

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
PhD.15/30.12.2019.Т.73.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ДЖАББАРОВ ШУХРАТ БАТИРОВИЧ**

**САРАЛАШ ТЕПАЛИКЛАРИНИНГ ТРАНСПОРТ ЖАРАЁНЛАРИ  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ РИВОЖЛАНТИРИШ УЧУН ВАГОН  
ҒИЛДИРАКЛАРИНИ ДУМАЛАНИШИ ВА СИРПАНИШИНИ  
НАЗАРИЙ АСОСЛАШ**

**05.08.03 – Темир йўл транспортини ишлатиш  
05.08.05 – Темир йўллар ҳаракат таркиби, поездларни тортиш ва электрлаштириш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Джаббаров Шухрат Батирович**

Саралаш тепаликларининг транспорт жараёнлари технологиясини  
ривожлантириш учун вагон филдиракларини думаланиши ва  
сирпанишини назарий асослаш ..... 3

**Джаббаров Шухрат Батирович**

Теоретическое обоснование качения и скольжения колес вагона для  
развития технологии транспортных процессов сортировочных горок... 23

**Shuhrat Batirovich Djabbarov**

Theoretical justification of rolling and sliding of the wagon wheels for the  
development of technology of transportation processes of sorting slides.... 41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 44

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
PhD.15/30.12.2019.Т.73.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ДЖАББАРОВ ШУХРАТ БАТИРОВИЧ**

**САРАЛАШ ТЕПАЛИКЛАРИНИНГ ТРАНСПОРТ ЖАРАЁНЛАРИ  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ РИВОЖЛАНТИРИШ УЧУН ВАГОН  
ҒИЛДИРАКЛАРИНИ ДУМАЛАНИШИ ВА СИРПАНИШИНИ  
НАЗАРИЙ АСОСЛАШ**

**05.08.03 – Темир йўл транспортини ишлатиш  
05.08.05 – Темир йўллар ҳаракат таркиби, поездларни тортиш ва электрлаштириш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси қошидаги Олий аттестация комиссиясида В2021.4.PhD/T1215 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат транспорт университетига бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) ва "ZiyoNet" Ахборот таълим порталида ([www.ziyo.net.uz](http://www.ziyo.net.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбарлар:**

**Туранов Хабибулла Туранович**

техника фанлари доктори, профессор  
**Илесалиев Дауренбек Ихтиярович**  
DSc., доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Даусеитов Ерген Балгаевич**

техника фанлари доктори, профессор  
**Валиев Мухаммад Шералиевич**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Ведущая организация:**

**Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат транспорт университети ҳузуридаги PhD.15/30.12.2019.T.73.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил « 4 » 12 соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100167, Тошкент, Темирўлчилар кўчаси, 1 уй. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: [tstu\\_rektorat@mail.ru](mailto:tstu_rektorat@mail.ru).

Диссертацияси билан Тошкент давлат транспорт университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (041 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100167, Тошкент, Темирўлчилар кўчаси, 1 уй. Тел.: (99871) 299-05-66

Диссертация автореферати 2021 йил « 20 » 11 куни тарқатилди.  
(2021 йил « 15 » 11 даги 036 рақамли реестр баённомаси).



**А.И. Адилходжаев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Я.О. Рузметов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н.

**М.Х. Расулов**

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий  
семинар раиси, т.ф.н., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳондаги темир йўл станцияларида саралаш тепалигининг асосий вазифаси таркибларни қайта ишлаш ҳамда янги таркибларни тузиш ҳисобланади. Бу эса кўп жихатдан оқилона лойиҳаланган саралаш тепалигидаги тушиш қисмининг профилига боғлиқ бўлади. Саралаш тепалигининг тушиш қисми баландлигини ҳисоблаш ва лойиҳалашнинг мавжуд усулларида вагоннинг тезланиш ва тормозланиш участкалари бўйлаб ҳаракат тезлиги айланувчи массаларнинг инерциясини ҳисобга олган ҳолда жисмнинг вертикал бўйича тушиш тезлиги формуласи орқали аниқланади. Аммо вагоннинг вертикал тушиш вақтида айланувчи массаларнинг инерцияси инобатга олинмаган. Ривожланган мамлакатларда, жумладан АҚШ, Германия, Швеция, Испания, Хитой, Россия ва бошқа давлатларда энг юқори қайта ишлаш қобилиятига эга саралаш тепалиги қурилмаларидан бири ҳисобланган тушиш қисми қиялигининг асосий кўрсаткичларини аниқлаш бўйича назарий ва амалий тадқиқотларга катта аҳамият берилмоқда. Шу жихатдан қияликнинг тушиш қисмини ҳисоблаш ва лойиҳалаштиришни, вагонни саралаш тепалигининг қиялиги бўйича ҳаракат тезлигини айланувчи масса инерциясини ҳисобга олган ҳолда жисмнинг вертикал бўйлаб тушиш тезлиги ифодаси орқали аниқлайдиган мавжуд услубини танқидий таҳлилни ўтказиш ҳамда шу асосда вагоннинг вертикал тушишида айланувчи массаларнинг инерцияси пайдо бўлмаслигини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган услубларни ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Дунё тажрибасидан келиб чиқиб, транспорт-технологик тизимлардаги саралаш станцияларини ривожлантириш бўйича бир қатор назарий ва амалий тадқиқотларнинг таҳлили, тепалик қиялигидаги вагон ҳаракатланиш жараёнининг техник-технологик хусусиятлари асосида, ушбу ҳаракатнинг математик модели ва ҳисобий ечимлари ишлаб чиқилмаганлигини тасдиқлаш имконини беради. Хусусан, саралаш тепалигидаги тормозлаш жойи ва қияликнинг тезланиш участкаларида вагоннинг тушиш тезлиги ҳамда вагоннинг тўхташ йўли ва вақтини аниқлаш усули ҳозиргача илмий асосда кўриб чиқилмаган. Бу ҳолатда сирпаниш динамикасини ҳисоблашни такомиллаштириш темир йўл транспортининг долзарб вазифаларидан бири ҳисобланади.

Республикамизда юқори халқаро талаблар ва меъёрларга жавоб берувчи миллий транспорт соҳасини ривожлантириш соҳасидаги ягона комплекс стратегиясини ишлаб чиқишни назарда тутган, мамлакат ишлаб чиқарувчиларининг ўз маҳсулотларини минтақавий ва жаҳон бозорларида илгари суришнинг истиқболли эҳтиёжларини эътиборга олган ҳолда унинг халқаро транспорт коммуникацияларига кенг интеграциясини

таъминлашга йўналтирилган муҳандислик-коммуникация ва йўл-транспорт инфратузилмасини ривожлантириш ва модернизация қилиш Дастури амалга оширилмоқда. Транспорт тузилмасини такомиллаштириш бўйича 2018-2022 йилларга мўлжалланган чора-тадбирларда, "...умуман темир йўл транспорти соҳасида темир йўл транспорти хавфсизлигини ва хизматлар сифатини ошириш, халқаро транспорт йўлакларини шакллантиришни давом эттириш ва давлат ташқи савдо юкларини асосий жаҳон бозорига олиб кириш мақсадида уларнинг фаолиятини такомиллаштириш, ...логистик хизматларни такомиллаштириш, ...йўли билан Ўзбекистон Республикаси темир йўл соҳасини жадал ривожлантириш учун зарур шарт-шароитларни яратиш" бўйича вазифалар белгиланган<sup>1</sup>. Белгиланган вазифаларни амалга ошириш, жумладан, поезд таркибларини қайта ишлаш ва янги таркибларни тузиш ишларини жадаллаштиришни таъминловчи саралаш тепалиги қиялигини лойиҳалаш бўйича содаллаштирилган оптимал ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқиш муҳим вазифаларидан бири ҳисобланади.

Мазкур диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикасининг "Темир йўл транспорти тўғрисида"ги Қонуни (1999 й.), Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 2 декабрдаги "2018-2022 йилларда транспорт инфратузилмасини такомиллаштириш ва юк ташишнинг ташқи савдо йўналишларини диверсификациялаш чора-тадбирлари тўғрисида"ги ПҚ-3422-сон Қарори, 2019 йил 1 февралдаги "Транспорт соҳасида давлат бошқаруви тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида"ги ПФ-5647-сон Фармонида ҳамда ушбу фаолиятга тегишли қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг VI. "Технологик жараёнларни комплекс механизациялаш ва автоматлаштириш" устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Транспорт-технологик тизимлардаги саралаш станцияларини ривожлантириш бўйича назарий ва амалий тадқиқотлар етакчи мамлакатларнинг илмий-тадқиқот марказлари, университетлари ва олий ўқув юртларида, шу жумладан: University of Baltimore (АҚШ), Technische Universität Berlin (Германия), Swedish national Railway Administration (Швеция), Урал давлат темир йўл университети ва Россия транспорт университети (Россия), Луганск миллий университети (Украина), шунингдек, Тошкент давлат транспорт университети,

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 2 декабрдаги "2018-2022 йилларда транспорт инфратузилмасини такомиллаштириш ва юк ташишнинг ташқи савдо йўналишларини диверсификациялаш чора-тадбирлари тўғрисида"ги ПҚ-3422-сон Қарори

“Боштранслойиха” АЖ ва “Тоштемирйўллойиха” ОАЖ (Ўзбекистон)да амалга ошириб келинмоқда.

Вагоннинг саралаш тепалиги қиялигининг тушиш қисмидан сирпаниши динамикаси бўйича кўплаб илмий-тадқиқот ишлари жаҳоннинг В.Н. Образцов, Н.И. Федотов, И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, В.М. Рудановский, И.П. Старшов, А.М. Устенко, J. Prokop, Sh. Myojin, Б.А. Родимов, Ю.А. Муха, Ю.И. Ефименко, С.А. Бессоненко, С. Zhang, Y. Wei, G. Xiao, Z. Wang, С.Т. Dick, J.R. Dirnberger, С.Н. Шмаль ва шу каби йирик олимлари томонидан амалга оширилган. Х.Т. Туранов, Е.Н. Тимухина, С.А. Ситников, Л.А. Рикова, А.А. Гордиенко, А.В. Мягкова ва бошқалар томонидан вагоннинг саралаш қиялигида тўхтатиш ҳолатида сирпаниш тезлигини ҳисоблашнинг такомиллаштирилган усулидан фойдаланган ҳолда аниқлашга бағишланган тадқиқотларининг натижалари келтирилган.

Мамлакатимизда саралаш станциялари фаолияти кўрсаткичларини яхшилаш ва вагонларни қайта ишлашнинг технологик жараёнларини макбуллаштиришга йўналтирилган тадқиқотлар Ш.А. Шорустамов, М.А. Ходжимухаметова, Ш.М. Суюнбаев, А.А. Светашев, Д.Б. Бутунов, Ш.У. Саидивалиев ва бошқалар томонидан амалга оширилган. Бироқ, саралаш тепалиги тормоз участкаларидаги вагон ғилдирак жуфтлигининг сирпаниши ва тезланиш участкасидаги думалаш бўйича тадқиқотлар етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат транспорт университетида илмий-тадқиқот ишлари режасига асосан 2019 йилда “Ўзбекистон темир йўллари” АЖ техник даражасини оширишнинг ягона комплекс режасига мос равишда бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** вагон ғилдирак жуфтларининг саралаш тепалиги тезланиш участкаларида думалаш ва тормозланиш жойларида сирпанишини назарий асослаган ҳолда саралаш тепалигини лойиҳалашнинг мавжуд усулини такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

вагон ғилдирак жуфтларининг саралаш тепалиги тезланиш участкаларида думалаш ва тормозланиш жойларида сирпанишини ҳисоблашга доир мавжуд усулларни тадқиқ қилиш;

саралаш тепалигининг барча тезланиш участкаларида ғилдирак жуфтларининг рельс каллаги усти бўйлаб сирпанишини ҳисоблашнинг мукамаллаштирилган аналитик ифодаларни олиш;

айланувчи массалар инерциясини ҳисобга олган ҳолда саралаш тепалигининг тезланиш ва тормозловчи участкаларида вагон тезлигини аниқлашнинг оптимал усулини ишлаб чиқиш;

саралаш тепалиги қиялиги бўйлаб вагонни ҳаракатлантирувчи кучларни ҳисобга олган ҳолда думаловчи ва сирпанувчи ғилдираклар ўзаро муносабати ва таъсирининг математик моделини ишлаб чиқиш;

саралаш тепалигининг тезланиш ва тормозланиш участкалари нишаблигини автоматлаштирилган тарзда ҳисоблашга доир дастурий таъминот ишлаб чиқиш ҳамда тушиш қисмининг ҳар бир элементида вагоннинг кинематик параметрларини аниқлаш усулини такомиллаштириш.

**Тадқиқот объекти** сифатида саралаш тепалиги билан жиҳозланган техник станциялар олинган.

**Тадқиқот предмети** сифатида саралаш тепалигининг тезланиш участкалари бўйлаб вагоннинг тушиши ва тўхташининг асосий кўрсаткичлари олинган.

