

**РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМИЙ–ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2021.Т.142.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМИЙ–ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

ЕГАМБЕРДИЕВ БЕХЗОД БАХТИЯРОВИЧ

**ТЕЗЮРАР ПОЕЗД ҲАРАКАТИ ФАЗОВИЙ МАСАЛАСИНИНГ
АЭРОДИНАМИК МОДЕЛЬ ВА ҲИСОБЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ
АСОСИДА ҚАРШИЛИГИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи.

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

Тошкент – 2023

УДК: 519.6:629.4.015

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

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

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

Егамбердиев Бехзод Бахтиярович

Тезюар поезд харакати фазовий масаласининг аэродинамик модель ва хисоблаш алгоритмлари асосида қаршилигини тадқиқ қилиш3

Егамбердиев Бехзод Бахтиярович

Исследования сопротивлений пространственных задач движения высокоскоростных поездов на основе аэродинамических моделей и вычислительных алгоритмов21

Egamberdiev Behzod Bakhtiyarovich

Studies of the resistances of spatial problems of movements high-speed trains based on aerodynamic models and computational algorithms39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works42

**РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМИЙ–ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2021.Т.142.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМИЙ–ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ**

ЕГАМБЕРДИЕВ БЕХЗОД БАХТИЯРОВИЧ

**ТЕЗЮРАР ПОЕЗД ҲАРАКАТИ ФАЗОВИЙ МАСАЛАСИНИНГ
АЭРОДИНАМИК МОДЕЛЬ ВА ҲИСОБЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ
АСОСИДА ҚАРШИЛИГИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи.

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

Тошкент – 2023

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.1.PhD/T2641 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Рақамли технологиялар ва сунъий интеллектни ривожлантириш илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.airi.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Равшанов Нормаммад
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Хўжаев Исмаилов Кушаевич
техника фанлари доктори, профессор

Мухамедиева Дилдора Кабиловна
техника фанлари доктори (DSc)

Ўтақчи ташкилот:

**«ММФИ» миллий тадқиқот ядро университети»
федерал давлат автоном олий таълим муассасаси**

Диссертация ҳимояси Рақамли технологиялар ва сунъий интеллектни ривожлантириш илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги DSc.13/30.12.2021.T.142.01 рақамли Илмий кенгашининг 2023 йил «17» феврал соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, М.Улуғбек тумани, Бўз-2 мавзеси, 17А уй. Тел.: (99871) 263-41-98; e-mail: info@airi.uz).

Диссертация билан Рақамли технологиялар ва сунъий интеллектни ривожлантириш илмий-тадқиқот институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (24 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, М.Улуғбек тумани, Бўз-2 мавзеси, 17А уй. Тел.: (99871) 263-41-98; e-mail: info@airi.uz).

Диссертация автореферати 2023 йил «02» феврал куни тарқатилди.

(2022 йил «30» декабр даги 34 рақамли реестр баённомаси).



Р.Х. Ҳамдамов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор

Ф.М. Нуралиев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қотиби, техника фанлари доктори, доцент

Ф.М. Нуралиев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация иши мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Жаҳонда тезюарар поезд ҳаракатининг аэродинамик қаршиликларини ҳисоблашда илғор ахборот технологияларини жалб этиш орқали математик моделларини яратиш ва ҳисоблаш алгоритмлари асосида қаршилигини тадқиқ қилиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Дунёнинг ривожланган мамлакатларида, жумладан, Япония, Германия, Ҳитой, Франция, Испания, Россия Федерацияси ва бошқа мамлакатларда тезюарар поездларнинг ҳаракати туфайли атроф муҳитга бўлаётган таъсири ва ҳавфсизлигини таъминлаш мақсадида аэродинамик қаршилигини катта қувурлар ёрдамида экспериментлар ўтказиш ва уларнинг натижалари ёрдамида башоратлаш тизимларининг математик модели, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотларини яратиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда, тезюарар поездлар ҳаракатининг аэродинамик жараёнларни ўрганиш учун математик моделлар ва дастурий таъминотни ишлаб чиқишда мақсадли тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу илмий-техник йўналишга катта қизиқиш мавжуд бўлиб, темир йўл транспортида ҳаракатланувчи таркиб юзаларида шикастланиш пайдо бўлишини, ўқ бўйлаб ҳаво оқимларининг атрофдаги объектларга таъсир даражасини аниқлаш учун тегишли математик моделлар ёрдамида башорат қилиш, шунингдек ҳавфсизлик қоидаларини янгилаш имкониятини яратади. Барча саноати ривожланган мамлакатларда юқори тезликдаги йўловчи поездлари ҳаракати пайтида аэродинамик жараёнларни таҳлил қилиш ва прогнозлаш муаммоларини ҳал қилиш учун математик моделларни, ҳисоблаш алгоритмларини ва дастурий воситаларни янада ривожлантириш билан боғлиқ муаммолар, шунингдек, темир йўл транспорти ҳавфсизлигини ошириш муаммолари доимо мавжуд ва долзарбдир.

Ўзбекистон Республикасида тезюарар ва ўта тезюарар поездларнинг ривожланиши тўхтовсиз давом этмоқда, шу билан бирга тезюарар транспортни ривожлантириш «Ўзбекистон Темир йўллари» акциядорлик жамияти учун стратегик устувор йўналиш ҳисобланади. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «йўл-транспорт инфратузилмасини янада ривожлантириш, иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, ...йўл-транспорт, муҳандислик-коммуникация ва ижтимоий инфратузилмани ривожлантириш ҳамда модернизация қилиш»¹ вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларнинг муваффақиятли бажарилиши учун темир йўллардаги ҳаракат ҳавфсизлиги муҳим аҳамиятга эга бўлиб уни амалга оширишда математик моделлар ва дастурий таъминотлар ёрдамида амалга ошириш мумкинлигини белгилайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Тез юарар йўловчи поездлари ҳаракатини ташкил этган ҳолда «Қарши-Китоб» темир йўл линиясини

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасининг янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармон.

электрлаштириш» инвестиция лойиҳасини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида, 2017 йил 10 июлдаги ПҚ-3121-сон, «2018-2022 йилларда транспорт инфратузилмасини такомиллаштириш ва юк ташишнинг ташқи савдо йўналишларини диверсификациялаш чора-тадбирлари тўғрисида» 2017 йил 2 декабрдаги ПҚ-3422-сон қарори ва «Ички туризм хизматларини диверсификация қилишга оид кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2022 йил 30 мартдаги ПҚ-232-сон қарорлари, ҳамда Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг «Техник жиҳатдан фойдаланишда темир йўл транспорти хавфсизлиги тўғрисида»ги умумий техник регламентни тасдиқлаш ҳақидаги 2012 йил 04 июлдаги 192-сон ва «2022-2026 йилларда Хоразм вилоятининг туризм салоҳиятини комплекс ривожлантириш бўйича кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида» 2022 йил 28 сентябрдаги 546-сон қарорлари ва мазкур фаолиятга тегишли бошқа норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Темир йўл транспорти ҳаракатининг хавфсизлигининг муаммоларини ҳал қилишда ҳар-хил мураккабликдаги ва конфигурациядаги аэрогидродинамик қаршилиқнинг, ер юзасидаги заррачаларнинг кўчиши, ер юзасидаги заррачалар кўчишининг ҳаракатланиш қонунияти ва эркин фазода ёки транспорт (автомобиллар, поездлар, самолётлар, кемалар ва бошқалар) ҳаракатидан ҳосил бўлган аэрогидродинамик оқимларни ўрганиш масалаларига куйидаги хорижий олимлар ҳисса қўшганлар: Walter Frei, Antun Stipetic, Zdravko Tos, Davor Janjic, Cheng-Hua Shi, Ang Wang, Xiao-He Sun, Wei-Chao Yang, Э.К. Бютнер, В.И. Арнольд, S. Goldstein, L. Rosenhead, Л.Г. Лойцянский, В.В. Кравец, Е.В. Кравец, Л.В. Готиш, Г.Ю. Степанов, Г.Н. Абрамович, Р.З. Даутов, М.М. Карчевский, В.П. Осипов, Т.В. Сивакова, В.А. Судаков, Ю.И. Нечаев, В.В. Макаров ва бошқалар.

Ўзбекистонда Х.А. Рахматулин, А.А. Хамидов, Н. Равшанов, Ш.С. Файзибаев, Р.Ш. Исанов, С.Т. Джаббаров ва бошқалар сиқилувчан сиртларнинг пенетрацион (ўзаро бир бирига кириб бориш) ҳаракатларининг газ динамикаси асослари учун математик моделлар ва рақамли алгоритмларни ишлаб чиқиш, ҳавонинг сиртга яқин қатлам динамикаси, кўп фазали ёпишқоқ суюқликлар оқими назариясига ва шунга ўхшаш масалаларга улкан ҳисса қўшишиган.

Юқорида этиб ўтилган, шунингдек, бошқа кўплаб хорижий ва маҳаллий олимларнинг саъй-ҳаракатлари туфайли ҳозиргача сезиларли натижаларга эришилган, аммо аэрогидродинамиканинг ҳар қандай муаммоларини, хоҳ ламинар, хоҳ турбулент оқимларнинг муаммоларини ҳал қилиш анча катта ҳисоблаш ресурсларини талаб қилади. Шу билан бирга, юқори тезликдаги

йўловчи поездлар хавфсизлигини ва атроф муҳит хавфсизлигини таъминлаш мақсадида тезюрар поездлар ҳаракати натижасида қаттиқ заррачаларнинг кўчишининг аэрогидродинамик жараёнларни таҳлил қилиш ва прогнозлаш муаммоларини ҳал қилиш учун математик моделларни, ҳисоблаш алгоритмларини ва дастурий воситаларни янада ривожлантириш билан боғлиқ муаммолар етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент Давлат Транспорт университети ва Рақамли технологиялар ва сунъий интеллектни ривожлантириш илмий-тадқиқот институтининг илмий-тадқиқот ишлари режаларининг АЗ-ФҚ-0-71229, АЗ-029 «Тезюрар электропоезд ҳаракатининг аэродинамик тадқиқоти (160 – 200 - 250 км/соат тезликлари учун)» (2012-2014) ва А-ОТ-2021-108 «Орол бўйлаб атроф-муҳит ва экологик вазият мониторинги ва прогнози учун ахборот таҳлилий дастурий маҳсулот» (2021-2022) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқот мақсади ҳаво оқими билан тезюрар поездини оқиб ўтиш ва унинг ҳаракати остида заррачаларнинг кўчиш процессини ҳисоблаш жараёнларининг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотларини яратишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

эллипсоид, текислик ва тезюрар поездларининг ҳаракатини имитация қилаётган икки текисликлар ҳаракатларидан ҳосил бўлган ўқ бўйлаб йўналган ҳаво оқимининг математик моделларини такомиллаштириш;

поезд таркибининг ҳаракати натижасида ҳосил бўлган учта ортогонал кесимни ифодаловчи оқимларнинг икки ўлчовли математик моделларини ишлаб чиқиш;

тезюрар поезд ҳаракати натижасида заррачаларнинг кўчиш моделини яратиш, қаттиқ заррачаларнинг кўчиши учун критик тезликларни аниқлаш, қаттиқ жисимларнинг кўчишининг сальтацион ҳаракатларининг қонуниятларини ўрнатиш;

темир йўл таркибининг ҳаракати таъсири остида ва ҳаво оқими масалаларини сонли усуллар ёрдамида ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурлар таъминотини яратиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида тезюрар поездлар (Талго 250, Афросиёб) ҳаракати ва уларнинг аэродинамик жараёнлари қаралган.

Тадқиқот предмети бу поезд ҳаракатининг аэродинамикаси ва қаттиқ заррачаларнинг кўчиш қонуниятларини ўрганиш учун математик моделлар, сонли алгоритмлар ва дастурлар воситасидир.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот давомида аэродинамика масалаларининг математик моделлаштириш, конформал акслантириш ва сонли усуллардан фойдаланилган.

