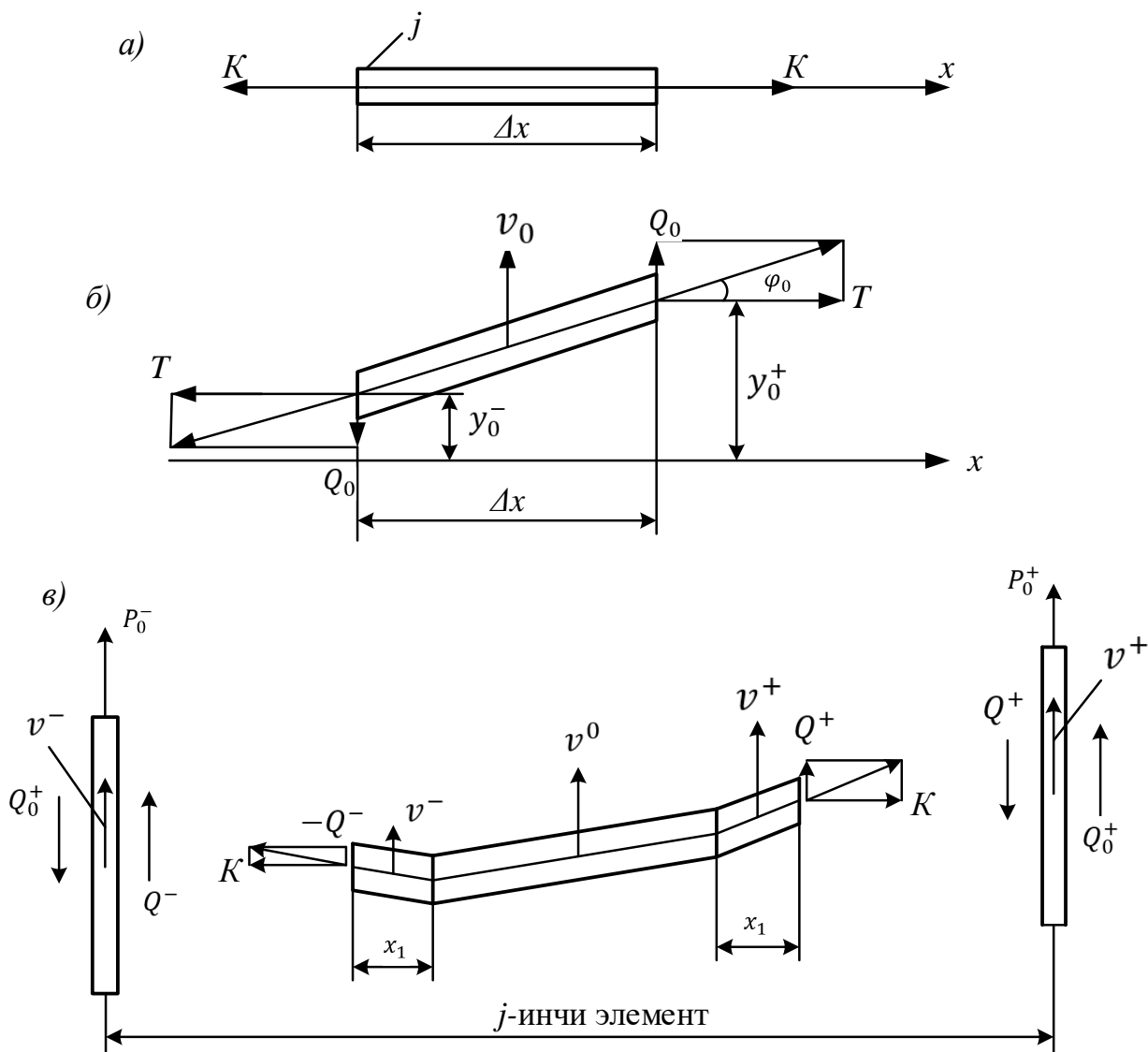
2-расм. (Бир қотириш ораллиғида) ФРКТ юзали алмашлаш схемаси

Контакт симини қотириш нуқталарига осилган мутлақо эгилувчан ип сифатида тасаввур қилинган (3 расм). Қотириш нуқталари бир хил баландлик даражасида бўлсин ва қотирилишлар орасидаги масофа L , ипнинг чизиқли зичлиги ρ ва тортилиши K билан тавсифланади. ТММ усулининг умумий алгоритмига мувофиқ, тола n та таркибий элементга бўлади. Бунда иккала элемент ва бўлимларга тартиб рақамлари берилади. Бундай ҳолатда, j чап қисмининг рақами элементлар тартиб рақамига мос келиши керак. Хусусан, биринчи қисми ($j=1$) толанинг чап қисми билан мос келиши керак, унинг охириги қисми ($j=n+1$) билан (4 расм, a).