**Тадқиқот усуллари.** Ушбу диссертацияда келтирилган назарий тадқиқотлар ва ҳисоб-китобларнинг мисоллари назарий механиканинг классик қонунларига асосланган: қаттиқ жисмнинг кинематикаси, геометриянинг аксиомаси, алоқадан озод бўлиш тамойили, инерцион доирадаги Даламбер принципи ва дифференциал ҳисоблашлар.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** куйидагилардан иборат:

назарий механиканинг классик қоидалари асосида саралаш тепалигининг барча тезланиш участкаларида ғилдирак жуфтларининг рельс каллаги усти бўйлаб сирпаниши кузатилмаслигини тасдиқловчи мукамаллаштирилган аналитик ифодалар олинган;

қайта ишланадиган вагонлар оқимини оқилона бошқариш учун айланувчи массалар инерциясини ҳисобга олган ҳолда саралаш тепалигининг тезланиш ва тормозланиш участкаларида вагон тезлигини аниқлашнинг оптимал усули ишлаб чиқилган;

тарқатилаётган поезд таркибидаги вагонларнинг саралаш тепалиги қиялиги бўйлаб тезланишини аниқлаш учун ҳаракатлантирувчи кучларни ҳисобга олган ҳолда думаловчи ва сирпанувчи ғилдираклар ўзаро муносабати ва таъсирининг математик модели ишлаб чиқилган;

саралаш тепалигининг тезланиш ва тормозланиш участкалари нишаблигини автоматлаштирилган тарзда ҳисоблаш учун ишлаб чиқилган дастурий таъминот асосида тушиш қисмининг ҳар бир элементида вагоннинг кинематик параметрларини аниқлаш усули такомиллаштирилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** куйидагилардан иборат:

саралаш тепалигининг барча тезланиш участкалари бўйлаб туширилаётган вагон ғилдирак жуфтларининг рельс каллаги усти бўйлаб думалаш ва сирпаниш шартлари аниқланган;

саралаш тепалигининг тушиш қисмининг ҳар бир элементида вагоннинг кинематик параметрларини участкалар нишаблигини инобатга



олган ҳолда ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий мажмуалар кўринишидаги инструментал воситалари ишлаб чиқилган;

поезд таркибини тарқатиш билан боғлиқ манёвр ишлари ва унга сарфланадиган ёнилғини камайтириш, саралаш тепалиги бўғизини куриш харажатларининг қисқартириш ва вагонларни вақт меъёридан кўпроқ туриб қолишини камайтириш ҳисобига олинган иқтисодий самарадорликни аниқлаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги, ўтказилган тадқиқотларда замонавий услуб ва усуллардан фойдаланганлиги, назарий механиканинг классик қонуниятлари асосида аниқланган саралаш тепалиги қиялигида вагоннинг тушиши ва тўхташининг асосий кўрсаткичлари ўзаро уйғун ва мутаносиблиги, тадқиқот доирасида ишлаб чиқилган тақлиф ва тавсияларни амалиётга жорий қилинганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти саралаш тепалиги тушиш қисмида вагон ғилдирак жуфтларининг думалаш ва сирпанишидаги кучларнинг боғлиқлик ифодаларини олиш ҳамда уларнинг ўзаро муносабати ва таъсирининг математик моделини ишлаб чиқиш асосида вагоннинг кинематик параметрларини аниқлаш услуби такомиллаштирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти тарқатилаётган поезд таркибидаги вагонларнинг йўлда турган вагонларга белгиланган меъёрдан катта тезликда бориб урилмаслигини бартараф этиш, тезланиш ва тормозланиш участкалари нишаблигини тўғри танлаш ҳисобига тушиш қисми барча элементларида бажариладиган манёвр ишларига сарфланадиган вақт ва ёнилғини қисқартириш бўйича ишлаб чиқилган йўл-йўриқлари меъёрий-техник ҳужжатларда қўллаш имконияти мавжудлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларини жорий қилиниши.** Саралаш тепаликларининг транспорт жараёнлари технологиясини ривожлантириш учун вагон ғилдираклари думаланиши ва сирпанишини назарий асослаш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

саралаш тепалигининг тезланиш ва тормозланиш участкаларида вагон тезлигини аниқлашнинг оптимал усули, ҳаракатлантирувчи кучларни ҳисобга олган ҳолда думаловчи ва сирпанувчи ғилдираклар ўзаро муносабати ва таъсирининг математик модели “Ўзбекистон темир йўллари” АЖ тасарруфига кирувчи “Тоштемирйўллойиха” ОАЖга қайта ишланадиган вагонлар оқимини оқилона бошқариш ва тарқатилаётган поезд таркибидаги вагонларнинг саралаш тепалиги қиялиги бўйлаб тезланишини аниқлаш учун жорий этилган (“ЎТЙ” АЖнинг 2020 йил 2 мартдаги 01/875-20-сонли маълумотномаси). Натижада саралаш тепалигини лойиҳалашда тезланиш ва тормозланиш участкаларида вагонга

таъсир этувчи айланувчи массалар инерцияси ва ҳаракатлантирувчи кучларни ҳисобга олиш имкони яратилган;

саралаш тепалиги тушиш қисмининг ҳар бир элементида вагоннинг кинематик параметрларини аниқлаш усули, алгоритмлари ва дастурий мажмуалар кўринишидаги инструментал воситалари “Боштранслойиха” АЖга тезланиш ва тормозланиш участкалари нишаблигини автоматлаштирилган тарзда ҳисоблаш учун жорий этилган (“ЎТЙ” АЖнинг 2020 йил 2 мартдаги 01/875-20-сонли маълумотномаси). Натижада таклиф этилаётган усул бўйича лойиҳаланадиган саралаш тепалигининг баландлиги мавжуд усуллар бўйича олинган натижаларга нисбатан 27% га пасайтирилиши асосланган, тезланиш ва тормозланиш участкалари нишаблигини тўғри танлаш, бажариладиган манёвр ишларига сарфланадиган вақт ва ёнилғини қисқартириш имкони яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 7 та илмий-амалий анжуман ва семинарлар, шу жумладан, 3 та халқаро SCOPUS базасига кирадиган ҳамда 4 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган, шунингдек кафедралараро кенгайтирилган семинарда баён қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 26 та илмий иш чоп этилган бўлиб, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 12 та мақола, жумладан 6 та хорижий ва 4 та маҳаллий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 120 бетни ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида тадқиқот мавзусининг долзарблиги асосланган, изланувчи томонидан ҳал этиладиган вазифалар белгилаб берилган. Бундан ташқари, ишнинг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти асосланган.

Диссертациянинг **“Саралаш станцияларини ривожлантириш истиқболлари ва ҳолати”**, деб номланган биринчи бобда саралаш тепалиги билан жиҳозланган техник станцияларнинг жорий ҳолати тадқиқ қилинган.

Саралаш тепалигининг баландлигини мавжуд усулда ҳисоблаш бўйича адабиётлар манбаларининг таҳлили бажарилди. Кўрсатилган муаммолари мавжуд бўлган ишлаб чиқаришнинг дунё тажрибаси тадқиқ этилган, шунингдек, Ўзбекистон темир йўлларидаги саралаш станцияларнинг замонавий ҳолатининг масалалари кўриб чиқилган.

Ушбу бобда тепаликнинг тезланиш участкаларидаги ғилдирак жуфтликларнинг сирпанишларисиз бўлган думаланиши содир бўлганлиги, математик ифодалар ва уларни ҳисоблаш мисоллари билан исботланган. Шунингдек, тормозланиш зонасидаги тормозлаш позициянинг участкаларида ғилдиракларнинг рельслар бўйича соф сирпаниши юзага келганлиги белгиланди.

Тепалик профилининг барча тезланиш участкаларида, шунингдек иккинчи саралаш йўлининг участкасида рельс чизиғининг думаланиш юзасига нисбатан ғилдирак жуфтлигининг урунма нуқтаси  $P$  нинг соф сирпаниш ҳодисаси баён этилган. Шунингдек *инкор қилиб бўлмайдиган воқелик*, ғилдиракларнинг сирпанишларисиз бўлган думаланиш ҳодисаси рўй беради.

Назарий механиканинг асосий қоидаларини қўллаган ҳолда, тормозлаш позицияси участкаларида айланувчи қисмларнинг (ғилдирак жуфтликлари) инерция моментини ҳисобга олиш ноаниқлиги ва тепаликнинг тезланиш участкаларида вагон ғилдиракларининг масса марказини айланишини инобатга олинмасдан ҳисобларни бажариш мумкинлиги асосланган. Саралаш тепалигининг тезланиш участкаларининг ҳисобларини бажаришда, вагоннинг айланувчи қисмларининг инерция моментининг таъсирини ҳисобга олиниши шарт эмаслиги исботланган.

Саралаш тепалигидаги тормозлаш позицияларида вагон ҳаракати жараёнининг умум қабул қилинган тушунчасидан фарқли, саралаш тепалигининг участкаларида ғилдирак жуфтлиги сирпанишининг исботлари ва тепаликнинг профили бўйлаб вагоннинг айланувчи қисмларининг инерциясини ҳисобга олиш мумкин эмаслиги келтирилган. Шунга кўра, муҳандислик механикасининг оддий тушунчаларига таянган ҳолда, саралаш тепалигининг тормозлаш позициялари участкаларида вагон секинлатгичлар ишга туширилганда вагон ғилдирак жуфтликларининг сирпаниш ҳодисаси математик изоҳлари ушбу диссертация ишида келтирилган.

Тадқиқотнинг **“Саралаш тепалигида ҳаракатланадиган вагоннинг назарий ҳолатларини таҳлили ва ҳисоблари”** номли иккинчи бобда саралаш тепалиги қиялигининг мавжуд назарий қоидаларини мақола муаллифларининг қарши далилларини эътиборга олган ҳолда танқидий баҳолари келтирилган, математик ифодалар ёрдамида жисмнинг айланувчан масса инерциясини эътиборга олган ҳолда эркин тушиш тезлиги формуласи бўйича ноидеал нишаб текислик бўйича жисм (вагон) ҳаракати тезлигини аниқлаш ифодасида камчиликлар бор эканлиги аниқланган.

Вагон ғилдираклари ҳаракатланишининг муҳандислик вазифасини ҳисобининг инерциал тизими учун Даламбер тамойилини қўллаш орқали ҳал этиш натижалари келтирилган, бунда эса ўз навбатида ғилдираклар

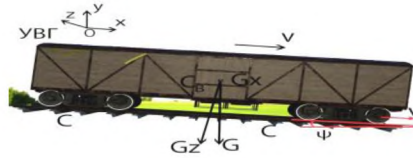
ҳаракати тенгламаси тузилмасдан туриб, ғилдиракка тушадиган кучлар ва Даламбер инерция кучлари мувозанати тенгламаси ёзилган. Мисол келтирилган ҳисоблашда ғилдирак бир вақтнинг ўзида ҳам сирпаниши, ҳам ҳаракатланиши имкониятининг мавжуд эмаслиги кўрсатилган. Шунингдек, ғилдиракларнинг ҳаракатланиши вагон ғилдирак жуфтликларининг қаттиқ жисм каби текис параллель ҳаракатининг дифференциал тенгламасини тузиш ва инерция кучларини асосий вектор ва асосий моментига бирлаштириш ёрдамида ўрганилган. Ҳисобланган маълумотлар натижалари, вагоннинг қияликнинг тушиш қисми бўйлаб ҳаракатида вагон ғилдирак жуфтликлари рельслар юзаси бўйлаб ҳаракатланишида соф ҳаракатланиш шароитларига амал қилинади. Бу эса ўз навбатида воқеликка мос келади ва муҳандислик механикасининг ғилдираклар ҳаракатланиши назариясига зид эмас.

Диссертация ишида рельснинг ғилдиракка таъсири (ёки ғилдиракка нисбатан идеал бўлмаган таъсир) туфайли ҳаракатланиб ишқаланиш momenti (лаҳзаси)нинг намоён бўлиш сабаблари аниқланган ва ғилдиракнинг рельс бўйлаб ҳаракатланишининг вужудга келмаслиги шароити аниқланган. Унда якуний таҳлилий формула ва ҳисоблашлар мисоллари ёрдамида саралаш тепалиги қиялигининг тормозланиш вазияти қисмларининг тормозланиш зоналарида вагон ғилдирак жуфтликлари сирпаниши содир бўлиши исботланган. Мазкур сабаб туфайли вагоннинг тормозланиш вазияти қисмларида сирпаниш тезлигини айланувчи қисмлар инерциясини эътиборга олган ҳолда жисмларнинг эркин тушиши формуласига кўра аниқлаш хато ҳисобланади.

Ғилдиракларнинг сирпанишсиз ҳаракатланиши, ишқаланиш кучи мавжуд бўлмаган ҳолатда сирпаниш билан бирга ҳаракатланиши ва йўл профилининг тезювар қисмларида ғилдиракларнинг сирпаниш билан бир вақтдаги ҳаракатланиш имкониятларининг таҳлилий статикаси ҳақидаги мулоҳазалар келтирилган.

Ғилдиракларнинг ишқаланиш кучи мавжуд бўлмаган ҳолатда (идеал алоқа мавжуд бўлганда) ғилдиракларнинг сирпаниш билан бирга ҳаракатланиш имкони мавжуд эмаслигининг ва ғилдираклар йўлнинг тезювар профили қисмларида ноидеал алоқалар кўринишидаги сирпаниш билан биргаликдаги ҳаракатланиш имконияти ва тормозланиш вазияти қисмларида ғилдираклар жуфтлиги сирпанишининг математик исботини келтириб ўтаемиз.

Қабул қилинган эҳтимоллар айтайлик, оғирлик кучи  $G$  бўлган вагон бир чизиқли рельс (ноидеал юзага эга бўлган қия текислик каби) бўйлаб текис параллель ҳаракатланмоқда. Вагоннинг илгариланма ҳаракатида унинг ғилдирак жуфтлиги рельс бўйлаб унинг марказининг тезлиги  $v_C$  нинг тезлиги нолга тенг эмас, яъни  $v_C \neq 0$  (1-расм) ҳолатида  $G$ нинг  $C_{ox}$  (яъни,  $G_x = G \cos \psi$ ) ўқиға проекцияси таъсири остида сирпанишсиз ҳаракатланиши (ва/ёки думалаши) содир бўлади, деб ҳисоблаймиз.



1-расм. Вагоннинг рельс бўйлаб ҳаракати схемаси

1-расмда куйидагилар кўрсатилган:  $G$  – юк ортилган вагоннинг оғирлик кучи;  $O_{x'y'z'}$  – координаталари қияликнинг шартли чўққисида (ҚШЧ) жойлашган координаталарнинг қўзғалмас тизимлари;  $A$  ва  $B$  – вагоннинг ҳаракатланиш эҳтимоли мавжуд бўлган ўзгармас нуқталар;  $C_{exyz} - C_{\sigma}$  вагон оғирлиги марказида жойлашган координаталарнинг ҳаракатланувчи тизимлари;  $P$  – ғилдираклар жуфтлигининг рельс билан тўқнашиш ва/ёки тегиш нуқтаси;  $C$  – ғилдирак жуфтлигининг оғирлик маркази;  $C_{кб}$  – вагоннинг ғилдиракли базаси маркази;  $v$  – вагоннинг кўчма олдинга интилувчи тезлиги;  $v_C - C$  ғилдираклар жуфтлигининг инерция маркази тезлиги, ваҳоланки  $v_C = v$ ;  $\tau$  – ғилдиракнинг ва рельснинг айлана кўринишидаги траекториясига тегишли умумий уринма;  $\psi$  – йўл профилининг қиялик бурчаги.