Тадқиқотининг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

потенциал ҳаво оқими орқали тезлик майдонлари, нормал ва уринма кучланишлар, бўйлама ва кўндаланг аэродинамик кучларни аниқлаш ҳисобига

эллипсоид атрофидаги оқим жараёнининг математик модели такомиллаштирилган;

ҳавонинг пастки ёпишқоқ қатламидаги тезлик профилларини ҳисоблаш ва уринма кучланиш қийматини аниқлаш асосида бир текислик бўйлаб ва икки текислик орасидаги икки қатламли ҳаво оқимининг математик моделлари такомиллаштирилган;

тезюарар поездининг уч ортогонал кесимларини ҳисобга олган ҳолда атрофидаги ҳаво оқимларининг икки ўлчовли математик моделлари ҳамда ҳаво босими ва тезлик профилларини ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

заррачаларнинг шакли, оғирлиги ва зичлигини ҳисобга олган ҳолда тезюарар поезд ҳаракати натижасида заррачаларнинг ер устки қатламидан кўчиш жараёнинг математик моделлари ҳамда критик кўчиш тезлиги ва уларнинг сальтация вақтидаги траекторияларини ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

темир йўл ҳудудида қурулиш тузилмаларини лойиҳалаш учун фойдали бўлган бир йўналишда ва қарама-қарши ҳаракат қилувчи поездларнинг ҳаракати натижасида ҳосил бўлган ҳавонинг тезликлар майдони аниқланган;

заррачаларнинг кўчишини ҳисоблашдан келиб чиққан натижалар темир йўллар йўлагига солинадиган материалларни танлашда қўлланиляпти.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги тезюарар поезднинг ҳаракати натижасида поезднинг аэродинамикаси ва заррачаларнинг кўчишини аниқлашда маълум математик усуллар, тадқиқотлар ва моделлаштиришлардан фойдаланиб олинган натижалар ўтказилган тажрибалар билан мослиги изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти тезюарар поездини ўқ бўйлаб оқими ҳақидаги икки ўлчовли математик моделларни қуриш бўлиб, уларнинг ечимлари қаршилиқ кучларини ва заррачалар кўчишининг критик тезлигини баҳолашга имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти тезюарар поездлар ва атроф-муҳит хавфсизлигини таъминлаш, ҳамда Афросиёб (Талго 250) тезюарар поездлари ҳаракати пайтида ер юзасидаги компонентларининг массаси ва зичлигини аниқлаш учун ишлатилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Тезюарар поездларнинг аэродинамикасини ўрганиш натижалари асосида:

бир ва икки текисликлар ҳаракатидан иборат бўлган ҳолатларни ўрганиш доирасида аниқланган ёпишқоқ ҳавонинг пастки қатламидаги тезликлар профили ва қаттиқ сиртларга уринма кучланиш қиймати, ҳамда тезюарар поезднинг учта текисликдаги аниқланган қаршилиқ кучлари ва учта ортогонал кесимдаги ҳавонинг профил тезликлари бўйича олинган математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлар ва дастурий таъминот «Ўзбекистон темир йўллари» акциядорлик жамиятига жорий қилинган («Ўзбекистон темир йўллари» АЖнинг 2022 йил 17 августдаги №01/2856-22-сон маълумотномаси).

Натижада тезюарар поездларнинг бутун йўналиши бўйлаб поезд ҳаракати ва атроф муҳитнинг хавфсизлиги таъминлашга хизмат қилган;

тезюарар поезд ҳаракати натижасида ер юзасидаги қаттиқ заррачаларининг кўчишининг математик моделлари ва заррачаларнинг кўчиш критик тезлиги, ҳамда улар ҳаракатларининг қонуниятларини ҳисоблаш алгоритмлари «Ўзбекистон темир йўллари» акциядорлик жамиятига жорий қилинган («Ўзбекистон темир йўллари» АЖнинг 2022 йил 17 августдага №01/2856-22-сон маълумотномаси). Натижада тезюарар поезди ҳаракати пайтида ер усти зарраларининг дефляцияси минималлаштириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур диссертация тадқиқотининг натижалари 3 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 17 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола, жумладан республика илмий журналларида 6 та, хорижий журналларда 4 та мақолалар чоп этилган, ҳамда дастурий маҳсулотларни рўйхатдан ўтказганлиги тўғрисида 2 та қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 110 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланади, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиясини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалар белгилаб олинган, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, ишнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этилганлик ҳолати ва нашр этилган ишлар келтирилган.

Диссертациянинг биринчи боби «**Аэродинамик қаршиликнинг фазовий масалаларининг моделларини шакллантириш**» учта параграфдан ташкил топади.

Биринчи параграфда тезюарар поезднинг ҳаракатининг аэродинамик қаршилиги математик модели шакллантирилган, бунда тезюарар поезд таркибининг конфигурацияси уч ўлчовли эллипсоид (1-расм) сифатида қабул қилинган:

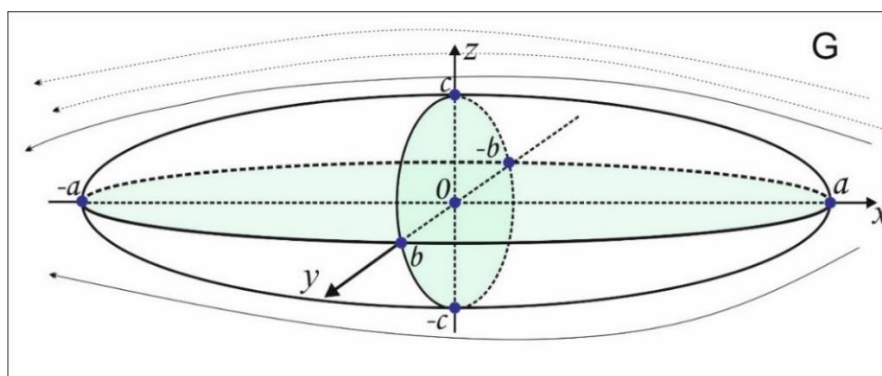
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1. \quad (1)$$

Сиқилмайдиган ҳавонинг ҳаракати Эйлер тенгламаси билан тасвирланган:

$$\operatorname{div} \vec{V} = 0, \quad \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} + \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p = 0. \quad (2)$$

Тезюарар поездининг $\vec{V}_n = V_n \vec{i}$ тезлик билан ҳаракат қилаётган вақтидаги сиқилмайдиган сирт қилиб қабул қилинган ҳаво тезлигининг потенциали $\varphi(x, y, z, t)$ топилган. Ҳавонинг вектор тезлиги $\vec{V} = \operatorname{grad} \varphi$ кўринишида аниқланган. Қидирилаётган ечим танлаб олиш учун, Лаплас тенгламасининг $\Delta \varphi = 0$ ечимини танлаб олиш учун эллипсоиднинг ташқи нуқталари учун Ньютон тортишиш потенциали асос қилиб олиган:

$$V_e(x, y, z) = \pi abc \int_0^\infty \left(\left(1 - \frac{x^2}{a^2 + u} + \frac{y^2}{b^2 + u} + \frac{z^2}{c^2 + u} \right) \frac{du}{\sqrt{a^2 + u} \sqrt{b^2 + u} \sqrt{c^2 + u}} \right). \quad (3)$$



1-расм. G соҳада OX ўқи бўйлаб мусбат йўналишда ҳаракат қилаётган уч ўлчовли эллипсоид

Чексизлик $\vec{V}_\infty = V_\infty (\cos \alpha \vec{i} + \cos \beta \vec{j} + \cos \gamma \vec{k})$ шартидан, бир нечта алмаштиришлардан сўнг, эллипсоиднинг ташқи нуқталари учун Ньютон тортишиш потенциали куйидаги кўринишга эга бўлган:

$$V_e = \pi [D - Ax^2 - By^2 - Cz^2], \quad (4)$$

ва ички нуқталари учун

$$V_i = \pi [D_0 - A_0 x^2 - B_0 y^2 - C_0 z^2]. \quad (5)$$

Худди шундай эллипсоиднинг тортишиш кучи ҳам топилган:

$$X = 2\pi Ax; \quad Y = 2\pi By; \quad Z = 2\pi Cz. \quad (6)$$

Аэродинамика ва Ньютоннинг тортишиш масалаларини таққослаш натижасида доимий тезлик билан ҳаракатланувчи жисмга нисбатан ҳаво тезлигининг потенциали аниқланган:

$$\varphi = V(x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma) + \frac{Ax \cos \alpha}{2 - A_0} + \frac{By \cos \beta}{2 - B_0} + \frac{Cz \cos \gamma}{2 - C_0} \quad (7)$$

Уринма кучланиш босими $p = p_0 - \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{\rho V_n^2}{2}$ формуласи орқали аниқланган ва ундан қаршилик кучини

$$\vec{R} = 2p \int_S \left(\frac{x\vec{i}}{a^2} + \frac{y\vec{j}}{b^2} + \frac{z\vec{k}}{c^2} \right) dS$$

ва асосий моментни

$$\vec{L} = \iint_S p[\vec{r}, \vec{n}] dS = \int_{(S)} \left(p_0 - \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \rho \frac{\partial V^2}{\partial 2} \right) [\vec{r}, \vec{n}] dS,$$

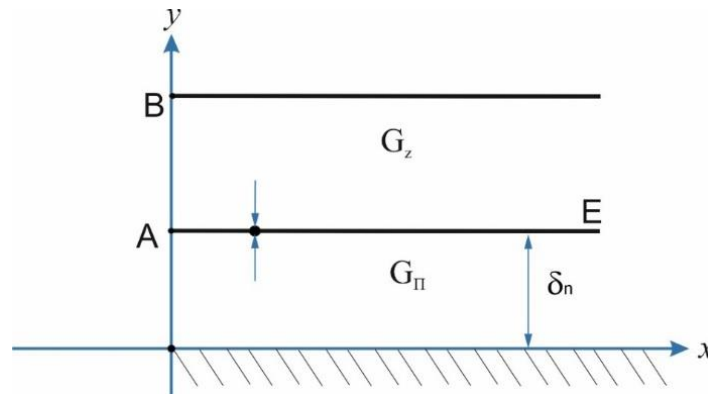
ҳисоблашда фойдаланилган, бунда \vec{n} – S уч ўлчовли эллипсоиднинг ташқи сиртга орт нормали

$$\vec{n} = \text{grad} \left[\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} \right];$$

\vec{r} – M нуқтанинг радиус вектори, $\vec{r} = (x - x_0)\vec{i} + (y - y_0)\vec{j} + (z - z_0)\vec{k}$.

Шундай қилиб, шаклланган модел уч ўлчовли эллипсоид атрофидаги оқимнинг аэродинамикасини батафсил ўрганишга имкон беради, бунда биз барча мумкин бўлган кўрсаткичларни кўришимиз мумкин.

Иккинчи параграфда тезюар поезд ҳаракати натижасида ҳосил бўлган икки қатламли ҳаво оқими (2-расм) масаласи учун математик модел ишлаб чиқилган. x ўқи трасса бўйлаб жойлашган, AE ҳаракатланувчи текисликни ифодалайди. G_z соҳасида ҳаво идеал деб, AE ва x ўқи орасидаги соҳа эса ёпишқоқ суюқлик деб ҳисобланади.



2 - расм. G_z ва G_n соҳанинг икки қатлами ҳаво оқими

G_z соҳаси учун бу жараён политропик $p = p_0 (\rho / \rho_0)^n$ деб ҳисоблаб, босим майдони топилган:

$$p = c\rho \frac{n-1}{n} - \frac{V^2(x, y)}{2} \frac{n-1}{n}. \quad (8)$$

G_n соҳаси учун чегаравий қатлам назариясининг яқинлашиш тезлик профили аниқланган

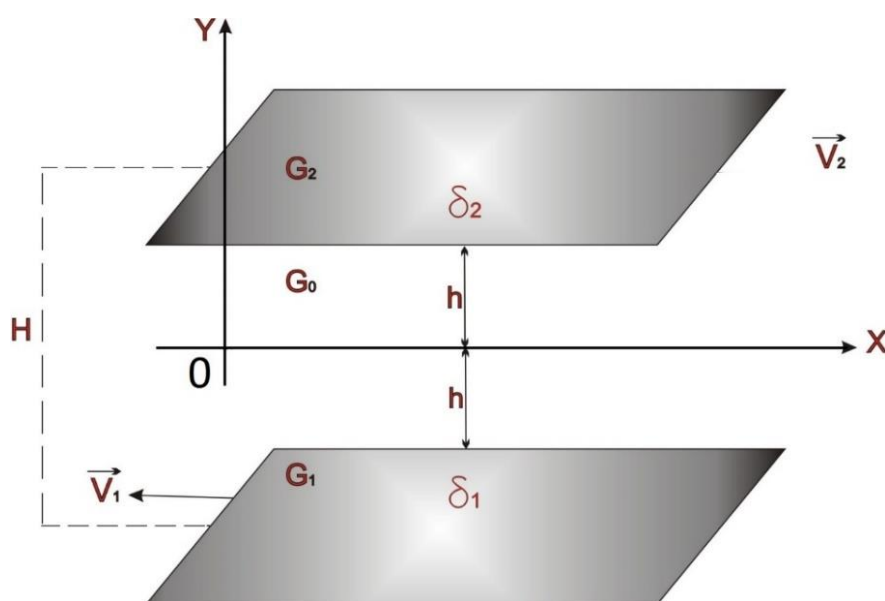
$$\hat{u} = \frac{1 - e^{\lambda^* 2V_0 \hat{x}}}{1 + e^{\lambda^* 2V_0 \hat{x}}} V_0,$$

бу эса уринма кучланиш қийматини аниқлаш имконини беради (V_0 – поезднинг тезлиги; \hat{x} – узулиш нуқтасидан ўлчовсиз узоқликда жойлашган масофа; $\lambda^* = v / \hat{u}_0 L$).