Таркибий элемент шартли равишда уч қисмга бўлинади: ички, бу элементнинг эластик инерциял хусусиятига боғлиқ ва иккита инерциясиз чегарали ҳудудларга бўлинади. Моделлаштиришнинг ҳар қадами Δt охириги вақт ораллиғига мос келади, унинг давомийлиги куйидаги ифода билан аниқланади:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{c}.$$

Бу ерда $\Delta x = \frac{L}{n}$ - таркибий элементнинг чизиқли ўлчами; c тўлқиннинг кўндаланг тарқалиш тезлиги. Бошланишида босқичнинг ҳар бир вақтда таркибий элементи



4- расм. Дастлабки деформацияланмаган ҳолатдаги якуний таркибий элемент (а), тебранишларнинг жорий босқич бошида тарқалишида (б), тебранишларнинг маълум вақт босқичида тарқалишида (в)

(1), (2), (4) ифодалар, шунингдек таркибий элементнинг ташқи чегараларида кўндаланг куч ва тезлик тенглиги шартлари, эгилувчан ип учун ТММ усули ёрдамида кетма-кет боғланишларни олишимиз мумкин:

$$v_j = \frac{v_{j+10} + v_{j-10} + \frac{1}{\rho c} [Q_{j+10} - Q_{j-10} + P_{j*0}^+ + P_{j*0}^-]}{2}; \quad t_4 \quad (7)$$

$$Q_j = \frac{\rho c [v_{j+10} - v_{j-10}] + Q_{j+10} + Q_{j-10} + P_{j*0}^+ - P_{j*0}^-}{2}. \quad (8)$$

Бу ерда P_{j*0}^\pm - куч, j - элемент ташқи чегарасига бириктирилган (4-расм).

$j = 1$ ва $j = n + 1$ ($v_1^- = 0, v_n^+ = 0$) бўлимларга чегаравий элементларнинг кўндаланг тезликлари ва кучларни ҳисоблаган ҳолда аниқлаш кейинги ифодада келтирилган:



$$v_1 = \frac{v_{20} - v_{10} + \frac{1}{\rho c} [Q_{20} - Q_{10} + P_{1*0}^+]}{2}; \quad (9)$$

$$v_n = \frac{v_{n-10} + v_{n0} - \frac{1}{\rho c} [(Q_{n-10} - Q_{n0}) - P_{n*0}^-]}{2}; \quad (10)$$

$$Q_1 = \frac{\rho c [v_{20} + v_{10}] + Q_{20} + Q_{10} + P_{10}^+}{2}; \quad (11)$$

$$Q_n = \frac{\rho c [v_{n-10} + v_{n0}] - (Q_{n-1} + Q_{n0}) + P_{n0}^-}{2}. \quad (12)$$

Эгилувчан ип учун ТММ усули кетма кет боғланишлар натижасида (7)-(12) ифодаларда яхлит системани ташкил қилади. Моделлаштириш маълум ташқи кучлар (7)-(12)ларда алмаштириш орқали босқичнинг ҳозирги вақтда кўндаланг куч ва тезликларни аниқлаган камаяди, шунингдек v_0 ва Q_0 параметрлари ўтган босқичларида ҳар бир элементнинг ҳолати аниқланган эди.

НАТИЖАЛАР

5 расмда контакт симининг профили кўрсатилган ва компьютер модели ёрдамида чизилган. Бу ерда контакт осмасига 120 Н катталиқдаги тўпланган вертикал куч, 250 км/с (69.44 м/сек) тезликли 9 метр оралиқ узунликга силжийди. Контакт симини тортилиши 15 кН, чизиқли зичлиги 1,068 кг/м. $t_1 - t_4$ эгри чизиқлар контакт осмаси 0,0331 сек; 0,0648 сек; 0,0864 сек; 0,1166 сек даги ҳолатини мос вақтидаги чизиқларни кўрсатади [7]. Ўнг чегарагача фронт шакли тўғри чизиққа яқин. Бу чизиқ оғишининг X ўқидаги бурчаги ток қабул қилгич ва таъсирларнинг тарқалиш тезлиги билан аниқланади. Масалан, у тезликлар тенг бўлган ҳолда тўлқин fronti X ўқиға перпендикуляр бўлган тўғри чизиқ бўлар эди.