Иккита ғилдирак жуфтлигининг  $C$  инерция маркази вагон ғилдиракли базасининг  $C_{\sigma}$  марказида жойлаштирилганлигини эътиборга оламиз.  $C_{exz}$  координаталарнинг қўзғалувчан ўқининг боши  $C_{\sigma}$  вагон оғирлиги марказига мос келувчи инерция марказида жойлашган, деб тахмин қиламиз. Вагон ғилдирак жуфтлигининг таъсири ва мувофиқ равишда  $C_z$  ўқи ва  $C_{oxy}$  майдонга нисбатан ёнбош оғишини эътиборга олмаймиз.  $r$  радиусга эга бўлган ғилдираклар жуфтини  $C_{exz}$  майдондаги ҳаракати, шунингдек, вагон ҳаракатига турли кўринишдаги таъсирларни  $F_c$  кўриб чиқамиз (асосий  $\omega_o$ , ҳаво муҳити ва шамол  $\omega_{ce} = \omega_{ce}$ , миллир  $\omega_{млл}$ , эгри чизиклар  $\omega_{кр}$ , қор ва киров  $\omega_{ch}$ ). Вагон қиялик нишаблиги бўйлаб оғирлик кучи  $G_x$  нинг  $C_{ex}$  ўқга нисбатан проекцияси таъсири остида ҳаракат қилади, деб ҳисоблаймиз, бироқ, зарурат туғилганда ҳамроҳ шамол ва/ёки қарама-қарши эсаётган шамолнинг кичик катталигининг  $F_{e,x}$  ўқга нисбатан проекциясининг эътиборга олиниши ҳам инкор қилинмайди.

Вазифа ифодаси  $a_C$  ғилдираклар жуфтлигининг  $C$  инерция марказининг тезлашишини топиш (демак,  $a$  вагоннинг илгариланма ҳаракатидир, ваҳоланки  $a = a_C$ ) ва вагон ғилдираклар жуфтлигининг рельсларга нисбатан  $F_{тр.к}$  ҳаракатланишини ишқаланишни эътиборга олган ҳолда сирпанишсиз ҳаракатланиш эҳтимоли мавжуд бўлган шартни ёзиб олиш, шунингдек, ғилдирак жуфтликлари бир вақтнинг ўзида ноидеал алоқа сифатидаги йўл профили бўйича ҳаракатланиши ва сирпаниши шартларини аниқлаш талаб этилади.

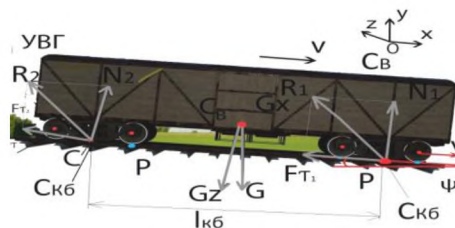
Вагон ғилдираклари жуфтлигининг қаттиқ жисм (вазифани ҳал этиш) текис параллель ҳаракатининг математик моделини куриш. Муҳандислик вазифасини ечишни икки усул ёрдамида бажарамиз:

1-усул, вагон ғилдирак жуфтликларининг қаттиқ жисм сифатидаги текис параллель ҳаракатининг дифференциал тенгламаларини тузиш ва инерция кучларини асосий вектор ва асосий моментга мослаштириш йўли билан;

2-усул, инерциал санок тизими учун Даламбер тамойилини қўллаш йўли билан.

Масалани ҳал этишнинг 1-усули. Геометрик статика боғлиқликларидан озод бўлиш тамойилини қўллаган ҳолда вагоннинг ноидеал нишаб текислик бўйлаб ҳаракатининг ҳисоблаш схемасини қурамиз, сўнгра, ноидеал боғланишларни (рельсларни) олиб ташлаган ҳолда уларнинг таъсирини  $N_1, N_2$  меъёрий таъсир ва  $R_1$  ва  $R_2$  (2-расм) алоқалар (рельслари) реакциясининг тегишлилигига кўра  $F_{\tau 1}$  ва  $F_{\tau 2}$  таркибий қисмлар билан алмаштирамиз.

2-расмда белгилар қабул қилинган, фақат қуйидагилардан ташқари:  $N_1, N_2$  ва  $F_{\tau 1}, F_{\tau 2} - R_1$  ва  $R_2$  алоқалар реакцияларининг меъёрий ва тегишли таркибий қисмлар ва 1ғб вагон ғилдираклар асосининг марказлари билан мос келувчи  $C_{зб}$  нуқталарига шартли равишда тадбиқ қилинган таркибий қисмлар.



2-расм. Вагон ҳаракатининг йўл профили бўйлаб ҳисоблаш схемаси

Асосий эҳтимоллар. Айтайлик,  $R$  алоқалар реакциясининг  $N$  меъёрий ва  $F_{\tau}$  тааллуқли таркибий қисмлар шартли равишда  $C_{зб}$  вагон ғилдиракли асоси марказига тадбиқ қилинган (2-расмга қаранг). Шу билан бирга,  $N_1$  ва  $N_2$  алоқлар реакциясининг меъёрий таркибий қисмлари мувофиқ равишда бир бирига тенг.

$$N_1 = N_2 = G_{z/2} = G \cos \psi / 2,$$

$F_{\tau 1}$  ва  $F_{\tau 2}$  тааллуқлилигига кўра таркибий қисмлар Кулон қонунига кўра:

$$F_{\tau 1} = F_{mp1} \leq f_{N1} \text{ ва } F_{\tau 2} = F_{mp2} \leq f_{N2}$$

$f$  ни эътиборга олган ҳолда, ғилдираклар жуфтлиги ҳаракатланиш доиралари ва рельслари юза қисмлари орасидаги ҳаракат давомида сирпаниш натижасидаги ишқаланиш коэффициентини: ( $f = 0,15 \dots 0,25$ ).

Акс ҳолда, алоқалар реакциясининг меъёрий таркибий қисми  $N = 2N_1 = G \cos \psi$  га, тааллуқли бўлган таркибий қисмлар  $F_{\tau} = 2F_{mp} = 2fN = fG \cos \psi$  га тенг.

Шу билан бирга, вагон ғилдираклари учун ишқаланиш кучи  $F_{\tau} = F_{mp}$  ғилдирақлар инерцияси маркази  $C$  тезлик  $v_C$  га қарама-қарши йўналтирилган (бунда  $v_C \neq 0$ ) ва  $F_{mp}$  ишқаланиш кучи  $P$  нуқталарда ғилдирақларга тадбиқ қилинган. Демак, вагоннинг ғилдирақ жуфтликлари уларнинг сирпанишсиз ҳаракатланиши жараёнида ноидеал нишаб текисликда текис параллель ҳаракат қилади.

Ҳаракатланаётган ғилдирақ жуфтлигининг бурчак тезлиги  $\omega = \omega$  унинг нисбий ҳаракатини ифодалашини эътиборга олган ҳолда айтиш мумкинки,  $C_{y1}$  ўқ атрофида (ва/ёки  $C$  нуқта атрофида) вагоннинг айланиш бурчаги  $\varphi$  бўлган ғилдирақ жуфтлигининг айланиши содир бўлади, деб ҳисоблаш мумкин.

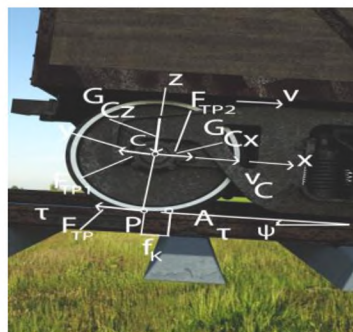
Маълумки,  $\omega$  ғилдирақ жуфтлигининг айланувчи ҳаракатдаги бурчак тезлигидир. Ҳаракатчан ўқлар  $C_{x1y1z1}$  тизими билан қатъий боғлиқ ғилдирақлар жуфтлигининг ҳаракатида ғилдирақлар жуфтлиги ўқлари ва ўз навбатида кўзгалмас ўқлар тизими  $C_{xlylzl}$  билан қатъий боғлиқ бўлган рельслар (3-расмга қаранг) ўртасидаги масофа доимий (ўзгармас) (яъни,  $r = \text{const}$ ) бўлиб қолади.

Ечиш усуллари. Вагон ғилдирақ жуфтлигининг ҳаракати каттик жисм кинематикасига мувофиқ жисмнинг олға интилувчи мустақил ҳаракати тамойили ва унинг текис параллель ҳаракати ҳолатидаги айланиши каби иккита ҳаракатга ажратиш мумкин:

биринчидан, бошланғич нуқтаси ғилдирақлар жуфтлигининг  $C$  инерцияси марказида жойлашган  $C_{x1}$  ўқларининг илгариланма ҳаракатланувчи координаталари билан бирга кўчма илгариланма ҳаракатига;

иккинчидан,  $C$  инерция маркази орқали ўтувчи  $C_{x1}$  ўқи атрофида нисбий айланма ҳаракатга ажралади.

Ҳаракатланиш вазиятида  $M_k$  ишқаланиш моментининг вужудга келишини икки усул ёрдамида изоҳлаб ўтамиз. Механиканинг боғлиқликлардан озод бўлиш тамойилига мувофиқ  $A$  нуқта (3-расм) атрофидаги қирра майдонини эътиборга олмаган ҳолда ушбу нуқта атрофида ғилдирақка рельснинг ноидеал алоқаси  $R$  реакцияси таъсир кўрсатади.



3-расм. Ғилдирақнинг рельс бўйлаб сирпанишсиз ҳаракатланишининг шартли схемаси

3-расмда қуйидагилар белгиланган:  $C$  – ғилдирак оғирликларининг маркази;  $C_{xyz}$  –  $C$  ғилдирак инерцияси марказида жойлашган координаталарнинг ҳаракатланувчи тизимлари;  $GC_x$  ва  $GC_z$  –  $C$  ғилдирак оғирлиги марказига қўйилган  $G$  юк билан вагон оғирлигини ташкил этувчи қисмининг саккиздан бир қисми проекцияси;  $v_C$  – ғилдиракнинг  $C$  инерция маркази тезлиги, бунда  $v_C = v$ ;  $P$  – ғилдиракнинг рельсга тегиши ва/ёки рельс билан тўқнашиш нуқтаси;  $N$  ва  $F_\tau$  – ноидеал алоқа реакциясининг меъёрий ва уринма таркибий қисми  $R$ ;  $\psi$  – йўл профили нишаблиги бурчаги;  $A - R$  алоқа реакциясининг  $N$  меъёрий таркибий қисми қўлланган нуқта;  $f_k$  – ҳаракатланишга қаршилик қилиш коэффициенти ва/ёки ҳаракатланишда ишқаланиш коэффициенти (одатда вагон ғилдираклари учун  $f_k = 0,005 \cdot 10^{-2}$  м;  $F_{mp1} = F_{mp}$  ва  $F_{mp2} = |F_{mp}|$  – модулга кўра тенг, бироқ  $C$  нуқтага қўйилган ишқаланиш кучи йўналишига қарама қарши).

Вагон ғилдиракларининг қиялик нишаблиги бўйича ҳаракатланиши даврида содир бўладиган  $M_k$  ишқаланиш моментининг вужудга келиши сабабларини аниқлаш бўйича мазкур тадбиқий вазифани ечишнинг қуйидаги икки усулини намойиш қиламиз.

1-усул. 1-расмда ифодаланган  $N$  ва  $F_\tau = F_{mp}R$  алоқасининг айнан бир реакциясининг таркибий қисми бўлиши мумкинлигини, бироқ бир биридан  $f_k$  масофага силжиган бўлиши мумкин ва кейинчалик ушбу масофа ҳаракатланишда ишқаланиш коэффициенти деб номланган.

Учта куч тизими ( $N$ ,  $F_{mp}$  ва  $R$ ) мувозанатда бўлиши билан бир қаторда ушбу кучлар ҳаракат чизиқлари битта нуқтада, масалан ғилдирак ўқиға мос келувчи  $C$  нуқтада кесишиши зарур.

Бу эҳтимол фақатгина  $F_{mp} = G_x C$  мувозанат ҳолатида мавжуд бўлиши мумкин. Бундан кўриниб турибдики,  $G_x C$ ,  $N$  ва  $R$  кучлардан қурилган кучга оид учбурчак аввалдан маълум бўлган  $G_x C$  ва  $N$  йўналиш бўйлаб ҳаракатланганда ёпиқ учбурчакка айланиб қолади.

Баён қилинган мулоҳазалар механиканинг учта нопараллель кучлар ҳақидаги теоремага тўлиқ мос келади (агар битта текисликда жойлашган [яъни, ғилдирак майдонида] учта куч ўзаро мувозанатда бўлган ва нопараллель бўлган учта куч мавжуд бўлса, ушбу кучларнинг ҳаракат чизиғи битта нуқтада кесишади).

$M_k = Nf_k$  моментда вужудга келган кучлар жуфтлигининг ( $G_z C$ ,  $N$ ) (3-расмга қаранг), юқорида кўриб чиқилган айланиш йўналишига кўра қарама-қарши бўлган  $M_{mp} = G_x C \cdot r$  моментига эга бўлган ( $F_{mp}$ ,  $G_x C$ ) кучлар жуфтлигига таъсири ғилдиракни мувозанатга келтириши мумкин.

2-усул. Рельснинг ғилдиракка  $M_k$  ҳаракатланиш вақтидаги ишқаланиш momenti кўринишидаги таъсири ғилдиракнинг ҳаракатланишига тўсқинлик қилиши мумкин.