Учинчи параграфда қарама-қарши ҳаракатланаётган поездлар (3-расм) ҳаракати аэродинамикасининг математик модели ишлаб чиқилган. Ушбу масалада асосий эътибор поездларнинг тескари ҳаракатини ифодаловчи икки текислик орасидаги оқимни ўрганишга қаратилган. Ушбу соҳа учун тенглама қуйидаги шаклга эга:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (9)$$

баратропик жараёнда: $v \frac{\partial \Omega}{\partial x} = v \frac{\partial^2 u(y)}{\partial y^2}$.



3-расм. Ўзъаро паралел бўлагн иккита текисликнинг тўғри чизик бўйлаб бир бирига қарама-қарши ҳаракати

(9) системани ечишда икки тана орасидаги ўлчовсиз шаклда тезликлар тақсимоти топилган:

$$\hat{u}(\hat{y}) = \text{Re} \frac{\partial \hat{p}}{\partial \hat{x}} \frac{\hat{y}^2}{2} + C_1 \hat{y} + C_2, \quad (10)$$

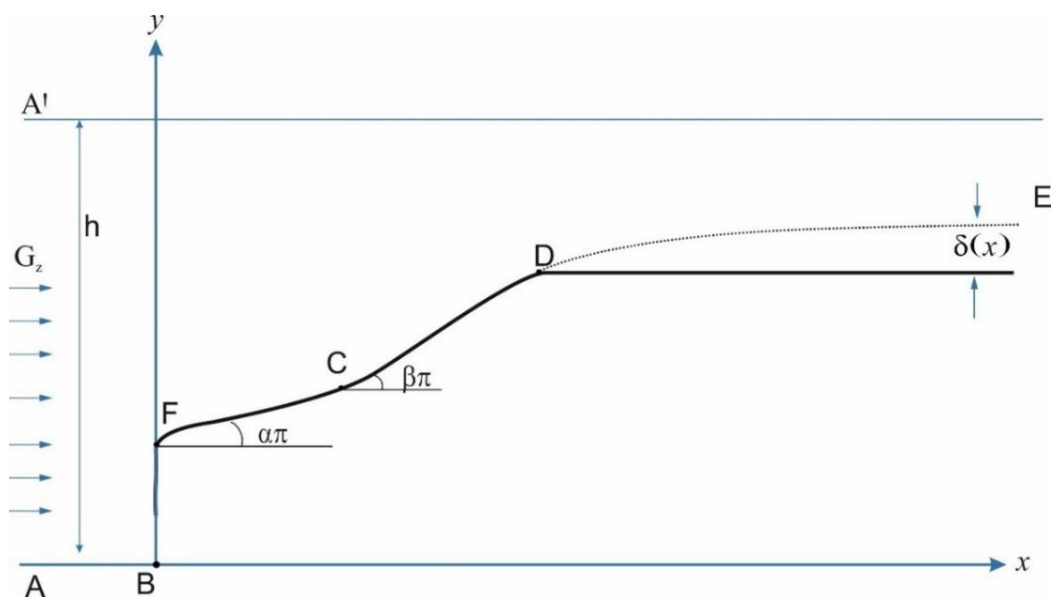
ва уринма кучланиш қуйидаги кўринишда аниқланган:

$$\tau_{xy} = \mu \frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{y}} = \mu \frac{\partial}{\partial \hat{y}} \left[\frac{\text{Re}}{2} \frac{\partial p}{\partial x} (y^2 - h^2) + \frac{V_{1n} + V_{2n}}{2h} y + \left(\frac{V_{2n} - V_{1n}}{2} \right) \right]. \quad (11)$$

Биринчи боб натижаларига кўра: биринчи бор уч ўлчовли эллипсоид аэродинамикаси фазовий масаласининг тўлиқ шакилланган математик модели фойдаланилган, ҳамда икки қатламли ҳаво оқими масаласи учун математик модел ишлаб чиқилган ва қарама-қарши ҳаракатланаётган паралел текисликлар аэродинамикаси модели ишлаб чиқилган.

Диссертациянинг иккинчи боби «**Вертикал, горизонтал ва фронтал кесимларда тезуар поезд аэродинамикасининг икки ўлчовли математик моделлари**» учта параграфдан ташкил топган.

Биринчи параграфда тезуар поезднинг вертикал текисликда ҳаракатланиши пайтида аэродинамик қаршилигининг модели ва ҳисоблаш алгоритми шакллантирилган. Амалий нуқтаи назардан масалани ечиш давомида аниқланадиган икки қатламли ҳаво оқими ҳаракатига эгамиз (4-расм): ёпишқоқ $\delta(x)$ қалинликдаги қатламга ва юқоридаги чегаравий қатламга. x ўқи бўйлаб йўналтирилган (\overline{AB}) поезддан узоқ масофада A нуқтада жойлашган идеал суюқлик заррачаларининг тезлиги $V_A = V_n$ бўлади. Ҳаво оқимининг майдони $ABFCDE$ нуқталардан ўтувчи эгри чизик оқими бўлади, бунда DE – эркин сирт. Ҳосил бўлган ҳаво оқиминг заррачаларининг ҳаракати потенциал деб ҳисоблаймиз, у ҳолда ҳаво оқими заррачаларининг тезлиги $\vec{V} = grad\varphi$ тенгламаси билан топилади, бунда $\varphi(x, y)$ потенциал тезлик деб ҳисобланади. Узилуксизлик тенгламаси $\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0$ кўринишга эга, бунда u, v – ҳаво оқими заррачаларининг тезлик векторининг компоненталари.



4-расм. Поезд ҳаракатининг вертикал текисликдаги ҳаво оқими

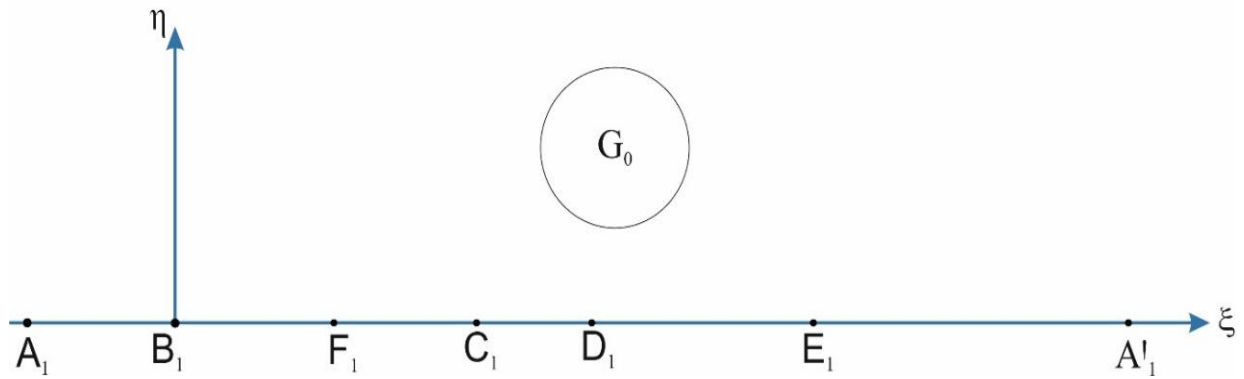
Ток функцияси $\psi(x, y)$, куйидаги боғлиқларга кўра киритилган:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (12)$$

бунда $\rho = \begin{cases} const & \text{при } M < 0,3 \\ \text{переменная} & \text{при } M \geq 0,3 \end{cases}$ ва M – Мах сони. Комплекс

потенциал киритилгандан сўнг $w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$, бунда $z = x + iy$ потенциал тезлик, ρ – аналитик функция бўлади.

G_z оқим соҳасининг G_0 соҳасига акслантирилган (5-расм).



5-расм. G_z оқим соҳасининг G_0 соҳасидаги кўриниши

Унда киритилган потенциал тезлик функцияси $\varphi(x, y)$ ва ток функцияси $\psi(x, y)$ Лапласа тенгламасини қаноатлантиради, комплекс потенциали $w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ эса G_z $z = x + iy$ соҳасида ҳам G_0 каноник соҳасида ҳам аналитик функция бўлади, бунда $\zeta = \xi + i\eta$, ξ ва η ζ -нинг мос равишда ҳақиқий ва мавҳум қисимлари ҳисобланади. Чегараларни мос келиш принциpidан фойдаланиб, Жуковский функцияси киритилади:

$$\omega(\zeta) = \ln \frac{V_0}{\bar{V}(\zeta)} = \ln \frac{V_0}{V(\zeta)} + i\theta,$$

бунда $\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$ – тезлик вектори; θ – ҳаво заррачаларининг тезлик векторини горизонтига нисбатан оғиш бурчаги. Чегаравий шартлардан фойдаланган ҳолда G_0 соҳада $\omega(\zeta)$ кўринишида Жуковский функцияси аниқланган:

$$\omega(\zeta) = \sqrt{\zeta - 1}\sqrt{\zeta - e}\omega_1(\zeta).$$

Вертикал текисликда тезликлар майдонини ҳисоблаш алгоритми

G_0 оқим соҳасида $\omega_1(\zeta)$ функцияси қуйидагича аниқланган:

$$\omega_1(\xi) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\text{Im} \omega_1(t) dt}{t - \xi}.$$

Бунда қидиралаётган $\omega_1(\zeta)$ функцияси учун Шварц интеграл формуласидан фойдаланиб G_0 соҳасида чегаравий қийматларни ҳисобга олган ҳолда қуйидаги кўринишга келамиз:

$$\omega_1(\zeta) = \frac{1}{\pi} \left\{ \int_0^f \frac{\frac{\pi}{2} dt}{\sqrt{1-t}\sqrt{e-t}(t-\zeta)} + \int_f^c \frac{\alpha\pi dt}{\sqrt{1-t}\sqrt{e-t}(t-\zeta)} + \int_c^1 \frac{\beta\pi dt}{\sqrt{1-t}\sqrt{e-t}(t-\zeta)} \right\},$$

сўнг аналитик усул билан ечиб қуйидаги тенгликни топамиз:

$$\omega_1(\zeta) = -\frac{2}{\sqrt{\zeta - e}\sqrt{\zeta - 1}} \left\{ \ln F(0, \zeta) [F(f, \zeta)]^{1-2\alpha} [F(c, \zeta)]^{2(\beta-\alpha)} \right\}. \quad (13)$$

Жуковский функциясида G_0 соҳаси учун туташ комплекс тезликнинг тақсимои топилган:

$$u - iv = \bar{V}(\zeta) = V_0 \mathbb{F}(\zeta),$$

$V_n = V_0 \lim_{\xi \rightarrow \infty} F(\xi, 0)$ шартидан DE эркин соҳадаги заррачаларнинг тезлиги топилган, бу ерда $\eta = 0$ ва $\xi \rightarrow \infty$ лимитни ҳисоблаш натижасида қуйидаги тенглик аниқланган

$$V_n = V_0 \Phi_0(f, c, e),$$

бунда

$$\Phi_0(f, c, e) = \frac{\sqrt{e-f} + \sqrt{1-f}}{\sqrt{e+1}} \cdot \left(\frac{\sqrt{e-c} + \sqrt{1-c}}{\sqrt{e-f} + \sqrt{1-f}} \right)^{1-2\alpha} \cdot \left(\frac{\sqrt{e-1} + 1}{\sqrt{e-c} + \sqrt{1-c}} \right)^{2\beta-2\alpha},$$

f, c, e – нинг қийматлари эса кейинги кадамда сонли усул билан ҳисобланган.

Мос келувчи нуқталарни G_z соҳасидан G_0 соҳасига акслантирувчи функция ёрдамида G_z соҳасидаги ҳаво заррачаларининг тезликлар сирти параметр кўринишида келтириб чиқарилган, бунда G_z соҳаси G_0 соҳасига акслантирилиши учун z ва ζ ўзгарувчиларнинг бир бирига қарамлиги қуйидаги кўринишда аниқланган:

$$\hat{z}(\zeta) = \frac{z(\zeta)}{H} = \frac{\Phi_0}{\pi} \int_0^{\zeta} \frac{d\xi}{(e-\xi)\mathbb{F}(\xi)}. \quad (14)$$

Тезликларнинг сирт тақсимои қуйидагича топилган:

$$\hat{u} = [\hat{x}(\xi, \eta), \hat{y}(\xi, \eta)] \quad \text{ва} \quad \hat{v} = [\hat{x}(\xi, \eta), \hat{y}(\xi, \eta)],$$

бу ерда

$$\hat{x}(\xi, \eta) = \operatorname{Re} \left(\frac{\Phi_0}{\pi} \int_0^{\xi} \frac{d\tau}{(e-\tau)\mathbb{F}(\tau)} \right); \quad \hat{y}(\xi, \eta) = \operatorname{Im} \left(\frac{\Phi_0}{\pi} \int_0^{\xi} \frac{d\tau}{(e-\tau)\mathbb{F}(\tau)} \right). \quad (15)$$

Ҳамда сиқилувчан суюқлик учун, политропик жараёнда, босим ва зичлик қуйидагича:

$$p = p_0 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \tau_0 \right)^{\gamma+1}, \quad \rho = \rho_0 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \tau_0 \right)^{\gamma}, \quad \tau = \tau_0 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \tau_0 \right)^{\gamma}, \quad (16)$$

бу ерда $\gamma = \frac{1}{n-1}$, $\tau_0 = \frac{V^2}{V_{\max}^2} = \frac{n-1}{n+1} M_0^2$, $M_0 = \frac{V_0}{a}$ – эркин сирт бўйлаб Мах сони,

a – атмосферада товушни тарқалиш тезлиги, n – политропия кўрсаткичи. Ҳамда DE эркин сиртида ҳавонинг тезлик қиймати қуйидагича бўлади:

$$V_0 = \frac{V_n}{\Phi_0}.$$

(14) ва (15) сингуляр интегралларни ҳисоблаш учун тақрибий ҳисоблаш Симпсон усули қўлланилди. Delphi дастурлаш муҳитида тузилган дастур ёрдамида Афросиёб поездининг конфигурациясига 1мм аниқлик билан мос

келувчи номаълум $f=0.08$; $c=0.44$; $e=1.08$ қийматлар топилди (6-расм). x ва y учун тегишли якуний натижалар 7-расмда кўрсатилган.