Эгилувчан ипнинг тебранишларининг моделлаштириб олинган натижаларига кўра: ток қабул қилгичнинг ҳаракати ошиши билан контакт симини тепага кўтаришнинг максимал қиймати ҳаракатланиш йўналиши бўйича силжийди. Ўнг чегарадан (t_1 ва t_4 эгри чизиқлар) акс этирилган тўлқиннинг фронтал томони билан учрашувга қадар контакт нуктасининг траекторияси тўғри чизиққа яқин эканлигини кўриш осон. Бу вақтда контакт осмаси тезда пастга тушади, кескин тушиши кузатилади. Шу сабабли ҳаракатланиш тезлиги ошганда ток қабул қилгич аксланган тўлқин билан учрашувга нисбатан узоқроқ силжийди. Шу билан бирга чегара энг катта тепага кўтарилиши кузатилади.

Умумий ҳолда P_{j*0}^{\pm} катталиқ элементларнинг ташқи чегараларга Y ўқиға келтирилган кучлар проэкцияси йигиндисиға тенг. Юқоридаги мисол P_{j*0}^{\pm} контакт симидаги

боғланиш катталигини аниқлайди. Маълумки контакт осмаларининг ток қабул қилгич билан ўзаро босилиш кучи ўзгарувчан бўлади ва тенг оралиқларда ўзгариши мумкин. Агар Δt вақт оралиғидаги контакт сими ва ток қабул қилгич орасида тирқич ($\delta > 0$) бўлса, бу вақтдаги сиқилиш нолга тенг бўлади ва осма эркин тебранади. Ток қабул қилувчининг полози контакт сими бўйлаб сирпанишида ($\delta = 0$), османинг тебранишларини мажбурий ток қабул қилгичнинг куч билан босилиши тушунтирилади. Бу кучни аниқлаш учун сирпанчиқнинг ток қабул қилгич томондан вертикал куч F_T таъсир этгандаги оғирлиги m деб қабул қиламиз. Бунда ток қабул қилгич қандайдир вақт доирасида t оғирлиги, сим йўналишига юқорига вертикал қаратилган v_{m0} тезлик билан йўналтирилган.

ХУЛОСА

Хулоса сифатида кейинги вақтлар давомида массаси билан контактда бўлишлиги эътиборга олган ҳолда шу оралиқдаги формуласини ўрта тезликни қуйидагича аниқлашимиз мумкин:

$$v_{m\dot{p}} = v_{m0} + 0,5\Delta v_m = v_j^- = v_{j-1}^+, \quad (13)$$

бу ерда Δv_m -оралиқ давомида тўла тезлигини ўзгариши.

Шундай қилиб m сим билан контакт бўлганда ҳаракатланганлиги сабабли, босқичдаги ўртача тезлик $v_{m\dot{p}}$ контакт нуқтасидаги элементларнинг чегаралари тезлигига тенг бўлиши керак.

$$v_{m\dot{p}} = v_j^- = v_{j-1}^+.$$

Импульснинг сақланиш қонунига мувофиқ:

$$\Delta v_{m\dot{p}} = F \frac{\Delta t}{m}, \quad (14)$$

бу ерда $F = F_H + F_T - m$ оғирлигига қўлланиладиган ташқи кучларнинг Y ўқи бўйича проэкцияси; $F_H = Q_j^- - Q_{j-1}^+$ - сим томонидан m оғирлигига таъсир қилувчи кучнинг Y ўқи бўйича проэкцияси. F_H кучи мутлоқ қийматга эга қийматга тенг ва контакт босиш кучига қарама-қаршидир.