Шуни таъкидлаш лозимки,  $a$  вагоннинг нишаб текислик бўйлаб ҳаракатининг тезлашиши саралаш тепалиги қиялигининг тормоз вазияти майдони учун аниқланмаган, қияликнинг бошқа қисмлари учун ноаниқ



кўринишда формуланинг қискартирилган кўринишида ва формула ёрдамида топиш мумкин. Шу сабабли  $a$  вагон ҳаракатининг тезлашиши ноидеал алоқа учун Даламбер тамойили асосида топилган, ҳаракат тезликлари эса идеал алоқа учун одатда қабул қилинган  $v_0 = 0$  бошланғич тезликни эътиборга олмаган ҳолда  $v_h = \sqrt{2g'h}$  ва  $v_l = \sqrt{2al}$  формулалар ёрдамида ҳисобланган.

Бирок, вагоннинг қиялик профили бўйлаб сирпаниб тушишини ҳисоблашда  $v_{hi} = v_{oi}$  бошланғич тезликни эътиборга олмасликка йўл қўйиб бўлмайди (яъни,  $t = 0$  бошланғич моментидаги тезлик), чунки ҳар бир  $i$  қисмда вагон  $v_{hi}$  тезлик билан ҳаракат қилади.

Агар тормоз вазиятлари майдонларининг (ТВ) тормозланиш зоналарида (ТЗ)  $v_{hi} = v_{oi} = 0$  бўлса, у ҳолда мазкур қисмларда вагоннинг ҳаракатланиш имконияти мавжуд эмас.

Бундан келиб чиқадики, қияликни ҳисоблаш масалаларида келтирилган бошланғич тезлик  $v_{hi} = v_{oi} = 0$  нолга тенглик ҳақидаги эҳтимолларни қабул қилишнинг нотўғрилигини исботловчи вагон ҳаракатининг табиати бошланғич тезлик катталигига боғлиқ эканлиги яққол кўриниб туради. Бу  $2g'h_t$  кўринишидаги формулада ҳисобланувчи илмийликка қаршилик сабабларидан бири ҳисобланади.

Аввалдан айтиш мумкинки, қияликнинг тормоз вазиятлари (ТВ) қисмлари учун хос бўлган  $a < 0$  тезлаштириш катъий тенгсизликларда (бирламчи тормоз вазияти (1ТП) қисми учун  $l = 29$  м да  $a = -2,027$  м/с<sup>2</sup>), вагон ҳаракати тезлигини  $v = \sqrt{2al}$  формула бўйича ҳисоблашда комплекс натижа кўринишидаги нотўғри хулоса вужудга келади (мисол учун 1ТВ қисмига қаранг):

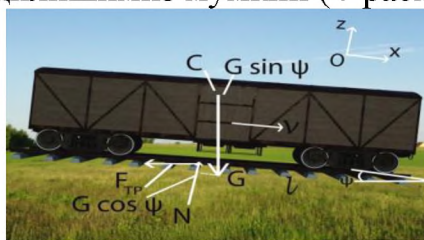
$$v = I(v) = i\sqrt{2al} = 10,8436i,$$

бунда 10,843 –  $v$  сонларнинг фараз қилинган қисмлари ( $i$  – фараз қилинган бирлик, чунки  $i^2 = -1$ ).

Таъкидланишича, муҳандислик механикасидаги *ноидеал алоқалар* учун “ҳаракатнинг бир текисда тезлаштирилган ҳаракати учун қўлланиладиган формулалари” ҳақидаги фикрлар *нотўғри*. Бундан қуйидаги ҳақли фикр келиб чиқади.

2-фикр. Жисмнинг вертикал бўйлаб эркин тушиш тезлигини аниқлаш формуласи  $v = \sqrt{2g'h}$  (1) жисмнинг дастлабки тезлигини эътиборга олмаган ҳолда *ноидеал (шиқаланиш билан бирга)* нишаб текислик бўйича ҳаракатланишсиз сирпаниш тезлиги формуласига  $v_{\text{ноид.}} = \sqrt{2a_{\text{ноид.}}l}$  тенг эмас (бунда,  $a_{\text{ноид.}}$  – жисмнинг ноидеал нишаб текислик бўйлаб ҳаракатини тезлаштириш), шу сабабли ноидеал алоқа учун *мазкур формулаларнинг тенг эмаслигига амал қилинади*, яъни  $v \neq v_{\text{ноид.}}$  ёки  $\sqrt{2g'h} \neq \sqrt{2a_{\text{ноид.}}l}$ .

Асос. Ўхшаш тарзда, вагон (жисм) *ноидеал (ишқаланиш) нишаб* текислик бўйлаб бошланғич тезликсиз  $v_0$  (яъни,  $v_0 = 0$ ) айланувчан қисмларнинг (ғилдирак жуфтлиги) инерциясини эътиборга олмаган ҳолда ҳаракатланади, деб қабул қилишимиз мумкин (4-расм).



4-расм. Юкланган вагоннинг ноидеал нишаб текислик бўйлаб ҳаракати

4-расмда куйидагилар белгиланган:  $\psi$  ва  $l$  – ноидеал нишаб текислик (қиялик профили) нишаблиги ва узунлиги;  $C$  – жисм оғирлик маркази (масалан, юкланган вагон);  $G$  – юкланган вагон оғирлик кучи;  $O_{xz}$  – танлаб олиниши ҳисоблаш ва математик модел куришнинг зарурий шарти бўлган координаталар ўқи;  $G \sin \psi$  и  $G \cos \psi$  –  $O_x$  ва  $O_z$  ўқларидаги оғирлик кучи проекцияси;  $F_{тр}$  –  $v$  ҳаракат тезлигига тесқари йўналтирилган ишқаланиш кучи.

Шунингдек, назарий механиканинг алоқалардан озод бўлиш (ноидеал текислик) (геометрик статика аксиома) тамойилига кўра, моддий нукталарнинг эркин бўлмаган тизимини  $F$  берилган кучлар ва  $R$  алоқалар реакцияси таъсири остида ҳаракатланувчи эркин тизим сифатида ифодаланиши ҳам тегишли фарқ ҳисобланади. Алоқаларнинг таъсирини меъёрий  $N$  ва уринма  $F_\tau = F_{тр}$  ни  $R$  алоқа реакциясининг таркибий қисми билан алмаштирилади.

Айтайлик, жисм ва нишаб текислик ўртасида ишқаланиш коэффициентини  $f$  мавжуд. Бунда ноидеал юза учун  $A_N$  ва  $A_{F_\tau}$  ишни,  $N = G \cos \psi$  ни эътиборга олган ҳолда  $R$  алоқа реакциясини таркибий қисмининг  $N$  меъёрий ва  $F_{тр}$  учун қайд қилиш лозим ва Кулон қонунига кўра

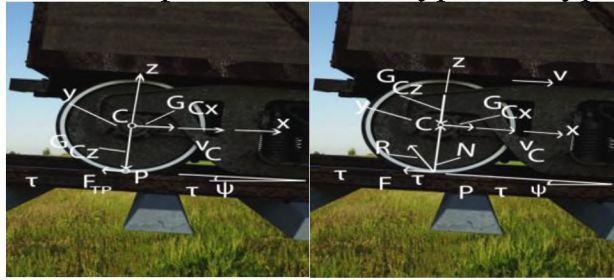
$$F_{тр} = f_{тр} N = f_{тр} G \cos \psi, \quad (1)$$

Шунингдек,  $G$  оғирлик кучи проекциясининг  $O_x$  ўқи бўйлаб  $A_{G_x}$  ишини эътиборга олган ҳолда:

$$G_x = G \sin \psi. \quad (2)$$

Бирок,  $N$  кучнинг  $A_N$  иши кўчиб ўтишга  $A_N = 0$  перпендикуляр эканлигини эътиборга оладиган бўлсак, вагоннинг кўзгалмас ноидеал (ишқаланиш билан) юза бўйлаб  $\vec{v}$  нукта тезлигига қарама қарши йўналтирилган ҳаракатида  $F_\tau = F_{тр}$  ишқаланиш кучи  $A_{F_\tau}$  иши салбий белгига эга, чунки  $\cos(\vec{F}_{тр}, \vec{v}) = -1$ .

Рельслар бўйлаб сирпаниш мавжуд бўлмаганида (*кейинги ўринларда – рельслар бўйлаб сирпанмайдиган ғилдирак*) ғилдиракларнинг ҳаракатланиши сабабини батафсил изоҳлашга уриниб кўрамиз (5-расм).



5-расм. Ғилдиракнинг рельс бўйлаб сирпанишсиз ҳаракатланиши схемасига тегишли равишда

5-расмда куйидагилар келтирилган:  $C$  – ғилдирак оғирлик маркази;  $C_{xyz}$  –  $C$  ғилдирак инерцияси марказида жойлашган координатанинг ҳаракатчан тизимлари;  $G_{xC}$  ва  $G_{zC}$  –  $C$  ғилдирак оғирлик марказига қўйилган  $G$  юкланган вагон оғирлик кучининг таркибий қисмларининг саккиздан бир қисми проекцияси;  $v_C$  –  $C$  ғилдирак инерцияси маркази тезлиги, бунда  $v_C = v$ ;  $P$  – ғилдиракнинг рельсга тегиш ва/ёки бир бирига тегиш нуқтаси;  $\tau$  – айлана каби, рельснинг ҳам ғилдирак траекториясига умумий уринмаси;  $N$  ва  $F_\tau$  –  $R$  (рельснинг) ноидеал алоқа реакциясининг меъёрий ва уринма таркибий қисми  $R$ ;  $\psi$  – йўл профилининг нишаблик бурчаги.

Тадқиқотнинг “**Саралаш тепалигининг профилида вагон ҳаракатланишидаги ҳаво қаршилиги формуласини математик асослаш**” номли учинчи бобида саралаш тепалиги қиялигининг нишаблик бўйлаб вагон динамикаси муаммоси ўрганилган. Баён қилинган ҳаво қаршилиги формуласининг нотўғрилигини муҳокама қилишда давом этар эканмиз, вагон ҳаракатига ҳаво муҳити ва шамолга  $\omega_{св}$  (ёки  $w_{вс}$ ), уларнинг йўналишини вагоннинг тезкор ҳаракатига имконият яратувчи (ортдан эсувчи шамол) ёки вагон ҳаракатига қаршилик кўрсатувчи (қарама-қарши шамол) қаршилик қилувчига ажратиш йўли билан ҳамроҳ ва/ёки қарама-қарши шамолларни мувофиқ равишда “манфий” ва/ёки “мусбат” белгилар билан қайд қилинганлигини таъкидлаб ўтиш лозим.

Ҳисоблаш натижалари ёрдамида формулалар бўйича қияликни мавжуд методика бўйича ҳисоблашнинг нотўғрилигини исботлаш. Амалий масалани ҳал этиш қарама-қарши шамол ҳолатида тригонометрия формуласи ёрдамида ифодаланган.

Масалани ечишнинг математик таърифи

1. Тенгликнинг нотўғрилигини исботлаш мақсадида косинуслар теоремасини *қарама-қарши шамол ҳолатида* (6-расмнинг *чап қисмидаги*  $\Delta AB_1C_1$  га қаранг) формулага ўхшаш тарзда куйидаги кўринишда ифодалаймиз:

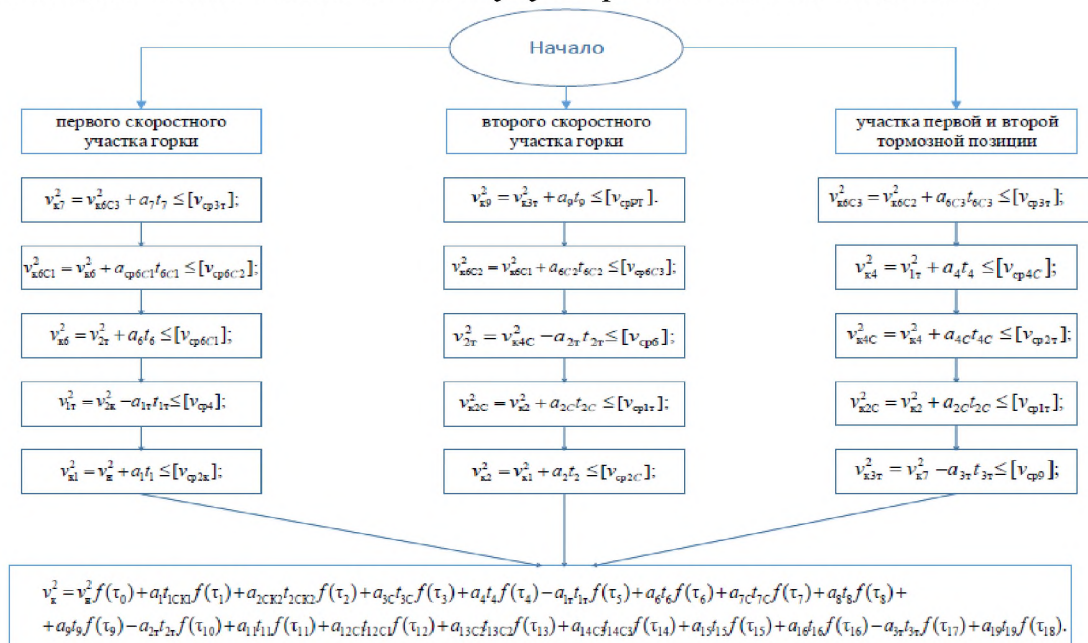


таъкидлаш мумкин ва айнан *формулани ноаниқлигини исботлаш талаб этилган.*

Тадқиқот натижаларидан темир йўлларда саралаш курилмаларини лойиҳалаш ва вагонни саралаш тепалигидан силжитиш динамикаси тавсифига тузатишлар киритиш бўйича меъёрий-техник ҳужжатга ишлов беришда фойдаланиш мумкин. Мавжуд вагон ҳисоб-китоблари ва тадқиқотлари шуни кўрсатдики, ҳозирги вақтда роликли подшипникларда жуда кам югурувчи сифатидаги 4 ўқли вагон мавжуд бўлиб, унинг асосий қаршилиги 3,9 кгс/тс ни ташкил этади.