Form1

H Tal'go: 5
 Alfa: $\pi/9$
 Beta: $\pi/4$
 N: 50

Lbf: 1.1
 Lfc: 2.3
 Lcd: 2.1

Start
 Clear
 STOP

Minimum

0.01 <=f<= 0.3 HF 0.01 1.15073128132448
 0.31 <=c<= 0.91 HC 0.01 2.28241486930221
 1.01 <=e<= 1.21 HE 0.01 2.09885071608089

#	f	c	e	Lbf	Lfc	Lcd	Φ_0
34788	0.29	0.9	1.08	2.40234638263029	2.12894638692039	0.292505061726864	0.560616101881235
34789	0.29	0.9	1.09	2.25883545187493	1.9876968240039	0.267106841345877	0.560300972637481
34790	0.29	0.9	1.1	2.13714777698911	1.86793671513525	0.245974352863448	0.559699665769782
34791	0.29	0.9	1.11	2.03222088929176	1.76472576775397	0.228089566982216	0.558884646200154
34792	0.29	0.9	1.12	1.9405005275306	1.67458595933955	0.212740042595941	0.557907830240986
34793	0.29	0.9	1.13	1.85940778374056	1.59498704038836	0.199410895798057	0.556807353816242
34794	0.29	0.9	1.14	1.78701968919925	1.5240375738365	0.187719964030238	0.555611809797432
34795	0.29	0.9	1.15	1.72186903148395	1.4602909553541	0.177377148438757	0.554343004041953
34796	0.29	0.9	1.16	1.6628141323908	1.40261899892479	0.168157964486185	0.553017805960067
34797	0.29	0.9	1.17	1.60895140939623	1.35012690191988	0.159885790363595	0.551649425067341
34798	0.29	0.9	1.18	1.5595550404292	1.30209446303046	0.152419628764448	0.550248312193565
34799	0.29	0.9	1.19	1.5140343300492	1.25793447184173	0.145645470246347	0.548822808617131
34800	0.08	0.44	1.08	1.15073128132448	2.28241486930221	2.09885071608089	0.424006708096376

6-расм. «Solutions of the conformal mapping method for a high-speed train» дастйрий мажмуасининг интерфейси



7-расм. Поезд таркибининг устида ҳаво зарраларининг сиртга тарқалиши тезликлари майдони

Худди шундай иккинчи параграфда ҳам, горизонтал текисликда ҳаракат қилаётган поезд таркиби атрофдаги ҳаво зарраларининг сиртга тарқалиш тезликлари ва босими аниқланган.

Учинчи параграфда вертикал текислик моделига асосланиб (2.1-§га қаранг) фронтал текислик учун қуйдагилар топилган: эркин сиртдаги тезлик модули; вагоннинг ён деворидаги тезлиги; вагон сиртидаги ҳаво оқими зарраларининг тезлиги; $H_0 = 3.395$ м масофасидаги тезликни тарқалиши; DA' соҳаси бўйлаб босим; $\Delta h_E = 2,6061 \cdot l_{BF}$ кенгликдаги ҳаво оқими зарраларининг тезлиги.

Иккинчи бобда амалга оширилган ҳисоб-китоблар натижасига кўра 5 метрдан ортиқ масофада тезюрар поезднинг 230 км/соатидан ошмайдиган тезлик билан ҳаракатланиши вақтида ҳаво оқими томонидан ҳосил бўлган босим аҳамиятсиз. Шунга кўра, ҳимоя тузилмалари ва бошқа кенгайтмалар темир йўл йўлагидан 5 метр ва ундан ортиқ масофада ўрнатилиши мумкин.

Диссертациянинг учинчи боби «Тезюрар поезд ҳаракатининг таъсири остида ер юзасидаги заррачаларнинг кўчиш моделларини шакллантириш» тўртта параграфдан ташкил топган.

Биринчи параграфда Э.К. Бютнер усули асосида қаттиқ заррачаларнинг чизиқли аэрогидродинамик кучи ва заррачаларнинг оғирлик кучи таъсири остида ҳаракатланиш тенгламаси тузилган.

Тезюрар поезд шамоли таъсирдан қаттиқ зарраларнинг кўчиш ҳаракатининг қонуниятлари шамол тезлигига ва динамик параметр $\Phi_0 = \frac{C_3 \rho_e w_0^2}{C_2 \rho_q g d_q} (1 - \cos \beta) = \frac{w_0^2}{g d_q} (1 - \cos \beta)$ -га боғлиқлиги аниқланган. Бу ерда $C_2 = 0.8$, ва $C_3 = 0.6$ кум заррачасининг коэффициенти, ρ_q – заррачанинг зичлиги, ρ_e – ҳавонинг зичлиги, d_q – заррачанинг диаметри, w_0 – гидравлик катталиқ, β – заррачанинг кўчиш бурчаги. Заррачаларнинг кўчиш траекториясини топиш учун қуйидаги формулалар келтириб чиқарилган:

$$\hat{x}_q(\tau) = \hat{x}_0 + \hat{u}\tau \left[1 - \frac{\ln[1 + \Phi_0 \hat{u}\tau]}{\Phi_0 \hat{u}} \right],$$

$$z_q(\tau) = \left(1 + \frac{1}{2\Phi_0 \hat{u}} \right) \frac{\ln(1 + \Phi_0 \hat{u}\tau)}{\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau}{2\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau^2}{4}. \quad (17)$$

(17) формулалар асосида ҳисоб – китоблар бажарилган ва кўчиш траекторияси 8-расмда кўрсатилган.

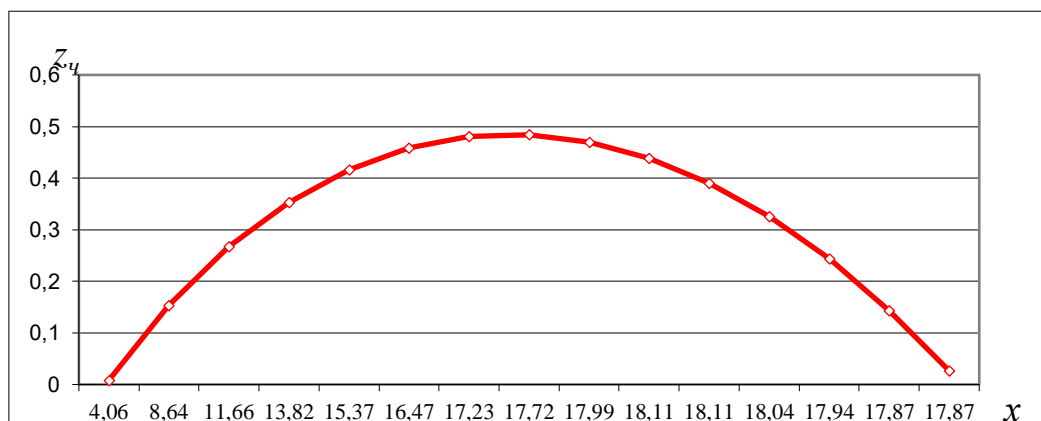


Рис. 8. Кўчган заррачанинг траекторияси

Иккинчи параграфда тезюрар поезди таъсири остида ҳосил бўлган ҳаво оқими билан трапетсиоидал (трапециевидной) кўринишда бўлган заррачаларни оқиб ўтиш масаласи ечилган. Масалани ечиш конформ акслантириш ва Жуковский формуласи ёрдамида амалга оширилган. Комплекс потенциал деб $\omega(\zeta) = \varphi(\xi, \eta) + i\psi(\xi, \eta)$ қабул қилинган. Шварц интеграл формуласидан фойдаланган ҳолда $\omega_1(\zeta)$ ва $\omega(\zeta)$ функцияларининг ифодалари аниқланган, бунда $\omega(\zeta) = \omega_1(\zeta)\sqrt{\zeta - 1}$. Масаланинг чегаравий шартлари қуйидагича қаноатлантирилган:

$$\omega(\zeta) = \omega_1(\zeta)\sqrt{\zeta - 1} = \ln \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta = \ln \frac{V_0}{V}.$$

Конжугат (сопряженная) комплекс тезлик учун:

$$\bar{V}(\zeta) = V_n \frac{F(0, e)}{F(\zeta)},$$

координаталар учун эса –

$$z(\zeta) = \frac{H}{\pi} \int_0^\zeta \frac{d\zeta}{F(\zeta)(e - \zeta)}, \quad (18)$$

бу ерда $H = q = V_q H$ кенгликдаги чизикнинг комплекс потенциалининг баландлиги ва $F(\zeta)$ қуйидаги тенгликлардан топилади:

$$F(\zeta) = \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta, \quad F(\zeta, f) = \left[\frac{\sqrt{\zeta - 1} + \sqrt{f - 1}}{\sqrt{\zeta - 1} - \sqrt{f - 1}} \frac{\sqrt{\zeta - 1} - 1}{\sqrt{\zeta - 1} + 1} \right]^\beta,$$

$$F(\zeta, c) = \left[\frac{\sqrt{\zeta - 1} - \sqrt{1 - c}}{\sqrt{\zeta - 1} + \sqrt{1 - c}} \right].$$

f ва c трапетсионал заррачанинг қирраларини конформал акслантиришдаги тугунлари ҳисобланади. G_z оқим соҳасига мос келувчи f ва c коэффициентларни топиш учун сингуляр интегралларни (18) 2.1-§даги каби сонли усул билан ҳисобланган. G_z соҳасидаги чегаравий соҳанинг қалинлиги бўйича тезликларни ўртачага ўтказишда, қаттиқ заррачаларга таъсир қилувчи ҳаво заррачалари ҳаракатининг ўртача тезлиги топилган. Қаттиқ заррачанинг тортишиш кучи доимийлигини ҳисобга олган ҳолда унга таъсир қилаётган гидродинамик куч остида заррачанинг кўчиш ҳаракати сальтацион бўлади. Унинг ўртача тезлиги қуйидагича аниқланган:

$$V_{cp} = \bar{V} \left(0, \frac{f + c}{2} \right) = V_0.$$

Ҳаво оқимининг босими $p = \rho V_0^2 / 2$ тенглик билан аниқланган. Заррачаларнинг ердан юзасидан узилиши $\alpha\pi$ бурчак остида ва V_0 тезлик билан содир бўлади.

Учинчи параграфда тезюрар поезд ҳаракатидан ҳосил бўлган ҳаво оқимининг таъсири остида поезд тагидаги ва поезд вагонлари атрофидаги

ҳавонинг тарқалиш тезликлари, ҳамда куч таъсирида n -та қаттиқ заррачаларнинг кўчиши тўғрисидаги масалалар кўрилган. Оқимнинг таъсир кучини ҳисобга олган ҳолда, қаршилиқнинг чизиқли қонуниятидан, ҳаво оқимининг поезд тагида ёки атрофида жойлашган заррачаларга таъсир қилувчи тенгламаси тузилган. Масалани ечишдан учун аввало тўсиқларни (n -та қаттиқ заррачалар) оқиб ўтишда тезликларнинг тарқалиши 3.2-§ даги каби топилган. Қаттиқ заррачаларнинг ер юзасидан кўчиш масаласини ўрганиш учун қаттиқ заррачаларнинг ҳаракат тенгламасидан фойдаланамиз.