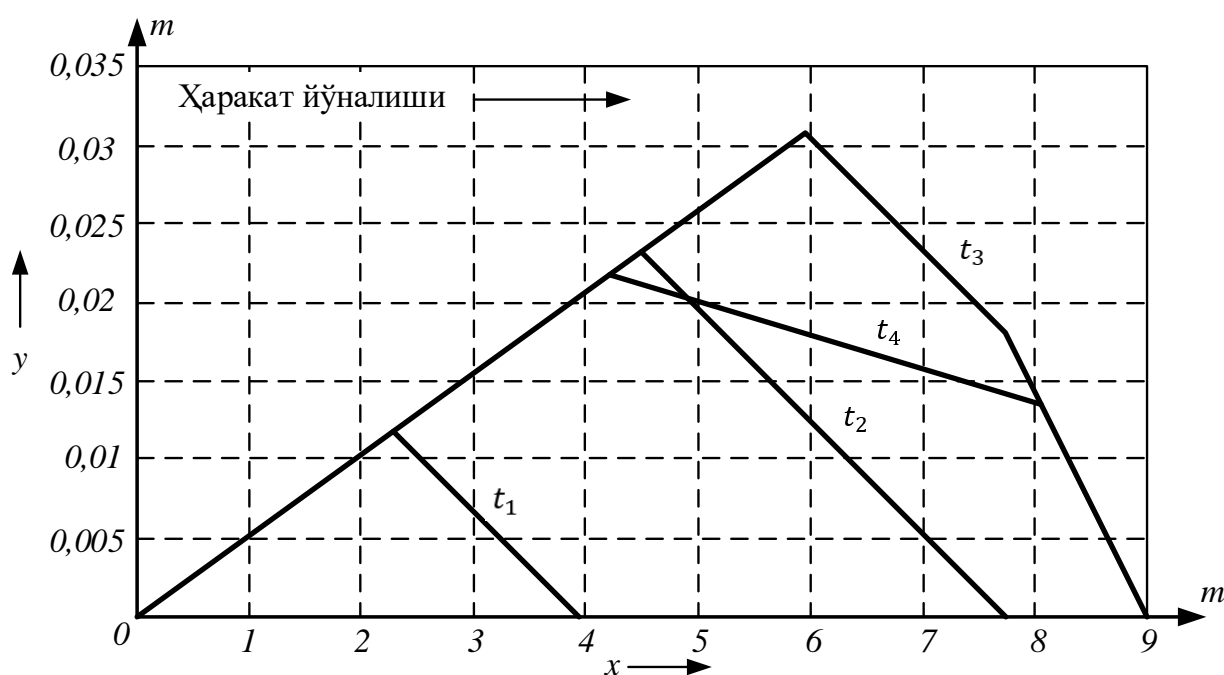
$$(4) \quad \text{ифодадан фойдаланиб} \quad Q_j^- - Q_{j-1}^+ = Q_{j0} - Q_{j-10} - \rho c [2v_j^- - (v_{j0} + v_{j-10})].$$

(13) ва (14) ни ҳисобга олиб, қуйидаги ифодани келтириб чиқарамиз

$$F_j = \frac{Q_{j0} - Q_{j-10} - \rho c [2v_{m0} - (v_{j0} + v_{j-10})] - F_T \frac{m_j}{m}}{1 + \frac{m_j}{m}}; \quad (15)$$

бу ерда $m_j = \rho c \Delta t$.

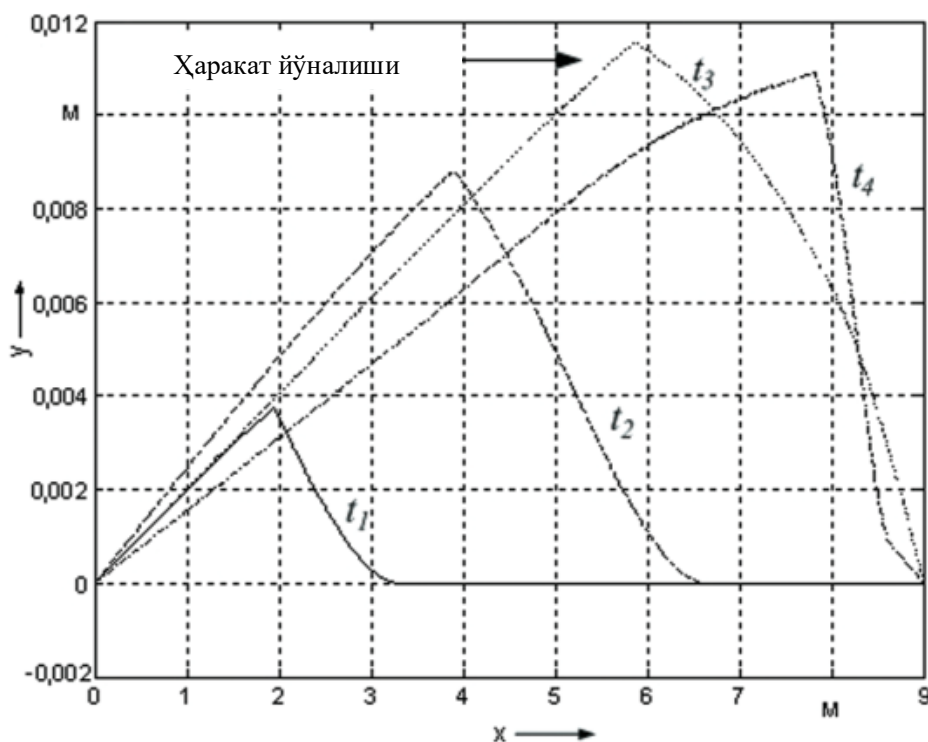
(7)-(12), (15) ифодалар полз ва контакт симининг биргаликдаги ҳаракати қонунини белгилайди. Агар бирор бир босқичда узилиш қайд этилса, босиш катталиги нолга тенг деб қабул қилинади. Шу вақтдан бошлаб ток қабул қилгичнинг тебранишлари мустақил равишда моделлаштирилади. Контакт симини ток қабул қилгич полози билан теккизиш бўшлиғининг ўлчами δ билан белгиланган. Қоида тариқасида, контакт сими билан ток қабул қилгич контактга киришиш билан бирга юзага келади, бу салбий бўшлиқ $\delta < 0$ билан тафсифланади. Контакт нуктада компенсацияни амалга ошириш учун қўшимча “итариш” кучи бўлиши керак босқич охирида тирқич нолга тенглашган шароитда аниқлаймиз.