Тадқиқотнинг **“Саралаш тепалигининг қайта ишлаш қобилиятини ошириш бўйича тавсияларни ишлаб чиқиш”** номли тўртинчи бобида саралаш тепалигининг вагоннинг ҳаракати текширилиб, саралаш тепалиги профилининг бутун узунлиги бўйлаб вагон ҳаракатининг математик умумлаштирувчи модели ишлаб чиқилган. Вагонни саралаш тепалигининг профиль бўйлаб, ундаги ҳолатига қараб ҳаракатлантиришнинг алгоритми қурилди. Саралаш тепалигининг лойиҳалаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди. Саралаш тепалигининг қияликларини такомиллаштирилган ҳисоблаш ва лойиҳалаш алгоритмлари тақлиф этилади, уларнинг дастурий таъминоти ҳамда улардан фойдаланиш бўйича кўрсатмалар темир йўл транспортини лойиҳалаш институтларида амалга оширилди;

Вагонларнинг саралаш тепалиги йўналиши бўйлаб ва турли шароитларда ҳаракат алгоритми ҳамда саралаш станцияларини ҳисоблаш ва лойиҳалашнинг тавсия этилган усуллари ҳам ишлаб чиқилган.



7-расм. Саралаш тепалигининг қиялиги бўйлаб вагон ҳаракатини алгоритми

Саралаш тепалиги учун илмий асосланган техник ва технологик ечимларни амалга ошириш натижаси – иқтисодий самара қуйидаги асосий,

Энг муҳим омилларга боғлиқ: ер қурилиш ишларини камайтириш; тепалик изларининг узунлигини камайтириш; кераксиз манёвр ишларини камайтириш, шунингдек, ёнилғи сарфини камайтириш. Энг муҳим омиллардан келиб чиққан ҳолда умумий харажат тежалиши 200 млн. сўмни ташкил этди. Таклиф этилаётган методикани амалга оширишнинг интеграллашган самараси 566 млн. сўмни ташкил этди. Бир хил шароитда қайтишнинг ички даражаси 0,8 ни ташкил этади. Рентабеллик кўрсаткичи 6,6 тенг, оқлаш муддати 2 йилни ташкил этади.

## ХУЛОСА

Шундай қилиб, муаллифлик диссертацияси тадқиқотлари асосида куйидаги натижалар олинди:

1. Назарий механиканинг классик қоидаларига асосланиб, ғилдиракларнинг контакт  $P$  нуқтасининг саралаш тепалик профилининг барча юқори тезликли участкаларида темир йул рельслари думалаш сиртларига нисбатан сирпанмаслиги тушунтирувчи элементар сонли аналитик формулалар олинади.

2. Назарий механиканинг геометрик статикасининг мувозанат шартига кўра, рельснинг ғилдиракка таъсири (ёки ғилдиракка номукамал уланиш реакцияси) туфайли думалаб ишқаланиш моментининг пайдо бўлиш сабаблари аниқлаштирилди ва рельс устида ғилдиракнинг думалаб кетмаслик шarti аниқланди.

3. Яқуний аналитик формулалар ва ҳисобларга доир мисоллар шуни исботладики, саралаш тепалигининг тормозланиш бўлимларида тормозланиш вақтларида вагон жуфтларининг ғилдираклари рельсларга нисбатан сурилади. Шу сабабли вагоннинг тормозланиш ўринлари кесимларидаги сурилиш тезлигини айланувчи қисмларнинг инерсиясини ҳисобга олган ҳолда жисмларнинг эркин тушиш формуласи бўйича аниқлаш нотўғри.

4. Амалий кўллаш учун қулай бўлган шаклда саралаш тепалигининг хар бир участкаси учун вагоннинг тезликлари формулалари келтирилган.

5. Ўзгаришлар ва тузатишлар киритилгандан сўнг, саралаш тепалигининг исталган нуқтасидан пастга думалаб тушаётган битта вагоннинг босиб ўтган йўлининг вақти, тезлиги ва узунлигини аниқлаш имконини беради ҳамда саралаш тепалигининг оптимал баландлигини танлашга ёрдам беради.

6. Вагонларнинг бўш вақтини ратификация қилиш туфайли ортикча манёвр ишлари сезиларли даражада қисқаради, шунингдек, юкларнинг хавфсизлиги ва сифати таъминланади, бир саралаш станцияни йиллик иқтисодий самарадорлиги 200 миллион сўмни ташкил этади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.15/30.12.2019.Т.73.01 ПО РИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**  

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ  
УНИВЕСИТЕТ**

**ДЖАББАРОВ ШУХРАТ БАТИРОВИЧ**

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КАЧЕНИЯ И СКОЛЬЖЕНИЯ  
КОЛЕС ВАГОНА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

**05.08.03 – Эксплуатация железнодорожного транспорта  
05.08.05 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и  
электрификация**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2021**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2021.4.PhD/Т1215.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научные руководители:**

**Туранов Хабибулла Туранович**

доктор технических наук, профессор  
**Илесалиев Дауренбек Ихтиярович**  
DSc., доцент

**Официальные оппоненты:**

**Даусеитов Ерген Балгаевич**

доктор технических наук, профессор  
**Валиев Мухаммад Шералиевич**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова**

Защита диссертации состоится « 4 » 12 2021 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.15/30.12.2019.Т.73.01 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: [tstu\\_rektorat@mail.ru](mailto:tstu_rektorat@mail.ru)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентском государственном транспортном университете (регистрационный номер - 041). (Адрес: 100167, Ташкент ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66).

Автореферат диссертации разослан « 20 » 11 2021 года.  
(протокол рассылки № «036» от « 15 » 11 2021 года).



**А.И. Адилходжаев**

Председатель научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор

**Я.О. Рузметов**

Ученый секретарь научного совета  
по присуждению учёных степеней, к.т.н.

**М.Х. Расулов**

Председатель научного семинара  
при научном совете по присуждению  
учёных степеней, к.т.н., профессор



## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире основной задачей сортировочной горки железнодорожных станций является переработка составов, а также формирование новых составов. Это во многом зависит от рационально спроектированного профиля спускной части сортировочной горки. Расчёт и проектирование высоты спускной части горки выполняется по существующему методу, согласно которому скорость движения вагона по уклону сортировочной горки определяют по формуле скорости падения тела по вертикали с учётом инерции вращающихся масс. Хотя при вертикальном падении вагона и речи не должно быть об инерции вращающихся масс. В этом отношении при расчете и проектировании спускной части особое внимание уделяется проведению анализа существующих методов определения скорости движения вагона по уклону сортировочной горки выражением скорости падения тела по вертикали с учетом инерции вращающихся масс, а также разработке на этой основе усовершенствованных методов с учетом того, что при вертикальном падении не возникнет инерции вращающихся масс.

Исходя из мирового опыта, анализ ряда теоретических и практических исследований по развитию сортировочных станций в транспортно-технологической системе, на основе технико-технологических характеристик процесса движения вагона на уклоне горки дает возможность утверждать, что еще не разработаны расчетные решения и математические модели этого процесса. В частности, до настоящего времени научно не рассмотрен метод определения скорости спуска вагона, а также тормозного пути и времени на тормозных позициях и скоростных участках сортировочной горки. В этом случае, совершенствование расчета динамики скольжения вагона по спускной части сортировочной горки является одной из актуальных задач железнодорожного транспорта.

В Республике осуществляется Программа по развитию и модернизации инженерно-коммуникационных и дорожно-транспортных инфраструктур, направленная на разработку единого комплекса стратегий в секторе развития сферы национального транспорта, отвечающего международным требованиям и нормам, а также на обеспечение широкой интеграции международной транспортной коммуникации с учетом потребности в перспективе продвижения товара отечественных производителей на мировые и внутренние рынки. В 2018-2022 гг. в мероприятиях по совершенствованию транспортной структуры, "... в целом в сфере железнодорожного транспорта поставлены задачи по повышению безопасности и качества услуг железнодорожного транспорта, строительству новой железнодорожной магистрали, повышению уровня электрофикации железнодорожного транспорта, продолжению

формирования международных транспортных коридоров и совершенствованию их деятельности в целях внедрения государственных внешне-торговых грузов на основной мировой рынок, применению гибкой тарифной политики, повышению инвестиционной привлекательности сферы, совершенствованию логистических услуг, а также, путём рационализации сотрудничества между различными видами транспорта, создать необходимые условия для интенсивного развития железнодорожной сферы Республики Узбекистан”<sup>2</sup>. Реализация поставленных задач, в том числе разработка оптимальных упрощенных методов расчета по проектированию уклона сортировочной горки, обеспечивающая ускоренную работу по переработке подвижного состава и составлению новых составов является одной из важных задач.

Данная диссертационная работа в определённой степени служит осуществлению поставленных задач, которые указаны в Законе Республики Узбекистан “О железнодорожном транспорте” (1999 г.), в Постановлении Президента Республики Узбекистан номера ПП-3422 от 2 декабря 2017 года “О мерах по совершенствованию транспортной инфраструктуры и диверсификации внешнеторговых маршрутов перевозки грузов”, в Указе Президента Республики Узбекистан номер УП-5647 от 1 февраля 2019 года “О мерах по коренному совершенствованию системы государственного управления в сфере транспорта”, а также в ряде других нормативно-правовых документах касательно данной деятельности.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики.** Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления VI. «Комплексная механизация и автоматизация технологических процессов» одного из важных направлений развития науки и технологии в республике.

**Степень изученности проблемы.** Теоретические и практические исследования по совершенствованию работы и развитию сортировочных станций ведутся в ряде ведущих научных центров, университетах и научно-исследовательских институтах, в том числе: в University of Baltimore (США), Technische Universität Berlin (Германия), Swedish national Railway Administration (Швеция), в Уральском государственном железнодорожном университете, в Российском университете транспорта (Россия), в Луганском национальном университете (Украина), в Ташкентском Государственном транспортном университете (Узбекистан), а также АО “Боштранслойиха” и в ОАО “Тоштемирйўллойиха” (Узбекистан).

Было выполнено большое количество научно-исследовательских работ по динамике скольжения вагона по спускной части сортировочной горки крупными мировыми исследователями в том числе такими как:

---

<sup>2</sup> Постановление Президента республики узбекистан О мерах по совершенствованию транспортной инфраструктуры и диверсификации внешнеторговых маршрутов перевозки грузов на 2018 — 2022 годы.

В.Н. Образцов, Н.И. Федотов, И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, В.М. Рудановский, И.П. Старшов, А.М. Устенко, J. Prokop, Sh. Myojin, Б.А. Родимов, Ю.А. Муха, Ю.И. Ефименко, С.А. Бессоненко, С. Zhang, Y. Wei, G. Xiao, Z. Wang, С.Т. Dick, J.R. Dirnberger, С.Н. Шмаль, Х.Т. Туранов, Е.Н. Тимухина, С.А. Ситников, Л.А. Рыкова, А.А. Гордиенко, А.В. Мягкова и другими. Приведены результаты исследований определения скольжения вагона на тормозной позиции сортировочной горки используя усовершенствованный метод расчёта скатывания вагона.

В нашей стране исследования, направленные на улучшение показателей работы сортировочных станций и оптимизацию технологических процессов переработки вагонов, были проведены А.Ш. Шорустамовым, М.А. Ходжимухаметовой, Ш.М. Суюнбаевым, А.А. Светашевым, Д.Б. Бутуновым, Ш.У. Саидивалиевым и другими. Однако исследования по качению колесных пар на скоростных участках и скольжению на тормозных участках сортировочной горки не были изучены на достаточном уровне.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов, включенных в НИР Ташкентского государственного транспортного университета в соответствии с протоколом №29/1 заседанием научно-технического Совета акционерного общества «Узбекистон темир йуллари».

**Цель исследования** состоит в усовершенствовании существующей методики проектирования сортировочной горки с теоретическим обоснованием качения колеса вагона на скоростных участках и скольжения на тормозных позициях.

**Задачи исследования:**

исследование современного состояния существующей методики по проектированию и расчет сортировочных горок качению колесных пар вагонов на скоростных участках и скольжения на тормозных позициях;

получение усовершенствованных аналитических выражений для расчета качения и скольжения колесных пар по вершине головки рельса на всех скоростных участках сортировочной горки;

разработка оптимальной методики определения скорости вагона на скоростных участках и его скольжение на тормозных позициях сортировочной горки с учетом инерции вращающихся масс;

разработка математической модели взаимодействия и взаимосвязи катящихся и скользящих колес с учетом движущих сил вагона по склону сортировочной горки;

разработка программного обеспечения для автоматизированного расчета уклона скоростных участков и тормозных позиций сортировочной

горки и совершенствование методики определения кинематических параметров вагона в каждом элементе спускной части.

**Объект исследования.** В качестве объекта исследования были взяты технические станции, оборудованные сортировочной горкой.

**Предмет исследования.** Предметом исследования являются основные показатели спуска и остановки вагона на скоростных участках сортировочной горки.

**Методы исследования.** Теоретические исследования и приведённые примеры расчётов, выполненные в работе, базируются на классических законах теоретической механики: кинематика твердого тела, аксиома геометрии, принцип освобожденности от связей, принцип Даламбера в инерциальной системе отсчета и дифференциальные расчеты.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

на основе классических законов теоретической механики получены уточненные аналитические выражения, подтверждающие отсутствие проскальзывания колесных пар по головке рельса на всех скоростных участках сортировочной горки;

разработан оптимальный метод определения скорости движения вагона на скоростных участках и тормозных позиций сортировочной горки с учетом инерции вращающихся масс для рационального управления вагонопотоками;

разработана математическая модель взаимодействия и взаимосвязи катящихся и скользящих колес вагона с учетом инерции вращающихся масс для определения ускорения вагонов по уклону сортировочной горки;

разработана методика определения кинематических параметров вагона в каждом элементе спускной части на базе программного обеспечения, разработанного для автоматизированного расчета скоростных участков и тормозных позиций сортировочной горки.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

определены условия качения и скольжения по головкам рельса колесных пар вагонов на всех скоростных участках сортировочной горки;

разработаны алгоритмы расчета кинематических параметров вагона с учетом уклона участков в каждом элементе спускной части сортировочной горки, а также инструментальные средства в виде программных продуктов;

разработаны рекомендации по определению рентабельности маневровых работ, связанных с распределением поездов и снижением расхода топлива горочного локомотива, снижением стоимости строительных земляных работ сортировочной горки и сокращением простоя вагонов.