Масалани ўлчовсиз ўзгарувчилар билан ечишда заррачаларнинг сальтацион ҳаракатининг тезликлари топилган:

$$u_v(\hat{z}, \tau) = V_n \frac{\Phi_0 \hat{u} \tau}{1 + \Phi_0 \hat{u} \tau}, \quad w_v(\hat{z}, \tau) = V_n \frac{1 - \tau - \Phi_0 \hat{u} \frac{\tau^2}{2}}{1 + \Phi_0 \hat{u} \tau}.$$

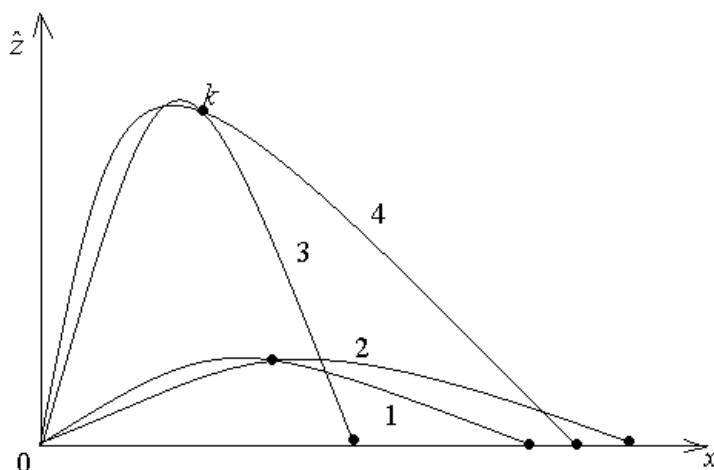
$\tau \left(= \frac{w_0}{g} t \right)$ ўлчовсиз вақт бўйича интеграллаш натижасида, ва ушбу

$\hat{z}(0) = \hat{h}$, $\hat{x}(0) = \hat{x}_0$, шартларни ҳисобга олган ҳолда, бу ерда $h = \frac{w_0^2}{g} \hat{h}$ - сирт

қатлами, ва шу сирт қатламидан қаттиқ заррачаларнинг кўчиш траекторияси куйидаги формулалар билан аниқланган:

$$\hat{x}_r(\tau) = \hat{x}_0 + \hat{u} \tau \left(1 - \ln \frac{\Phi_0 \hat{u} \tau}{\Phi_0 \hat{u}} \right), \quad z_r(\tau) = \left(1 + \frac{1}{2\Phi_0 \hat{u}} \right) \ln \frac{1 + \Phi_0 \hat{u} \tau}{\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau}{2\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau^2}{4}. \quad (19)$$

Бунда шакиллантирган сальтацион ҳаракатнинг модели (19), заррачаларнинг ҳаракатланиш траекторияси ва қонуниятини топиш имконини беради (9 – расм).



9-расм. Ҳар-хил параметрли заррачаларнинг сальтацион ҳаракати

Тўртинчи параграфда Джизах шаҳрида (Даштобод назорат пункти) тезюар поезд йўлида қаттиқ зарраларни (шағал) ердан кўчиши бўйича ўтказилган тажрибанинг натижалари кўрсатилган, бунда тезюар поезднинг тезлиги 180-230 км/соатигача етади. Аналитик ечимлар натижаси билан эксперимент натижаларини таққослаганда уларнинг мослиги аниқ бўлди.

Юқоридагидан келиб чиққан ҳолда таклиф қилинган модельни тезюарар поездининг таъсири остида ер сирти қатламидаги заррачаларнинг барқарорлигини ўрганишда ишлатиш мумкин.

ХУЛОСА

«Тезюарар поезд ҳаракати фазовий масаласининг аэродинамик модель ва ҳисоблаш алгоритмлари асосида қаршилигини тадқиқ қилиш» мавзусидаги диссертация иши доирасида олиб борилган тадқиқотлар натижалари юзасидан қуйидаги асосий хулосалар чиқарилди:

1. Эллипсоидни потенциал оқим билан узилишсиз оқиб ўтиш масаласи шакилланган ва ечилган, сирт тезликлари, нормал ва урунма кучланишлар ҳамда таъсир қилувчи аэродинамик кучлар аниқланган. Эллипсоиднинг катта ўқи оқим ўйналишига мос келганда, масала тезюарар поезднинг ҳаракатини ифодалайди.

2. Текисликнинг ҳаракти билан ёпишқоқ ҳавонинг пастги қатлами ҳосил бўлиш масаласининг ечими олинган. Унинг асосида босим сиртини, сиртга урунма кучланишининг қийматини ва бошқа аэродинамик кўрсаткичларини аниқлаш мумкин.

3. Куэтга масаласи доирасида икки поездларнинг қарама-қарши ҳаракатининг икки ўлчовли математик модели ишлаб чиқилган ва поездлар орсаидаги тезликлар сирти аниқланган.

4. Тезюарар поездининг учта кесими: симметрия текислиги, горизонтал ва фронтал кесимлари атрофида ҳаракат қилаётган икки ўлчовли чегаравий қатламининг математик моделлар таклиф қилинган. Ушбу масалани ечиш учун конформал акслантириш усули ишлатилган, урунма кучланишни ва поездга таъсир қилувчи аэродинамик кучларни топиш учун зарур бўлган икки ўлчовли сирт тезликлари сонли усул билан аниқланган.

5. Тезюарар поезд ҳаракати натижасида заррачанинг кўчиши ва заррачаларнинг кўчиши (ансамбл) модели ишлаб чиқилди, қаттиқ заррачаларнинг кўчишини камайтиришнинг критик тезлиги аниқланди, қаттиқ заррачаларнинг кўчиш ҳаракатининг сальтацион қонуниятлари ўрнатилди.

6. Заррачаларнинг кўчишининг назарий натижаларининг ишончлилиги пастги қатламдаги тошларни кўчиши бўйича ўтказилган тажриба натижалари билан таққослаш орқали исботланган.

7. Заррачаларни оқиб ўтиш ва уларнинг кўчишини конформал акслантириш усули доирасида икки ўлчовли масалаларини ечиш учун алгоритми ва дастурий воситалари ишлаб чиқилган.

8. Иш натижалари дастурий маҳсулотларини (№ DGU 20152 ва DGU 20153) ишлаб чиқиш учун ишлатилди ҳамда "Ўзбекистон темир йўллари" АЖ йўл хўжалиги ва юқори тезликдаги йўловчи поездлар ҳаракатини ташкил этиш ва фойдаланиш Бошқармаларида жорий қилинди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2021.Т.142.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
ИНСТИТУТЕ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

ЕГАМБЕРДИЕВ БЕХЗОД БАХТИЯРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ЗАДАЧ ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ НА
ОСНОВЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

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

Ташкент – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2022.1.PhD/T2641.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском институте развития цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Автореферат диссертации размещён на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на сайте Научного совета (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Равшанов Нормаммад
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Хўжаев Исматулло Кушаевич
доктор технических наук, профессор

Муҳаммедиева Дилдора Кабиловна
доктор технических наук (DSc)

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Защита диссертации состоится «17» февраля 2023 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.13/30.12.2021.T.142.01 при Научно-исследовательском институте развития цифровых технологий и искусственного интеллекта. (Адрес: 100125, г. Ташкент, Мирзо-Улугбекский р-н, Буз-2, 17А. Тел.: (99871) 263-41-98; e-mail: info@airi.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Научно-исследовательского института развития цифровых технологий и искусственного интеллекта (регистрационный номер №27). (Адрес: 100125, г. Ташкент, Мирзо-Улугбекский р-н, Буз-2, 17А. Тел.: (99871) 263-41-98).

Автореферат диссертации разослан «02» февраля 2023 года.

(реестр протокола рассылки № 34 от «30» декабря 2022 г.).



Р.Х. Хамдамов

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

Ф.М. Нуралиев

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, доцент

Ф.М. Нуралиев

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется задачам создания математических моделей расчета аэродинамического сопротивления при движении высокоскоростных поездов путем привлечения передовых информационных технологий и на основе расчета алгоритмов исследований его сопротивления. В развитых странах мира, включая Японию, Германию, Италию, Францию, Испанию, Российскую Федерацию и в других странах большое значение приобретает проблемы систем прогнозирования при создании математических моделей, алгоритмы расчета и программное обеспечение при вычислении аэродинамического сопротивления используя полученные данные экспериментов проведенных в больших трубах для обеспечения безопасности движения высокоскоростных поездов и их воздействия в окружающей среде.

Во всем мире проводятся целевые исследования по разработке математических моделей и программные обеспечения для исследования аэродинамических процессов при движении высокоскоростных поездов. Значительный интерес к данному научно-техническому направлению во многом обусловлен тем, что соответствующие математические модели позволяют прогнозировать появление повреждений на поверхностях подвижных составов, степень воздействия струйных течений воздуха на окружающие объекты, а также актуализировать регламенты безопасности для железнодорожного транспорта. Проблемы, связанные с дальнейшим развитием математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для решения задач анализа и прогнозирования аэродинамических процессов при движении высокоскоростных пассажирских поездов, а также задач повышения безопасности железнодорожных перевозок, неизменно актуальны во всех промышленно развитых странах.

В Республике Узбекистан развитие высокоскоростных поездов продолжается без перерыва, при этом развитие высокоскоростного транспорта является стратегическим приоритетом для акционерного общества "Ўзбекистон темир йўллари". В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи, в частности «дальнейшее развитие дорожно-транспортной инфраструктуры, внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления, ...развитию и модернизации дорожно-транспортной, инженерно-коммуникационной и социальной инфраструктур»¹. Для успешной реализации этих задач важна безопасность движения по железным дорогам и их путям, что определяет возможность ее реализации с использованием математических моделей и программного обеспечения.

Исследование, проведенное в данной диссертации, в определенной мере способствует реализации задач, поставленных в Постановлениях Президента

¹Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Республики Узбекистан от 10 июля 2017 года №ПП-3121 «О мерах по реализации инвестиционного проекта «Электрификация железнодорожной линии «Карши-Китаб» с организацией скоростного движения пассажирских поездов», от 2 декабря 2017 года №ПП-3422 «О мерах по совершенствованию транспортной инфраструктуры и диверсификации внешнеторговых маршрутов перевозки грузов на 2018-2022 годы», и от 30 апреля 2022 года №ПП-232 «О дополнительных мерах по диверсификации услуг внутреннего туризма», а также постановлениями Кабинета Министров от 4 июля 2012 года № 192 «Об утверждении общего технического регламента «О безопасности железнодорожного транспорта при технической эксплуатации» и от 28 сентября 2022 года №546 «О дополнительных мерах по комплексному развитию туристического потенциала Хорезмской области в 2022-2026 годах» и в других нормативных правовых актах, связанных с этой деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследовательская работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. В решении проблем по безопасности движения железнодорожного транспорта с различной сложности и конфигурации, аэрогидродинамическому сопротивлению, уносу частиц с поверхности земли, закономерностям движения унесенных твердых частиц и исследованиям аэрогидродинамических потоков, образованных движением транспорта (автомобилей, поездов, самолётов, кораблей и т.п.) или в свободной поверхности, внесли свой вклад такие учёные как: Walter Frei, Antun Stipetic, Zdravko Tos, Davor Janjic, Cheng-Hua Shi, Ang Wang, Xiao-He Sun, Wei-Chao Yang, Э.К. Бютнер, В.И. Арнольд, S. Goldstein, L. Rosenhead, Л.Г. Лойцянский, В.В. Кравец, Е.В. Кравец, Л.В. Готиш, Г.Ю. Степанов, Г.Н. Абрамович, Р.З. Даутов, М.М. Карчевский, В.П. Осипов, Т.В. Сивакова, В.А. Судаков, Ю.И. Нечаев, В.В. Макаров, и др.

В Узбекистане Х.А. Рахматулин, А.А. Хамидов, Н. Равшанов, Ш.С. Файзибаев, Р.Ш. Исанов, С.Т. Джаббаров и др. внесли большой вклад в разработку математических моделей и численных алгоритмов, основам газодинамики взаимопроникающих движений сжимаемых сред, динамике приповерхностного слоя воздуха, теории струй многофазных вязких жидкостей и т.п.

Благодаря усилиям отмеченных, а также многих других зарубежных и отечественных ученых, к настоящему времени уже получены значительные результаты, однако решение любых задач аэрогидродинамики, будь то задачи о ламинарном или турбулентном течениях, требует значительных вычислительных ресурсов. Вместе с этим, в целях обеспечения безопасности высокоскоростных пассажирских поездов и окружающей среды недостаточно изучены проблемы, связанные с дальнейшим развитием математических моделей, алгоритмов расчета и программных средств для решения задач

анализа и прогнозирования аэрогидродинамических процессов уноса твердых частиц в результате движения высокоскоростных пассажирских поездов.

Связь диссертационной работы с тематическими планами научно-исследовательских работ. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного транспортного университета и Научно-исследовательского института развития цифровых технологий и искусственного интеллекта в рамках проектов АЗ-ФҚ-0-71229, АЗ-029 «Исследование аэродинамики при движении скоростных и высокоскоростных пассажирских электровозов (при скорости 160 – 200 – 250 км/ч)» (2012-2014) и А-ОТ-2021-108 «Разработка информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования экологического состояния окружающей среды региона Приаралья» (2021-2022).

Целью исследования является разработка математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для расчета процесса обтекания воздушным потоком высокоскоростного поезда и уноса частиц под воздействием его движения.

Задачи исследования:

усовершенствование математических моделей струйных течений воздуха, образующихся при движении эллипсоида, плоскости и двух плоскостей, имитирующие движения высокоскоростных поездов;

разработка двухмерных математических моделей течений, образованных движением подвижного состава и представляющие трех его ортогональных разрезов;

создание моделей уноса частиц за счет движения высокоскоростного поезда, определение критических скоростей уноса твердых частиц, установление закономерностей сальтационного движения уноса твердых частиц;

разработка алгоритмов и программных средств для численного решения задач потока воздуха и уноса частиц под воздействием влияния движения железнодорожного состава.