5-

расм. Тортувчи юклама остида эгиловчан ип ҳолати графиги

6-расмда контакт симини ток қабул қилиш билан ўзаро таъсири профили кўрсатилган. Ток қабул қилгич икки эркинлик даражасига эга анъанавий тизим билан ифодаланади. Оғирлиги 16,7 кг, қўзгатувчи тизими оғирлиги 15 кг, юқори шарнирларга берилган юқори нукта қаттиқлиги 6,0 кН/м, статик босиш 120 Н. $t = 0$ вақтда ток қабул қилган чап таянч нуктаси жойлашган эди ($x = 0$) ва бошланғич тезлиги 250 км/м эди, бу моделлаштириш жараёнида доимий бўлиб қолди. Шубҳасиз, ҳисоблашлар натижасида ток қабул қилган моделидан фойдаланиш, олдин кўриб чиқилган ҳолларга нисбатан натижаларнинг сезиларли ўзгаришга олиб келади (5- расмга қаранг).



6 расм. Ток қабул қилгич таъсири натижасида содир бўладиган контакт симини тебранишини тақсимланиши

Мисол учун ток қабул қилгичнинг оғирлиги фронт шаклига сезиларли таъсир кўрсатади ва контакт босимининг статик босимдан оғисги контакт симининг максимал тепага кўтариш қимматига таъсир қилади.

REFERENCES

1. Демченко А.Т. Туркин В.В. Применение метода прямого математического моделирования к исследованию динамики контактных подвесок // наука и техника транспорта, 2004. - №3.
2. Фишер В. Цепная контактная подвеска и токоприемник при высоких скоростях движения// Железные дороги мира, 1978. — № 7.
3. Petri K., Wallachek J. Modelling the Dynamic Behaviour of Catenary Pantograph Systems for High Speed Trains// Proceedings of Cable Dynamics, 1995.
4. Petri K., Wallachek J. Analytical Models for the Dynamics of Catenary Pantograph Systems// Proceedings of ICIAM 95, issue 4: Applied Sciences, Especially Mechanics. Nov. 1996.
5. Шорр Б.Ф., Мельникова Г.В. Расчет конструкций методом прямого математического моделирования. — М.: Машиностроение, 1988. — 159 с.

6. Демченко А.Т. Пространственные контактные подвески. — М.: Транспорт, 1991. — 175 с.
7. Bayanov, I., Badretdinov, T., Muminov, S., Karimov, I., Saydivaliev, S., & Saliyev, E. (2021). The electric field of the sliding contact during the interaction of the pantograph and the contact wire. In E3S web of conferences (Vol. 264, p. 04029). EDP Sciences.
8. Yakubov, Mirjalil, et al. "Improvement of the information-measuring complex for diagnostics of traction power supply objects at high-speed traffic." E3S Web of Conferences. Vol. 304. EDP Sciences, 2021.