**Достоверность результатов исследований.** Достоверность результатов исследований заключается в использовании современных методов и методологии, взаимным соответствием и взаимосвязи основных

показателей вагона при спуске и остановке на уклоне сортировочной горки, которые были определены на основе классической закономерности теоретической механики, а также внедрением в практику разработанных предложений и рекомендаций в пределах исследований.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования объясняется совершенствованием методики определения кинематических параметров вагона на основе получения зависимости сил от качения и скольжения колесных пар вагона при спуске на сортировочной горке.

**Практическая значимость** результатов исследования поясняется возможностью использования метода определения тормозного пути и времени вагона, а также скорости спуска вагона на скоростных участках уклона горки и тормозных позиций сортировочной горки в нормативно-технических документах, научно-исследовательских работах и учебно-методических пособиях для вузов железнодорожного транспорта.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов, полученных на теоретическое обоснование качения и скольжения колес вагонов для развития технологии транспортных процессов на сортировочной горке:

со стороны специалистов ООО «Тоштемирйўллоиха» при АО «Узбекистон темир йуллари» были приняты усовершенствованная методика определения скорости вагона, математическая модель взаимодействия и взаимосвязи катящихся и скользящих колес вагона с учетом движущих сил. Введены для определения ускорения по уклону сортировочной горки (справка ОАО «УТЙ» от 02.03.2020 № 01 / 875-20). В результате при проектировании сортировочной горки предлагается учесть инерцию и вращающихся масс, действующих на вагон на скоростных участках и тормозных позициях.

Методика, алгоритмы и средства в виде программных продуктов для определения кинематических параметров вагона на каждой позиции спуска сортировочной горки внедрены в ООО «Боштранслоиха» для автоматизированного расчета крутизны разгона и торможения участков (справка ОАО «УТЙ» от 02.03.2020 № 01 / 875-20). В результате высота сортировочной горки существующего и предлагаемого метода снижена на 27% по сравнению с результатами, полученными существующими методами, возможен правильный выбор скоростных участков и торможения, сокращая время и расход топлива, затрачиваемого на маневровые работы.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования прошли обсуждение на 7-ми научно-практических конференциях и семинарах, в том числе, 3 – международные входящие в базу SCOPUS и 4 республиканские научно-практические конференции, а также изложены на расширенных межкафедральных семинарах.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации было опубликовано 26 научных работ, из них 12 статей в зарубежных, 4 статьи в республиканских научных журналах, а также 12 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для издания основных научных результатов докторских диссертаций.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы. Объём диссертации 120 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** показана актуальность темы исследования, сформулирована цель работы, обозначены решаемые соискателем задачи. Кроме того, обоснована научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе «**Состояние вопроса и перспективы развития сортировочных станций**» выполнен анализ источников литературы по расчёту высоты сортировочной горки существующим методом. Исследован мировой производственный опыт с указанной проблемой, а также рассмотрен вопрос современного состояния сортировочных станций железной дороги Узбекистана.

В данной главе математическими выражениями и сопровождая их примерами расчётов доказано, что на скоростных участках горки происходят качение колес колёсных пар без скольжения. Также установлено, что в зонах затормаживания на участках тормозных позиций происходят чистое скольжение колеса по рельсам.

Описано явление чистого скольжения точки касания  $P$  колес колёсной пары относительно поверхностей катания рельсовых нитей на всех скоростных участках профиля горки, включая и участок второго сортировочного пути, и происходит качение колеса без скольжения, соответствие действительности которого не подлежит оспариванию.

С использованием основных положений теоретической механики, обоснована неточность учёта момента инерции вращающихся частей (колёсных пар) на участках тормозных позиций и возможность выполнения расчётов на скоростных участках горки без учёта вращения центра масс колес вагона. Доказано, что при выполнении расчётов скоростных участков сортировочной горки влияние момента инерции вращающихся частей вагона можно не учитывать.

В отличие от общепринятого понимания процесса движения вагона на тормозных позициях сортировочной горки приведены доказательства скольжения колесных пар вагона на участках сортировочных горок (тормозные позиции) и соответственно невозможность учёта инерции вращающихся частей вагона на всем профиле горки. В связи с этим,

опираясь на элементарные понятия инженерной механики, в диссертации приведены математические пояснение явления скольжения колёсных пар вагона при срабатывании вагонных замедлителей на участках тормозных позиций сортировочных горок.

Во второй главе «Расчёты и анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки» приведены оценки теоретических аспектов существующих положений сортировочных горок с учетом контраргументов авторов статей, математическими выражениями доказана неточность определения скорости движения тела (вагона) по неидеальной наклонной плоскости по формуле скорости свободного падения тела с учетом инерции вращающихся масс.

Принятые допущения в диссертационном исследовании: вагон силы тяжести  $G$  по рельсовой нити (как наклонной плоскости с неидеальной поверхностью) совершает плоскопараллельное движение. Считаем, что при поступательном движении вагона его колесные пары скатываются (и/или катятся) без скольжения под действием проекции силы тяжести  $G$  на ось  $C_{ex}$  (т.е.  $G_x = G \cos \psi$ ) по рельсовым нитям так, что скорость его центра  $v_C$  не равна нулю, т.е.  $v_C \neq 0$  (рис. 1).

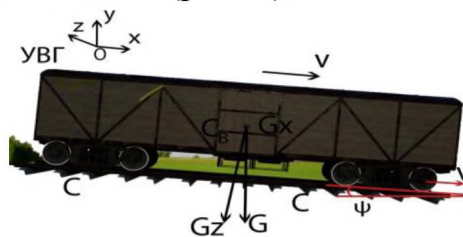


Рис. 1. Схема движения вагона по рельсовым нитям

На рис. 1 обозначено:  $G$  – сила тяжести вагона с грузом;  $O_{x'y'z'}$  – неподвижные системы координат, начало координат которого расположено на условной вершине горки (УВГ);  $A$  и  $B$  – неподвижные точки, между которыми возможно движение вагона;  $C_{exyz}$  – подвижные системы координат, расположенные в центре масс вагона  $C_в$ ;  $P$  – точка касания и/или соприкосновения колёсной пары с рельсом;  $C$  – центр масс колёсных пар;  $C_{кб}$  – центр колёсной базы вагона;  $v$  – переносная поступательная скорость вагона;  $v_C$  – скорость центра инерции  $C$  колёсных пар, причём  $v_C = v$ ;  $\tau - \tau$  – общая касательная к траектории колеса, как окружности, и рельса;  $\psi$  – угол наклона профиля пути.

Центр инерции двух колёсных пар  $C$  размещены в центре колёсной базы вагона  $C_{кб}$ . Допуская, что начало подвижных осей координат  $C_{exz}$  расположены в центре инерции, совпадающем с центром масс вагона  $C_в$ . Пренебрегая влиянием и боковым относом колёсных пар вагона, соответственно, вокруг оси  $C_z$  и в плоскости  $C_{exy}$ . Рассматривая движение колёсных пар с радиусом  $r$  в плоскости  $C_{exz}$ , а также влияние на движение вагона сопротивлений всякого рода (основного  $\omega_o$ , воздушной среды и

ветра  $\omega_{cv} = w_{cv}$ , от стрелок  $\omega_{cmp}$ , от кривых  $\omega_{кр}$ , от снега и инея  $\omega_{сн}$ )  $F_c$ . Считая, что вагон движется по уклону горки под воздействием проекции силы тяжести  $G_x$  на ось  $C_{вх}$ , хотя, при необходимости, не исключается учёт проекции силы попутного и/или встречного ветра малой величины  $F_{в.х}$  на ось  $C_{вх}$ .

Построение математической модели плоскопараллельного движения колёсных пар вагона, как твёрдых тел. Решение инженерной задачи выполняется двумя способами:

1-й способ, составлением дифференциальных уравнений плоскопараллельного движения колёсных пар вагона, как твёрдых тел, и приведением сил инерции к главному вектору и главному моменту;

2-й способ, применяется принцип Даламбера для инерциальной системы отсчёта.

1-й способ решение задачи. Применяя принцип освобожденности от связей геометрической статики, строится расчётная схема движения вагона по неидеальной наклонной плоскости, а затем, отбрасывая неидеальные связи (рельсовые нити), заменяется их влияние нормальными  $N_1, N_2$  и касательными  $F_{\tau 1}$  и  $F_{\tau 2}$  составляющими реакции связей (рельсовых нитей)  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 2).

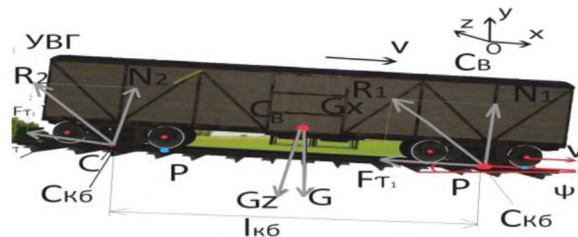


Рис. 2. Расчётная схема движения вагона по профилю пути

На рис. 2 приняты такие же обозначения, как и на рис. 1, за исключением:  $N_1, N_2$  и  $F_{\tau 1}, F_{\tau 2}$  – нормальные и касательные составляющие реакции связей  $R_1$  и  $R_2$ , причем и, условно приложенные к точкам  $C_{кб}$ , совпадающими с центрами колёсной базы (КБ) вагона  $I_{кб}$ .

Основные допущения. Нормальные  $N$  и касательные  $F_{\tau}$  составляющие реакции связей  $R$  условно приложены в центре колёсной базы вагона  $C_{кб}$ . При этом, нормальные составляющие реакции связей  $N_1$  и  $N_2$  равны, соответственно,

$$N_1 = N_2 = G_{z/2} = G \cos \psi / 2,$$

а касательные составляющие  $F_{\tau 1}$  и  $F_{\tau 2}$ , согласно закону Кулона:

$$F_{\tau 1} = F_{mp1} \leq f N_1 \text{ и } F_{\tau 2} = F_{mp2} \leq f N_2$$

с учётом того, что

$f = 0,125$  – коэффициент трения скольжения в движении между кругами катания колёсных пар и поверхностями рельсовых нитей:  $f = 0,25$ , а согласно  $f = 0,15 \dots 0,25$ ).



Иначе, нормальная составляющая реакции связей  $N = 2N_l = G \cos \psi$ , а касательные составляющие  $-F_\tau = 2F_{mp} = 2fN = fG \cos \psi$ .

Причём, сила трения  $F_\tau = F_{mp}$  для вагонных колёс направлена противоположно скорости  $v_C$  центра инерции колёс  $C$  (причём  $v_C \neq 0$ ) и сила трения  $F_{mp}$  приложена к колёсам в точках  $P$ . Следовательно, колёсные пары вагона при их качении без скольжения совершают плоскопараллельное движение по неидеальной наклонной плоскости.

Учитывая, что угловая скорость  $\omega = \dot{\varphi}$  от движущейся колёсной пары характеризует её относительное движение, то можно считать, что вокруг оси  $C_{y'l}$  (и/или вокруг точки  $C$ ) происходит вращение колёсной пары вагона с углом поворота  $\varphi$ .

Имея в виду, что при движении колёсной пары, с которой жёстко связана система подвижных осей  $C_{x'l|z'l}$ , расстояние между осями колёсной пары и рельсовыми нитями, с которыми, в свою очередь, жёстко связана система неподвижных осей  $O_{x'y'z'}$ , остаётся постоянным (т.е.  $r = const$ ).

Движение колёсной пары вагона, согласно кинематике твёрдого тела, можно разложить на два движения, как принцип независимости поступательного движения тела и его вращения в случае плоскопараллельного движения:

во-первых, на переносное поступательное движение вместе с поступательно движущимися осями координат  $C_{x'l}$ , начало которых расположено в центре инерции  $C$  колёсной пары;

во-вторых, на относительное вращательное движение вокруг оси  $C_{y'l}$ , проходящей через центр инерции  $C$ .

Появление момента трения при качении  $M_k$  двумя способами. Согласно принципу освобожденности от связей механики, отбрасывая площадку у края вокруг точки  $A$ , что вокруг этой точки на колесо воздействует реакция  $R$  неидеальной связи (рельса).

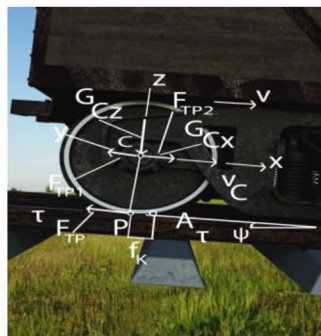


Рис. 3. Условная схема качения колеса без скольжения по рельсу

На рис. 3 обозначено:  $C$  – центр масс колеса;  $C_{xyz}$  – подвижные системы координат, расположенные в центре инерции колеса  $C$ ;  $G_{C_x}$  и  $G_{C_z}$  – проекции одной восьмой части составляющих силы тяжести вагона с грузом  $G$ , приложенные к центру масс колеса  $C$ ;  $v_C$  – скорость центра

инерции  $C$  колеса, причём  $v_C = v$ ;  $P$  – точка касания и/или соприкосновения колеса с рельсом;  $N$  и  $F_\tau$  – нормальная и касательная составляющая реакции неидеальной связи (рельса)  $R$ ;  $\psi$  – угол наклона профиля пути;  $A$  – точка, к которой как бы приложена нормальная составляющая  $N$  реакции связи  $R$ ;  $f_k$  – коэффициент сопротивления качению и/или коэффициент трения при качении, м (обычно для вагонных колес  $f_k = 0,005 \cdot 10^{-2}$  м;  $F_{mp1} = F_{mp}$  и  $F_{mp2} = |F_{mp}|$  – равные по модулю, но противоположные по направлению силы трения, приложенные к точке  $C$ ).

Следующие два способа решения данной прикладной задачи по выяснению причин появления момента трения качения  $M_k$  колес вагона по уклону горки.