Объектом исследования служит движение высокоскоростных поездов (Тальго 250, Афросиёб) и их аэродинамические процессы.

Предметом исследования является математические модели, численные алгоритмы и программные средства для изучения закономерностей аэродинамики движущегося поезда и уносимых твердых частиц.

Методы исследования. В ходе исследования использованы методы математического моделирования задач аэродинамики, метод конформных отображений и численные методы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствована математическая модель процесса обтекания эллипсоида потенциальным потоком воздуха учитывая определение поля скоростей, нормальное и касательное напряжение, продольной и поперечной аэродинамических сил;

усовершенствованы математические модели двуслойного течения воздуха вдоль одной плоскости и между двумя плоскостями на основаниях расчета профилей скорости в вязком подслое и определения значений касательного напряжения;

разработаны двумерные математические модели течений воздуха при обтекании, а также вычислительные алгоритмы для расчета профилей скорости и давления воздуха с учетом трех ортогональных разрезов высокоскоростного поезда;

разработаны математические модели процесса уноса частиц с подстилающей поверхности вследствие движения высокоскоростного поезда, а также вычислительные алгоритмы определения критической скорости отрыва и траекторий при их сальтации с учетом формы, массы и плотности частиц.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

определены поля скоростей воздуха при движении одного и встречных поездов, которые полезны при проектировании сооружений в зоне железных дорог;

результаты уноса частиц используются для выбора материала насыпи железнодорожных путей.

Достоверность результатов исследования обоснована использованием известных математических методов исследования и моделирования, согласованием их результатов с проведенными экспериментами по аэродинамике поезда и по уносу частиц при движении высокоскоростных поездов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в построении двумерных математических моделей о струйном обтекании высокоскоростного поезда, решения которых позволяет оценить силы сопротивления и критической скорости уноса частиц.

Практическая значимость результатов исследований определяется тем, что они применяются для обеспечения безопасности движения высокоскоростных поездов и окружающей среды, для определения массы и плотности составляющих подстилающей поверхности грунта при движении высокоскоростных поездов Афросиёб (Тальго 250).

Внедрение результатов исследования. На основании результатов исследования аэродинамики высокоскоростных поездов:

математические модели, вычислительные алгоритмы и программное обеспечение полученные в рамках изучения одной и двух движущихся плоскостей профили скоростей в вязком подслое и определенные значения касательного напряжения на твердых поверхностях, найденные профили скоростей воздуха в трех ортогональных разрезах внедрено в акционерное общество «Ўзбекистон темир йўллари» (Справка о внедрении от АО «Ўзбекистон темир йўллари» от 17.08.2022 г. №01/2856-22). В результате обеспечена безопасность движения и окружающей среды по всему маршруту высокоскоростных поездов;

разработанные модели уноса твёрдых частиц за счет движения высокоскоростного поезда и вычислительные алгоритмы определения критической скорости уноса частиц, а также закономерности их движения внедрены в акционерное общество «Ўзбекистон темир йўллари» (Справка о внедрении от АО «Ўзбекистон темир йўллари» от 17.08.2022 г. №01/2856-22). В результате дана возможность минимизирования дефляции частиц грунта при проезде высокоскоростного поезда.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы обсуждены на 3 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, из них 10 научных статей, в том числе 4 в зарубежных и 6 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных результатов докторских диссертаций, а также получены 2 свидетельства об официальной регистрации программных продуктов.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 110 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Обозначены цель и задачи, описаны объект и предмет исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования на практике и о опубликованных работах.

Первая глава диссертации **«Формирование моделей аэродинамического сопротивления пространственных задач»** состоит из трех параграфов.

В первом параграфе сформирована математическая модель аэродинамического сопротивления высокоскоростного поезда, где конфигурация состава высокоскоростного поезда принята как трехмерный эллипсоид (рис. 1), определенный уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1. \quad (1)$$

Движение несжимаемого воздуха описывали уравнениями Эйлера:

$$\operatorname{div} \vec{V} = 0, \quad \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} + \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p = 0. \quad (2)$$

Найден потенциал $\varphi(x, y, z, t)$ скорости воздуха, принятого как несжимаемая среда, при движении высокоскоростного поезда со скоростью

$\vec{V}_n = V_n \vec{i}$. Вектор скорости воздуха определена как $\vec{V} = grad\varphi$. Для решения уравнения Лапласа $\Delta\varphi=0$ за основу берется известное выражение Ньютоновского потенциала притяжения для внешних точек однородным эллипсоидом:

$$V_e(x, y, z) = \pi abc \int_0^\infty \left(\left(1 - \frac{x^2}{a^2+u} + \frac{y^2}{b^2+u} + \frac{z^2}{c^2+u} \right) \frac{du}{\sqrt{a^2+u}\sqrt{b^2+u}\sqrt{c^2+u}} \right). \quad (3)$$

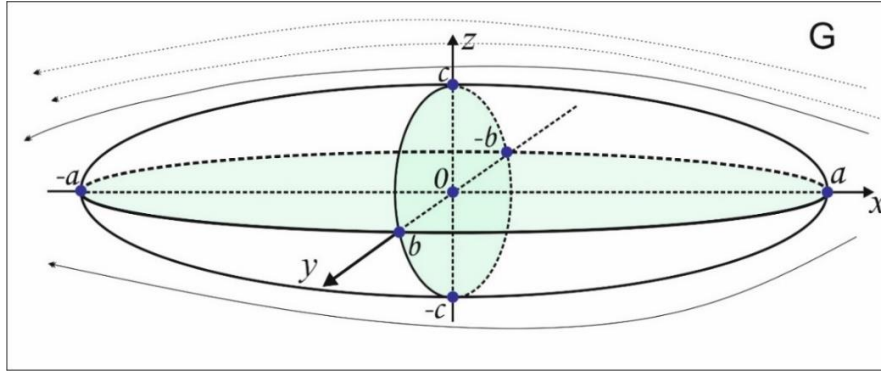


Рис. 1. Трехмерный эллипсоид движется в области G по положительному направлению оси OX

При условии в бесконечности $\vec{V}_\infty = V_\infty (\cos\alpha \vec{i} + \cos\beta \vec{j} + \cos\gamma \vec{k})$, после некоторых преобразований, потенциал Ньютоновского притяжения однородным эллипсоидом для внешних точек получен в виде:

$$V_e = \pi (D - Ax^2 - By^2 - Cz^2), \quad (4)$$

и для внутренних точек

$$V_i = \pi (D_0 - A_0x^2 - B_0y^2 - C_0z^2). \quad (5)$$

Аналогично найдены силы притяжения эллипсоида:

$$X = 2\pi Ax; \quad Y = 2\pi By; \quad Z = 2\pi Cz. \quad (6)$$

В результате сравнения задачи аэродинамики и Ньютоновского притяжения определен потенциал скорости воздуха относительно движущегося тела с постоянной скоростью:

$$\varphi = V(x \cos\alpha + y \cos\beta + z \cos\gamma) + \frac{Ax \cos\alpha}{2 - A_0} + \frac{By \cos\beta}{2 - B_0} + \frac{Cz \cos\gamma}{2 - C_0} \quad (7)$$

Получены формулы для определения давления $p = p_0 - \rho \frac{\partial\varphi}{\partial t} - \frac{\rho V_n^2}{2}$,

касательного напряжения, которые использованы при вычислении силы сопротивления

$$\vec{R} = 2p \int_s \left(\frac{x\vec{i}}{a^2} + \frac{y\vec{j}}{b^2} + \frac{z\vec{k}}{c^2} \right) dS$$

и главного момента

$$\vec{L} = \iint_S p[\vec{r}, \vec{n}] dS = \int_{(S)} \left(p_0 - \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \rho \frac{\partial V^2}{\partial z} \right) [\vec{r}, \vec{n}] dS,$$

где \vec{n} – орт внешней нормали к поверхности S для трехмерного эллипсоида

$$\vec{n} = \text{grad} \left[\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} \right];$$

\vec{r} – радиус вектор точки M , $\vec{r} = (x - x_0)\vec{i} + (y - y_0)\vec{j} + (z - z_0)\vec{k}$.

Таким образом, сформированная модель позволяет провести детальное исследование аэродинамики обтекания трёхмерного эллипсоида, в котором можем увидеть все возможные показатели.

Во втором параграфе разрабатывается математическая модель двухслойного потока воздуха, образованного при движении высокоскоростного поезда (рис. 2). Ось x расположен вдоль трассы, AE представляет движущую плоскость. В области G_z воздух считается идеальной, а в области между AE и оси x – вязкой жидкостью.

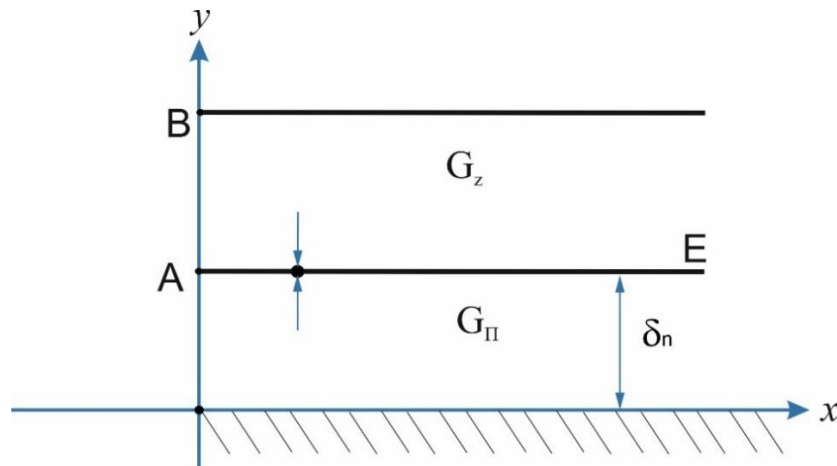


Рис. 2. Двухслойный поток воздуха областей G_z и G_{Π}

Для области G_z процесс считали политропическим $p = p_0 (\rho / \rho_0)^n$ и нашли поле давления:

$$p = c \rho \frac{n-1}{n} - \frac{V^2(x, y)}{2} \frac{n-1}{n}. \quad (8)$$

Для области G_{Π} в приближении теории пограничного слоя определены профиль скорости

$$\hat{u} = \frac{1 - e^{\lambda^* 2V_0 \hat{x}}}{1 + e^{\lambda^* 2V_0 \hat{x}}} V_0,$$

которая позволяет определить значение касательного напряжения. Здесь V_0 – скорость поезда; \hat{x} – безразмерное расстояние от точки отрыва; $\lambda^* = \nu / \hat{u}_0 L$.

В третьем параграфе разработана математическая модель аэродинамики двух встречных поездов (рис. 3). В этой задаче основное внимание уделено

изучению потока между двумя плоскостями, представляющие противоположное движение поездов. Уравнения для этой области имеют вид:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (9)$$

а при баротропическом процессе: $\nu \frac{\partial \Omega}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 u(y)}{\partial y^2}$.

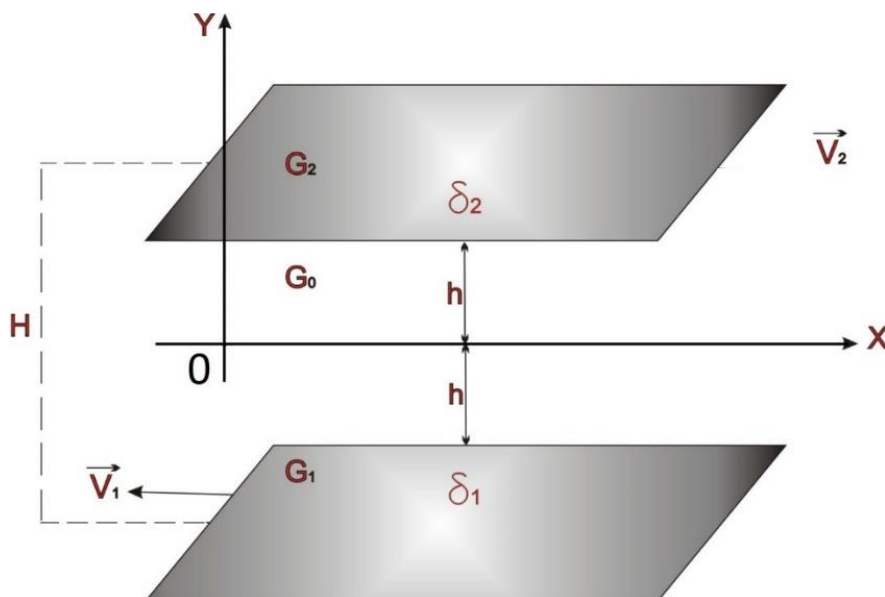


Рис. 3. Две плоскости, противоположно двигающиеся по параллельным прямым линиям

Решая данную систему (9), в безразмерном виде получено распределение скоростей между двумя телами:

$$\hat{u}(\hat{y}) = \text{Re} \frac{\partial \hat{p}}{\partial \hat{x}} \frac{\hat{y}^2}{2} + C_1 \hat{y} + C_2, \quad (10)$$

и определено касательное напряжение в виде:

$$\tau_{xy} = \mu \frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{y}} = \mu \frac{\partial}{\partial \hat{y}} \left[\frac{\text{Re} \partial p}{2 \partial x} (y^2 - h^2) + \frac{V_{1n} + V_{2n}}{2h} y + \left(\frac{V_{2n} - V_{1n}}{2} \right) \right]. \quad (11)$$

Таким образом в первой главе: впервые используется полностью сформированная математическая модель пространственной задачи аэродинамики трехмерного эллипсоида, также разработана модель задачи о двухслойном потоке воздуха и модель аэродинамики при движении параллельных плоскостей в противоположном направлении (задача Куэтта).

Вторая глава диссертации «**Двумерные математические модели аэродинамики высокоскоростного поезда в вертикальном, горизонтальном и фронтальном разрезах**» состоит из трёх параграфов.

В первом параграфе разработана модель и вычислительный алгоритм аэродинамического сопротивления при движении высокоскоростного поезда в вертикальной плоскости. Практически имеем двухслойное движение

воздуха: вязкий подслой толщиной $\delta(x)$ и верхний пограничный слой, определяемый в процессе решения (рис. 4). Скорость частиц идеальной жидкости вдали от поезда в точке A будет $V_A = V_n$, направленная по оси x (\overline{AB}). Область течения воздуха ограничена кривой, проходящей через точки $ABFCDE$, где DE – свободная поверхность. Предполагается, что возникшее движение частиц воздуха потенциальное, тогда скорость частиц воздуха определяется равенством: $\vec{V} = grad\varphi$, где $\varphi(x, y)$ – потенциал скорости. Уравнение неразрывности имеет вид: $\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = 0$, где u, v – компоненты вектора скорости частиц воздуха.

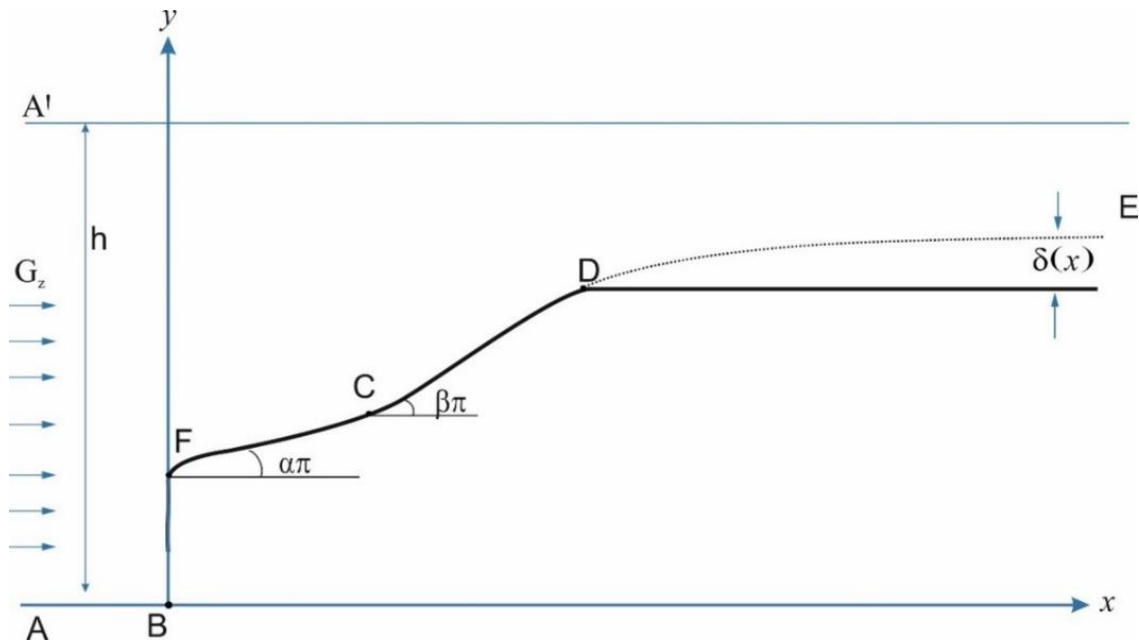


Рис. 4. Обтекание подвижного состава в вертикальной плоскости

Введена функция тока $\psi(x, y)$ согласно зависимостям:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (12)$$

где $\rho = \begin{cases} const & \text{при } M < 0,3 \\ \text{переменная} & \text{при } M \geq 0,3 \end{cases}$ и M – число Маха. После введения

комплексного потенциала $w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$, где $z = x + iy$ потенциал скорости, p будет аналитической функцией. Выполнено отображение области течения G_z в комплексную область G_0 (рис. 5).

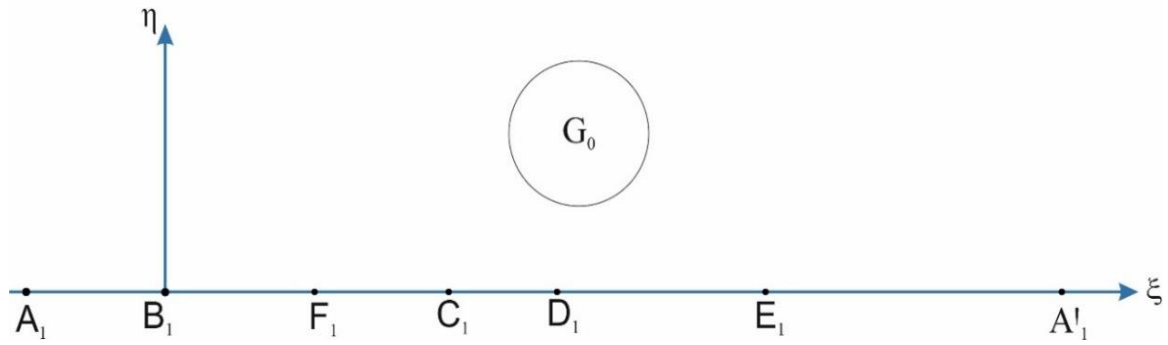


Рис. 5. Отображенная область течения G_z в область G_0

Тогда введенные функции потенциала скорости $\varphi(x, y)$ и функция тока $\psi(x, y)$ удовлетворяют уравнению Лапласа, а комплексный потенциал $w(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ будет аналитической функцией как в области течения G_z $z = x + iy$, так и в канонической области G_0 , где $\zeta = \xi + i\eta$, ξ действительная, η мнимая часть ζ . Пользуясь принципом соответствия границ, вводится функция Жуковского в виде:

$$\omega(\zeta) = \ln \frac{V_0}{\bar{V}(\zeta)} = \ln \frac{V_0}{V(\zeta)} + i\theta,$$

где $\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$ – вектора скорости; θ – угол наклона вектора скорости частиц воздуха к горизонту. Согласно граничным условиям определена функция Жуковского $\omega(\zeta)$ в области G_0 в виде:

$$\omega(\zeta) = \sqrt{\zeta - 1} \sqrt{\zeta - e} \omega_1(\zeta).$$

Алгоритм вычисления поля скоростей в вертикальной плоскости

Функция $\omega_1(\zeta)$ в области течения G_0 определена в виде:

$$\omega_1(\xi) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\text{Im} \omega_1(t) dt}{t - \xi}.$$

Отсюда, пользуясь интегральной формулой Шварца, для искомой функции $\omega_1(\zeta)$ учитывая граничные условия области G_0 получено выражение в виде:

$$\omega_1(\zeta) = \frac{1}{\pi} \left\{ \int_0^f \frac{\frac{\pi}{2} dt}{\sqrt{1-t} \sqrt{e-t} (t-\zeta)} + \int_f^c \frac{\alpha \pi dt}{\sqrt{1-t} \sqrt{e-t} (t-\zeta)} + \int_c^1 \frac{\beta \pi dt}{\sqrt{1-t} \sqrt{e-t} (t-\zeta)} \right\},$$

откуда решив аналитическим путем, получим следующее уравнение:

$$\omega_1(\zeta) = -\frac{2}{\sqrt{\zeta - e} \sqrt{\zeta - 1}} \left\{ \ln F(0, \zeta) [F(f, \zeta)]^{1-2\alpha} [F(c, \zeta)]^{2(\beta-\alpha)} \right\}. \quad (13)$$

Из функции Жуковского выведены выражения для распределения сопряженной комплексной скорости в области G_0 : $u - iv = \bar{V}(\zeta) = V_0 \mathbb{F}(\zeta)$, из условия $V_n = V_0 \lim_{\xi \rightarrow \infty} F(\xi, 0)$ определена скорость частиц на свободной

поверхности DE , где полагая $\eta=0$ и вычислив предел $\xi \rightarrow \infty$, получено равенство

$$V_n = V_0 \Phi_0(f, c, e),$$

где

$$\Phi_0(f, c, e) = \frac{\sqrt{e-f} + \sqrt{1-f}}{\sqrt{e+1}} \left(\frac{\sqrt{e-c} + \sqrt{1-c}}{\sqrt{e-f} + \sqrt{1-f}} \right)^{1-2\alpha} \left(\frac{\sqrt{e-1} + 1}{\sqrt{e-c} + \sqrt{1-c}} \right)^{2\beta-2\alpha},$$

а значения f, c, e далее найдутся численным методом.

Определено поле скоростей частиц воздуха в области течения G_z в параметрической форме, для этого найдена функция отображения области G_z и G_0 , дающее соответствие точек областей, G_z и G_0 , где зависимость между переменными z и ζ , в областях G_z и G_0 получено в виде:

$$\hat{z}(\zeta) = \frac{z(\zeta)}{H} = \frac{\Phi_0}{\pi} \int_0^\zeta \frac{d\xi}{(e-\xi)\mathbb{F}(\xi)}. \quad (14)$$

Определено распределение поля скоростей в виде:

$$\hat{u} = [\hat{x}(\xi, \eta), \hat{y}(\xi, \eta)] \text{ и } \hat{v} = [\hat{x}(\xi, \eta), \hat{y}(\xi, \eta)],$$

где

$$\hat{x}(\xi, \eta) = \operatorname{Re} \left(\frac{\Phi_0}{\pi} \int_0^\xi \frac{d\tau}{(e-\tau)\mathbb{F}(\tau)} \right); \quad \hat{y}(\xi, \eta) = \operatorname{Im} \left(\frac{\Phi_0}{\pi} \int_0^\xi \frac{d\tau}{(e-\tau)\mathbb{F}(\tau)} \right). \quad (15)$$

Также для сжимаемой жидкости, когда процесс политропический, давление и плотность определены равенствами:

$$p = p_0 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \tau_0 \right)^{\gamma+1}, \quad \rho = \rho_0 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \tau_0 \right)^\gamma, \quad \tau = \tau_0 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \tau_0 \right)^\gamma, \quad (16)$$

где $\gamma = \frac{1}{n-1}$, $\tau_0 = \frac{V^2}{V_{\max}^2} = \frac{n-1}{n+1} M_0^2$, $M_0 = \frac{V_0}{a}$ – число Маха вдоль свободной поверхности, a – скорость распространения звука в атмосфере, n – показатель политропии. Также найдено значение скорости воздуха на свободной поверхности DE :

$$V_0 = \frac{V_n}{\Phi_0}.$$

При вычислении сингулярных интегралов из (14) и (15) использован приближенный метод Симпсона. По программе, составленной в среде Delphi, получены значения неизвестных (рис. 6) $f=0.08$; $c=0.44$; $e=1.08$, с точностью 1 мм для конфигурации поезда Афросиёб.

Соответствующие окончательные результаты по x и y приведены на рис. 7.