1-й способ. Представленные на рис. 1, силы  $N$  и  $F_\tau = F_{mp}$  являются составляющими одной и той же реакции связи  $R$ , однако смещёнными друг от друга на расстояние  $f_k$ , называемое в дальнейшем коэффициентом трения при качении.

Вместе с тем, чтобы система трёх сил ( $N$ ,  $F_{mp}$  и  $R$ ) была в равновесии, необходимо, чтобы линии действия этих сил пересекались в одной точке, например, в точке  $C$ , совпадающей с осью колеса.

Это возможно лишь в случае, если  $F_{mp} = G_x C$ , что верно при равновесии. Отсюда становится очевидным, что силовым треугольником, построенным из сил  $G_x C$ ,  $N$  и  $R$  по известным направлениям  $G_x C$  и  $N$ , окажется замкнутым.

Высказанные рассуждения полностью соответствуют теореме о трёх непараллельных силах механики (если три силы, расположенные в одной плоскости [т.е. в плоскости колеса], взаимно уравновешивающиеся и непараллельные, то линии действия этих сил пересекаются в одной точке).

Воздействие образовавшейся пары сил ( $G_z C$ ,  $N$ ) с моментом  $M_k = N \cdot f_k$  (см. рис. 3), противоположной по направлению вращения рассмотренной ранее паре сил ( $F_{mp}$ ,  $G_x C$ ) с моментом  $M_{mp} = G_x C \cdot r$ , может уравновесить колесо.

2-й способ. Воздействие рельса на колесо (или реакции неидеальной связи на колесо) в виде момента трения при качении  $M_k$  будет препятствовать качению колеса.

Ускорение движения вагона  $a$  по наклонной плоскости для участка тормозных позиций (ТП) сортировочной горки до сих пор никак не определены, а для остальных участков горки – в неявном виде можно найти в уменьшаемом формулы (2) и/или найти по формуле. Поэтому ускорение движения вагона  $a$  найдено на основе принципа Даламбера для неидеальной связи, а скорости движения вычислены по формулам  $v_h = \sqrt{2g'h}$  и  $v_l = \sqrt{2al}$  для идеальной связи без учёта начальной скорости  $v_0 = 0$ , как это принято.

Однако, при расчёте скорости скатывания вагона по профилю горки недопустимо пренебрегать начальной скоростью  $v_{hi} = v_{oi}$  (т.е. скорость в начальный момент  $t = 0$ ), поскольку на каждом  $i$  участке вагон движется со скоростью  $v_{hi}$ .

Если в зонах затормаживания (ЗТ) на участках тормозных позиции (ТП)  $v_{hi} = v_{oi} = 0$ , то движение вагона на этих участках невозможно.

Отсюда ясно, что от величины начальной скорости зависит характер движения вагона, доказывающий некорректность приятия допущения о равенство нулю  $v_{hi} = v_{oi} = 0$  в задачах горочных расчетов. Это одна из причин антинаучности вычитаемого в формуле в виде  $2g'h_t$ .

Оговоримся, что при строгих неравенствах ускорений  $a < 0$  (например, согласно данным табл. 1, для участка первой тормозной позиции (ТП)  $a = -2,027 \text{ м/с}^2$  при  $l = 29 \text{ м}$ ), характерных для участков тормозных позиций (ТП) горки, при расчёте скорости движения вагона по формуле  $v = \sqrt{2al}$  появляется абсурдное соотношение в виде комплексного результата:

$$v = I(v) = i\sqrt{2al} = 10,8436i,$$

где 10,843 – мнимые части чисел  $v$  ( $i$  – мнимая единица, поскольку  $i^2 = -1$ ).

Отмечено, что рассуждение о том, что «формулы, применяемые для равномерного ускоренного движения, годятся и для свободного падения» для *неидеальных связей* в инженерной механике *неверно*. Отсюда справедливо следующее утверждение.

Утверждение 2. Формула для определения скорости свободного падения тела по вертикали  $v = \sqrt{2g'h}$ , формулу (1) *неравносильна* формуле скорости движения тела со скольжением без качения *по неидеальной (с трением) наклонной плоскости*  $v_{\text{неид.}} = \sqrt{2a_{\text{неид.}}l}$  (где  $a_{\text{неид.}}$  – ускорение движения тела по неидеальной наклонной плоскости) без учёта начальной скорости  $v_0$  (т.е.  $v_0 = 0$ ), поэтому для неидеальной связи всегда *соблюдается не тождественность этих формул, т. е.  $v \neq v_{\text{неид.}}$  или  $\sqrt{2g'h} \neq \sqrt{2a_{\text{неид.}}l}$ .*

Обоснование. Аналогично, допускается, что вагон (тело) движется *по неидеальной (с трением) наклонной плоскости* без начальной скорости  $v_0$  (т.е.  $v_0 = 0$ ) без учёта инерции вращающихся частей (колёсных пар) (рис. 4).

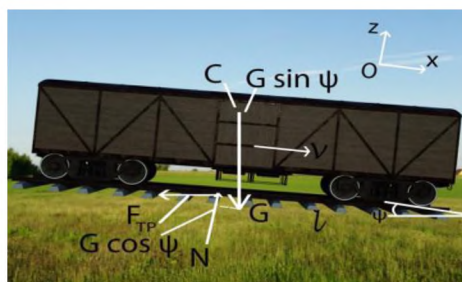


Рис. 4. Движение вагона с грузом по неидеальной наклонной плоскости

На рис. 4, обозначено:  $\psi$  и  $l$  – угол наклона и длина неидеальной наклонной плоскости (профиля горки);  $C$  – центр тяжести тело (например, вагона с грузом);  $G$  – сила тяжести вагона с грузом;  $O_{xz}$  – оси координат, выбор которого является необходимым условием построения расчётной и математической модели;  $G\sin\psi$  и  $G\cos\psi$  – проекции силы тяжести на оси  $O_x$  и  $O_z$ ;  $F_{\text{тр}}$  – сила трения, направленная противоположно скорости движения  $v$ .

Отличием также является то, что согласно принципу освобождения от связей (*неидеальной плоскости*) (аксиома геометрической статики) теоретической механики, несвободную систему материальных точек рассматривают как систему свободную, которая движется под действием задаваемых сил  $F$  и реакций связей  $R$ . Влияние связей заменяют нормальной  $N$  и касательной  $F_{\tau} = F_{\text{тр}}$  составляющими реакции связи  $R$ .

Допустим, что между телом и наклонной плоскостью коэффициент трения будет  $f$ . Тогда для неидеальной поверхности следует учитывать работу  $A_N$  и  $A_{F_{\tau}}$ , как нормальной  $N$ , так и касательной  $F_{\text{тр}}$  составляющей реакции связи  $R$ , имея в виду, что  $N = G\cos\psi$  и, согласно закону Кулона,

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} N = f_{\text{тр}} G \cos \psi, \quad (1)$$

а также работу  $A_{G_x}$  проекции силы тяжести  $G$  по оси  $O_x$ :

$$G_x = G \sin \psi. \quad (2)$$

Однако, имеется в виду, что работа  $A_N$  силы  $N$ , перпендикулярной перемещению,  $A_N = 0$ , а работа  $A_{F_{\tau}}$  силы трения  $F_{\tau} = F_{\text{тр}}$  при движении вагона по неподвижной неидеальной (с трением) поверхности, направленная противоположно скорости точки  $\bar{v}$ , имеет отрицательный знак, поскольку  $\cos(\bar{F}_{\text{тр}}, \bar{v}) = -1$ .

Попытаемся подробно пояснить причину качения колёс при отсутствии скольжения по рельсовым нитям (в дальнейшем – колесо без скольжения по рельсу) (рис. 5).

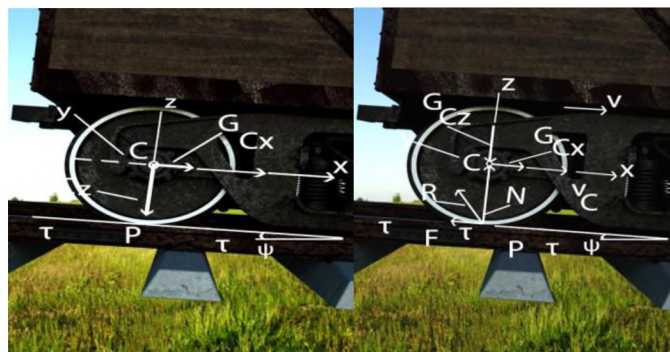


Рис. 5. К схеме качения колеса без скольжения по рельсу

На рис. 5 обозначено:  $C$  – центр масс колеса;  $C_{xyz}$  – подвижные системы координат, расположенные в центре инерции колеса  $C$ ;  $G_{xС}$  и  $G_{zС}$  – проекции одной восьмой части составляющих силы тяжести вагона с грузом  $G$ , приложенные к центру масс колеса  $C$ ;  $v_C$  – скорость центра инерции  $C$  колеса, причём  $v_C = v$ ;  $P$  – точка касания и/или соприкосновения колеса с рельсом;  $\tau - \tau$  – общая касательная к траектории колеса, как окружности, и рельса;  $N$  и  $F_\tau$  – нормальная и касательная составляющая реакции неидеальной связи (рельса)  $R$ ;  $\psi$  – угол наклона профиля пути.

В третьей главе «Математическое обоснование формулы воздушного сопротивления при движении вагона по профилю сортировочной горки» Неточность формул воздушного сопротивления, изложенных, заметим, что учёт сопротивления движению вагона от воздушной среды и ветра  $\omega_{cv}$  (или  $w_{ec}$ ) путём разделения их направления воздействия, как способствующее ускоренному движению вагона (попутный ветер) и как оказывающее сопротивление движению вагона (встречный ветер), определено с учётом попутного и/или встречного ветра со знаками, соответственно, «минус» и/или «плюс».

Решение прикладной задачи представлено методами тригонометрии аналогично формуле при встречном ветре.

Математическое описание решения задачи

1. Для доказательства некорректности равенства представим теорему косинусов аналогично формуле при *встречном ветре* (см.  $\Delta AB_1C_1$  на левой части рис. 6) в следующем виде:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C_1. \quad (3)$$

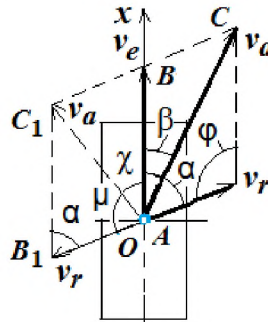


Рис. 6. Направления векторов скоростей

Принимая во внимание, что  $c = v_a$ ,  $a = v_e$ ,  $b = v_r$ , угол  $C_1 = \alpha$ :

$$v_a^2 = v_e^2 + v_r^2 - 2v_e v_r \cos \alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – находят по формуле.

Из последнего равенства получено следующее квадратное уравнение:

$$v_r^2 - 2v_e \cos \alpha \cdot v_r + (v_e^2 - v_a^2) = 0. \quad (5)$$

Решая получаем:

$$v_{r1,2} = v_e \cos \alpha \pm \sqrt{(v_e \cos \alpha)^2 - (v_e^2 - v_a^2)}. \quad (6)$$

Анализ показывает, что при воздействии встречного ветра относительная скорость частиц воздуха  $v_r$  зависит от величины переносной скорости вагона  $v_e$  и скорости ветра по отношению к земле  $v_a$ , а также угла  $\alpha$  (см. левую часть рис. 6), т.е.  $v_r = f(v_e, v_a, \alpha)$ , в то время как, по формуле  $v_r$  определяют по зависимости:  $v_r = f(v_e, v_a, \beta)$ .

Необходимо принять во внимание, что, согласно рис. 6.,  $a = v_e$ ,  $b = v_r$ ,  $c = v_a$  и угол  $A = \alpha$ , представим теорему косинусов аналогично формуле *при встречном ветре* (см.  $\Delta AB_1C_1$  на рис. 6) в следующем виде:

$$v_e^2 = v_a^2 + v_r^2 - 2v_a v_r \cos \alpha, \quad (7)$$

Из последнего равенства получается следующее квадратное уравнение:

$$v_r^2 - 2v_a \cos \alpha \cdot v_r + (v_a^2 - v_e^2) = 0. \quad (8)$$

Решая уравнение можно получить иную конечную аналитическую формулу для определения относительной скорости  $v_r$  частиц воздуха:

$$v_{r1,2} = v_a \cos \alpha \pm \sqrt{(v_a \cos \alpha)^2 - (v_a^2 - v_e^2)}. \quad (9)$$

Сравнивая формулу со знаком «плюс» для встречного ветра, можно утверждать наличие неточности, допущенной в равенстве из-за неверной трактовки теоремы косинусов, *что и требовалось доказать для объяснения неточности формулы.*

Результаты исследований могут быть использованы при переработке нормативно-технических документов по проектированию сортировочных устройств на железных дорогах и внесении корректив в описание динамики скатывания вагона с сортировочных горок. Расчёты и исследования существующего вагонного парка показали, что в настоящий момент в качестве ОПБ – очень плохого бегуна существует 4-х осный вагон на роликовых подшипниках, основное удельное сопротивление которого составляет 3,9 кгс/тс.

В четвёртой главе **«Разработка рекомендации по повышению перерабатывающей способности сортировочной горки»** В главе исследовано движения вагона по сортировочной горке, разработана математическая обобщающая модель движения вагона по всей длине профиля сортировочной горки. Построен сложный алгоритм движения вагона по уклону сортировочной горки по позициям. Разработана рекомендация по проектированию сортировочной горки. Предложены алгоритмы усовершенствованного расчета и проектирования уклона

сортировочной горки, их программное обеспечение, а также инструкции их использования были внедрены в проектных институтах железнодорожного транспорта. Результатами расчётов доказано, что в дальнейшем горочные конструктивные и технологические расчёты проектируемых участков горки следует выполнять без учёта момента инерции вращающихся частей вагона в пределах точности (5,...,10 %) инженерных расчётов. При этом, для определения ускорения движения вагона  $a_i$ , независимо от того, движется ли вагон на скоростных участках  $a_i$  или на участках тормозных позиций  $a_{Ti}$ , следует воспользоваться любыми из представленных формул.

Разработан алгоритм движения вагона по уклону сортировочной горки при различных условиях как действующей так и предлагаемой методики по расчёту и проектированию сортировочных станций.

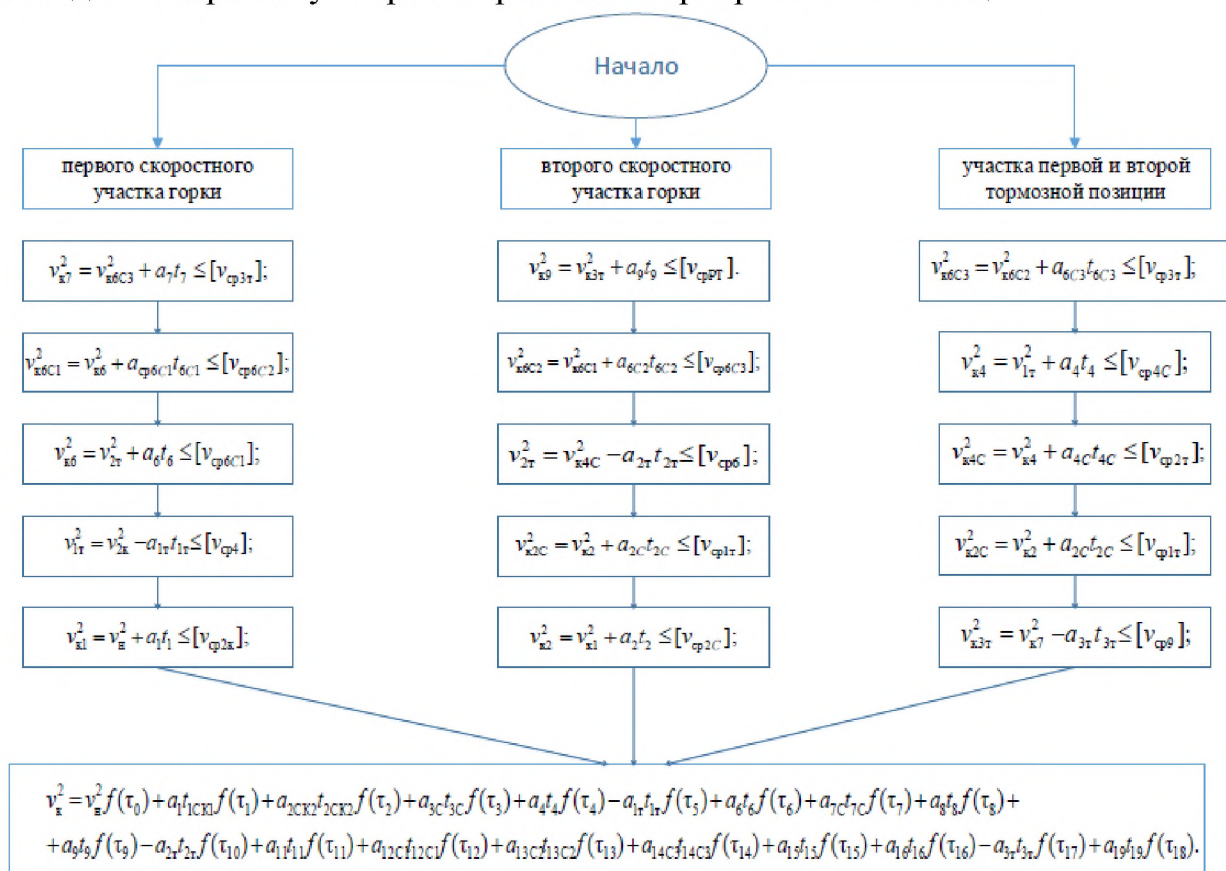


Рис. 7. Алгоритм движения вагона по уклону сортировочной горки

Результат от реализации научно-обоснованных технико-технологических решений по проектированию сортировочных горок – экономический эффект получен за счёт следующих основных, наиболее значимых, факторов: сокращения земляных работ; уменьшения длины горочных путей; уменьшения излишних маневровых работ, а также снижения расхода топлива. Суммарная экономия средств за счёт наиболее значимых факторов составила 200 млн. сум. Интегральный эффект от

внедрения предложенной методики составил 566 млн. сум. Внутренняя норма доходности при этих же условиях равна 0,8. Индекс доходности равен 6,6 при сроке окупаемости затрат в 2 года.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, на основании проведенных исследований особо отметим следующие результаты:

1. На основе классических положений теоретической механики получены конечные аналитические формулы, поясняющие отсутствие скольжения точки касания  $P$  колес колёсной пары относительно поверхностей катания рельсовых нитей на всех скоростных участках профиля горки.

2. Согласно условию равновесия геометрической статики теоретической механики, выяснены причины появления момента трения качения из-за воздействия рельса на колесо (или реакции неидеальной связи с колесом) и выявлено условие отсутствия качения колеса по рельсу.

3. Конечными аналитическими формулами и примерами расчётов доказано, что в зонах затормаживания на участках тормозных позиций сортировочной горки происходит скольжение колес колесных пар вагона относительно рельсовых нитей. По этой причине ошибочным является определение скорости скольжения вагона на участках тормозных позиций по формуле свободного падения тел с учетом инерции вращающихся частей.

4. В удобном для практического применения виде представлены формулы мгновенных скоростей движения вагона для каждого участка сортировочной горки.

5. Внесение изменений и корректировки в нормативы даёт возможность определить время, скорость и длину пройденного пути одиночного вагона, скатываемого с любой точки сортировочной горки, а также помогает выбрать оптимальную высоту сортировочной горки.

6. За счёт нормирования простоя вагонов значительно сократится излишняя маневровая работа, а также обеспечится сохранность и качество грузов. Годовая экономическая эффективность по одной сортировочной станции составит 200 млн. сум.



**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY  
SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDED  
SCIENTIFIC DEGREES Ph.D.15/30.12.2019.T.73.01**

---

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY**

**DJABBAROV SHUHRAT BATIROVICH**

**THEORETICAL JUSTIFICATION OF ROLLING AND SLIDING OF  
THE WAGON WHEELS FOR THE DEVELOPMENT OF  
TECHNOLOGY OF TRANSPORTATION PROCESSES OF SORTING  
SLIDES**

**05.08.03 – Operation of railway transport  
05.08.05-- Railway rolling stock, train traction and electrification**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2021**

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**Relevance** and relevance of the topic of the dissertation. Mechanization and automation of hump humps at the station on the basis of modern technologies that significantly affect the efficiency of mainline and local railway transport, as well as the improvement of methods for optimal calculation and their design, occupies a leading position in the world.

**The aim of the research** is to develop an improved method for determining the speed of car descent on high-speed sections of the slope of the sorting hill and the brake position based on a critical analysis of the existing method of calculation for the design of the sorting hill.

### **Tasks of the research:**

based on the study of the current state of the design of the slope of the sorting hill, make a critical analysis of existing methods for calculating the main indicators of movement of the car on the slope;

investigation of the rolling characteristics of wagon wheels on high-speed sections of the sorting hill for an inertial reference system by applying the D'Alembert principle;

justification for the erroneous determination of the speed of movement of the car on the slope of the sorting hill, taking into account the inertia of rotating masses, the expression of the speed of free fall of the body;

in the mathematical aspect, prove the inaccuracy of the expression for determining the impact of longitudinal and / or crosswind on the moving car along the profile of the sorting hill.

### **Scientific novelty of the research** is as following:

simplified calculation schemes of the mechanical system "wagon-way" for sliding and rolling wheels rolling down the slope have been developed;

the dependences of force expressions in the mechanical dependence "car-way" when moving the car are compiled;

a method for calculating the linear acceleration of a car based on the D'Alembert principle is developed for sliding wheel pairs on sections of brake positions and rolling on high speed sections of the slope of the sorting hill;

a program and a complex algorithm for building a sorting hill have been developed.

**The structure and volume of the research work.** The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of literature, and applications. The volume of the thesis is 118 pages.

Structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, and a list of references. The volume of the dissertation is 120 pages.

**The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2021.4.PhD/T1215.**

The dissertation has been prepared at Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) and on the web site of «ZiyoNet» Information and education portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisor:**

**Turanov Khabibulla Turanovich**

doctor of technical sciences, professor  
**Hesaliyev Daurenbek Ixtiyarovich**  
DSc. docent

**Official opponents:**

**Dauseitov Ergen Balgaevich**

doctor of technical sciences, professor  
**Valiev Muhammad Sheralievich**  
candidate of technical sciences, docent

**Leading enterprise:**

**Tashkent State Technical University named  
by Islam Karimov**

The defense will be take place « 4 » 12 2021 at 10<sup>00</sup> at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council PhD.15/30.12.2019.T.73.01 Tashkent state transport university. Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-57, e-mail: tashiit\_rektorat@mail.ru

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent state transport university (Registration number – 041). (Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-05-66)

Abstract of dissertation was distributed on « 20 » 11 2021 year.  
(mailing record № 036 on « 15 » 11 2021 year)



**A.I. Adilkhodjaev**

Chairman of Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**Y.O. Ruzmetov**

Scientific secretary of the Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Candidate of technical sciences

**M.X. Rasulov**

Chairman of the scientific seminar under scientific council  
disposable on awarding scientific degrees,  
candidate of technical sciences, professor

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**  
**I бўлим (I часть; I part)**

1. Джаббаров Ш.Б. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, Д.И. Илесалиев, Ш.Б. Джаббаров, Ш.У. Саидивалиев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник, 2021. – № 3. – С. 47-53. (05.00.00; №82).

2. Джаббаров Ш.Б. К движению вагона на участке первой тормозной позиций сортировочной горки / Ш.Б. Джаббаров // Научно-технический журнал ВЕСТНИК, Ташкент: ТашИИТ, 2019. – № 2. – С. 72-83 (05.00.00; №11).

3. Джаббаров Ш.Б. О некорректности формулы горочных конструктивных и технологических расчетов проектируемых участков сортировочной горки / Ш.Б. Джаббаров // Научно-технический журнал ВЕСТНИК, Ташкент: ТашИИТ, 2019. – № 3. – С. 218-226 (05.00.00; №11).

4. Джаббаров Ш.Б. О скольжении колёсных пар вагона на тормозных позициях сортировочных горок / Ш.Б. Джаббаров, Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев // Научно-технический журнал Транспорт: наука, техника, управление, 2019. – № 5. – С. 26-31 (05.00.00; №82).

5. Джаббаров Ш.Б. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть IV) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник, 2019. – № 1. – С. 16-20. (05.00.00; №82)

6. Джаббаров Ш.Б. К критическому анализу теоретических положений движения вагона с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник, 2018. – № 11. – С. 26-31. (05.00.00; №82).

7. Джаббаров Ш.Б. О неточности формулы воздушного сопротивления при движении вагона по профилю сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник, 2020. – № 7. – С. 16-20. (05.00.00; №82)

8. S. Djaborov, K. Turanov, A. Gordienko S. Saidivaliev,. Designing the height of the first profile of the marshalling hump // E3S Web of Conferences, Vol. 164, 03038 (2020). (SCOPUS).

9. S. Djaborov, K. Turanov, A. Gordienko, S. Saidivaliev. Movement of the wagon on the marshalling hump under the impact of air environment and tailwind // E3S Web of Conferences, Vol. 164, 03041 (2020). (SCOPUS).

10. Djabborov S., Turanov K., Gordienko A., Saidivaliev S., Djalilov K. Kinematic characteristics of the car movement from the top to the calculation point of the marshalling hump. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. T. 1258. С. 322-338. (SCOPUS).

### **И бўлим (II часть; II part)**

11. Джабборов Ш.Б. О динамике скатывания вагона по ускоряющему уклону сортировочной горки / Ш.Б. Джабборов, Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев, Х.Х. Джалилов // Сборник докладов республиканской научно-практической конференции и “механика деформируемого твердого тела”, 2018. – Том II. – С. 10-18.

12. Джабборов Ш.Б. О движения вагона по профилю сортировочной горки / Ш.Б. Джабборов, Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев // Сборник докладов республиканской научно-практической конференции и “механика деформируемого твердого тела”, 2018. – Том II. – С. 62-72.

13. Джабборов Ш.Б. О динамике скольжения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Ш.Б. Джабборов, Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев // Сборник докладов республиканской научно-практической конференции и “механика деформируемого твердого тела”, 2018 – Том II – С. 72-80.

14. Джабборов Ш.Б. О вычислении профильной высоты головного участка сортировочной горки / Ш.Б. Джабборов, Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев // Бюллетень транспортной информации, 2019 – №12 (294). – С. 15-20.

15. Джабборов Ш.Б. О качении колес на скоростных участках сортировочной горки / Ш.Б. Джабборов // Вестник Луганского национального университета, 2019. – № 6 (24). – С. 79-83.

16. Джабборов Ш.Б. Аналитическая статика качения колес на скоростных участках сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джабборов // Бюллетень транспортной информации, 2019. – №6 (288). – С. 8-16.

17. Джабборов Ш.Б. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (часть V) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации. 2019. – № 3 (285). – С. 22-27.

18. Джабборов Ш.Б. О вычислении профильной высоты головного участка сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев, Ш.Б. Джабборов // Бюллетень транспортной информации, 2019. – № 12 (294). – С. 15-20.

19. Джабборов Ш.Б. О некорректности формулы удельного воздушного сопротивления движению вагона по профилю сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джабборов // Бюллетень транспортной информации, 2020. – № 2 (296). – С. 21-28.

Автореферат «ТГТрУ ахборотномаси» илмий-амалий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ва матнларни мослиги текширилди (\_\_\_\_.\_\_\_\_.2021 йил).

---

Қоғоз бичми 84×60-1/16 Ризограф босма усули Times гарнитураси  
Шартли босма табағи: 3 б.т. Адади: 50 нусха. Буюртма № \_\_\_\_/2021  
Нашрга рухсат этилди: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ .2021 й.

Тошкент давлат транспорт университети босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100167, Тошкент шаҳар, Темирйўлчилар кўчаси, 1-уй.