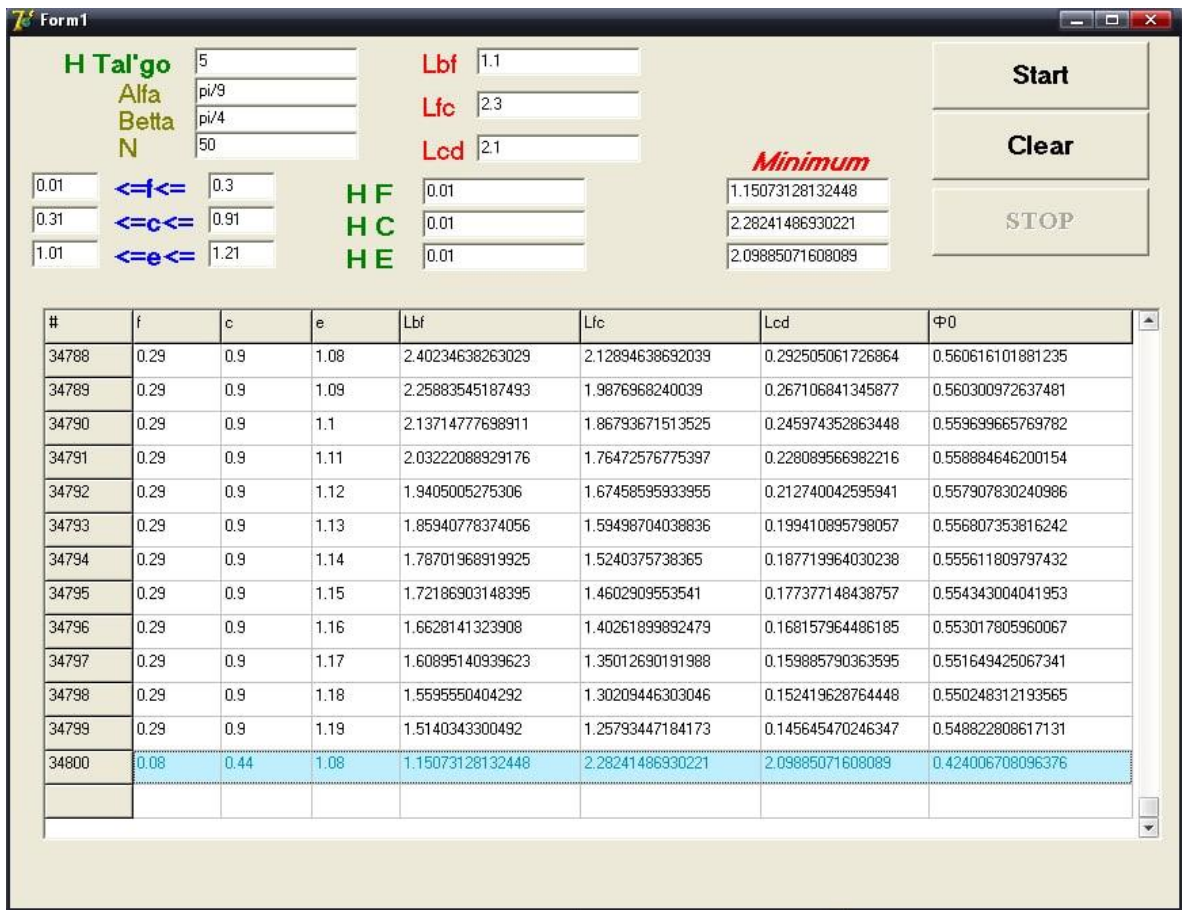


Рис. 6. Полученные результаты f, c, e в среде Delphi

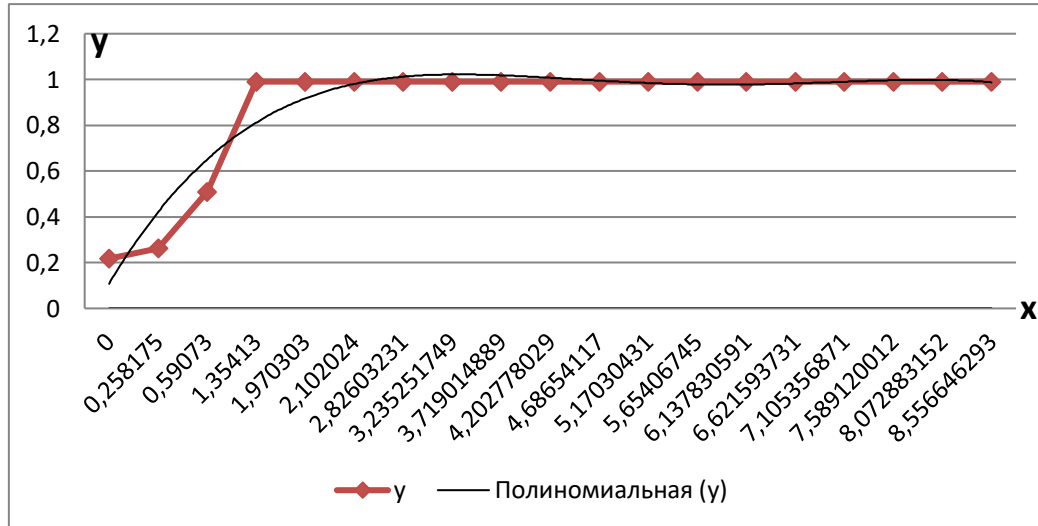


Рис. 7. Распределение поле скоростей частиц воздуха над поверхностью состава

Аналогичным образом во втором параграфе определены распределения скоростей частиц воздуха и давления в пространстве окружающей движущихся состава в горизонтальной плоскости.

В третьем параграфе, исходя из модели для вертикальной плоскости (см. §2.1) рассмотрен случай фронтальной плоскости и найдены: модуль скорости на свободной поверхности; скорость на боковой стенке вагона; скорость частиц воздуха на поверхности вагонов; распределение скорости на

расстоянии $H_0 = 3.395 \text{ м}$; давление вдоль DA' ; приведена скорость частиц потока воздуха на ширине $\Delta h_E = 2,6061 l_{BF}$.

Проведенными во второй главе расчетами установлено, что в расстоянии более 5 метров возмущенный поток воздуха и изменение давления, при движении высокоскоростного поезда со скоростью до 230 км/час, незначительны. Соответственно, защитные сооружения и остальные пристройки можно возводить на расстояние 5 и более метров от железнодорожного полотна.

Третья глава «Формирование моделей уноса частицы с земной поверхности за счет движения высокоскоростного поезда» состоит из четырёх параграфов.

В первом параграфе на основе метода Э.К. Бютнер составлены уравнения движения твердых частиц под воздействием линейной аэрогидродинамической силы и силы тяжести частиц.

Установлено, что закономерности движения твердых частиц, уносимых ветром высокоскоростного поезда, зависит от динамического параметра $\Phi_0 = \frac{C_3 \rho_e w_0^2}{C_2 \rho_q g d_q} (1 - \cos \beta) = \frac{w_0^2}{g d_q} (1 - \cos \beta)$ и скорости ветра. Здесь $C_2 = 0.8$, $C_3 = 0.6$ – коэффициенты формы песчинок; ρ_q – плотность частицы; ρ_e – плотностью воздуха; d_q – диаметр; w_0 – гидравлическая крупность; β – угол отрыва частицы. Для траектории унесённых частиц получены следующие формулы:

$$\begin{aligned} \hat{x}_q(\tau) &= \hat{x}_0 + \hat{u}\tau \left[1 - \frac{\ln[1 + \Phi_0 \hat{u}\tau]}{\Phi_0 \hat{u}} \right], \\ z_q(\tau) &= \left(1 + \frac{1}{2\Phi_0 \hat{u}} \right) \frac{\ln(1 + \Phi_0 \hat{u}\tau)}{\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau}{2\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau^2}{4}. \end{aligned} \quad (17)$$

На основании формул (17) выполнены расчеты и построена траектория унесенной частицы (рис. 8).

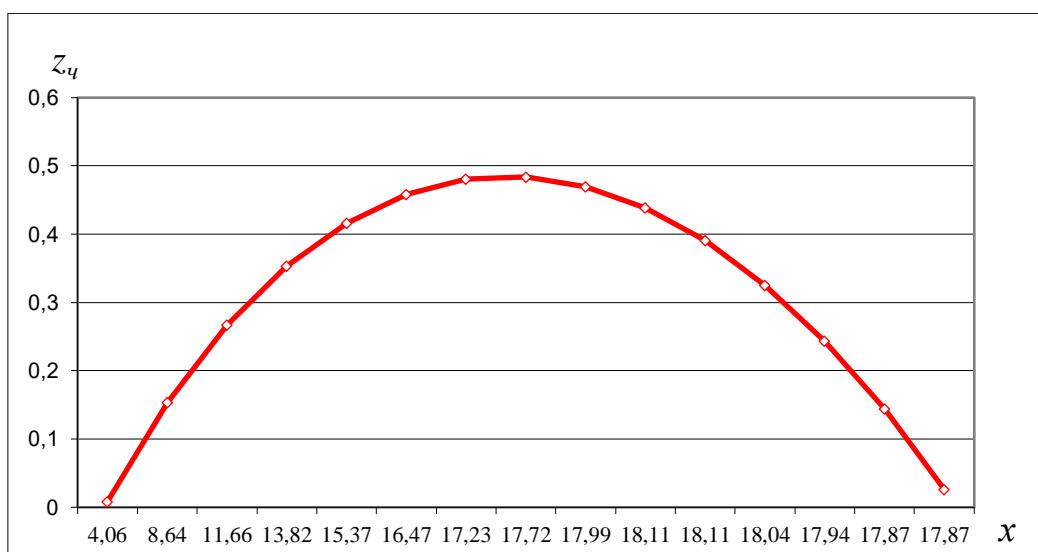


Рис. 8. Траектория оторвавшейся частицы

Во втором параграфе решена задача об обтекании твердой трапециевидной частицы потоком воздуха, образованным движением высокоскоростного поезда. Решение осуществляется методом конформного отображения и формулой Жуковского. Комплексным потенциалом принято $\omega(\zeta) = \phi(\xi, \eta) + i\psi(\xi, \eta)$. Пользуясь интегральной формулой Шварца, получено выражение для определения искомых функций $\omega_1(\zeta)$ и $\omega(\zeta)$, где $\omega(\zeta) = \omega_1(\zeta)\sqrt{\zeta-1}$. Граничные условия задачи удовлетворены при:

$$\omega(\zeta) = \omega_1(\zeta)\sqrt{\zeta-1} = \ln \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta = \ln \frac{V_0}{V}.$$

Для сопряженной комплексной скорости имеем:

$$\bar{V}(\zeta) = V_n \frac{F(0, e)}{F(\zeta)},$$

а для координат –

$$z(\zeta) = \frac{H}{\pi} \int_0^\zeta \frac{d\zeta}{F(\zeta)(e-\zeta)}, \quad (18)$$

где H – высота полосы комплексного потенциала шириной $q = V_u H$ и $F(\zeta)$ определяется из равенств:

$$F(\zeta) = \left[\frac{F(\zeta, f)}{F(\zeta, c)} \right]^\beta, \quad F(\zeta, f) = \left[\frac{\sqrt{\zeta-1} + \sqrt{f-1}}{\sqrt{\zeta-1} - \sqrt{f-1}} \frac{\sqrt{\zeta-1} - 1}{\sqrt{\zeta-1} + 1} \right]^\beta,$$

$$F(\zeta, c) = \left[\frac{\sqrt{\zeta-1} - \sqrt{1-c}}{\sqrt{\zeta-1} + \sqrt{1-c}} \right].$$

f и c являются узлами грани конформного отображения трапециевидной частицы. Как и в §2.1, проведено численное решение сингулярных интегралов (18) для нахождения неизвестных f и c в соответствии областью течения G_z . Проводя осреднения скорости в области G_z по толщине пограничного слоя, определена средняя скорость движения частиц воздуха, которые действует на твердые частицы. Поскольку на твердую частицу воздействует гидродинамическая сила, а сила тяжести тела постоянно, то движения твердой частицы будет сальтационным. Средняя ее скорость определена в виде:

$$V_{cp} = \bar{V} \left(0, \frac{f+c}{2} \right) = V_0.$$

Давление потока воздуха определена равенством $p = \rho V_0^2 / 2$. Отрыв частицы от земной поверхности происходит под углом $\alpha\pi$ со скоростью V_0 .

В третьем параграфе под воздействием воздушного потока, образованном движением высокоскоростного поезда, решается задача о распределении скорости воздуха под поездом и в окрестности вагонов поезда и о силе, при котором рассматривается унос n -го количества твердых частиц. Учитывая силу воздействия потока по линейному закону сопротивления, составлены

уравнения воздействия потока воздуха на частицы, находящихся под или вокруг вагонов поезда. Для решения задачи сначала определено распределение скорости при обтекании препятствий (n -е количество твердых частиц), как в §3.2. Для исследования вопросов уноса твердых частиц с земной поверхности пользуемся уравнением движения твердых частиц.

Решением задачи в безразмерных переменных определены скорости сальтационного движения частиц:

$$u_x(\hat{z}, \tau) = V_n \frac{\Phi_0 \hat{u} \tau}{1 + \Phi_0 \hat{u} \tau}, \quad w_x(\hat{z}, \tau) = V_n \frac{1 - \tau - \Phi_0 \hat{u} \frac{\tau^2}{2}}{1 + \Phi_0 \hat{u} \tau}.$$

Интегрируя по безразмерному времени $\tau \left(= \frac{w_0}{g} t \right)$, при условиях $\hat{z}(0) = \hat{h}$,

$\hat{x}(0) = \hat{x}_0$, где $h = \frac{w_0^2}{g} \hat{h}$ – толщина приземного слоя, с которой уносятся

твердые частицы, находили траекторию частиц:

$$\hat{x}_r(\tau) = \hat{x}_0 + \hat{u} \tau \left(1 - \ln \frac{\Phi_0 \hat{u} \tau}{\Phi_0 \hat{u}} \right), \quad z_r(\tau) = \left(1 + \frac{1}{2\Phi_0 \hat{u}} \right) \ln \frac{1 + \Phi_0 \hat{u} \tau}{\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau}{2\Phi_0 \hat{u}} - \frac{\tau^2}{4}. \quad (19)$$

Тогда сформулированная модель сальтационного движения (19) дает возможность определить траекторию (рис. 9) оторвавшихся частиц.

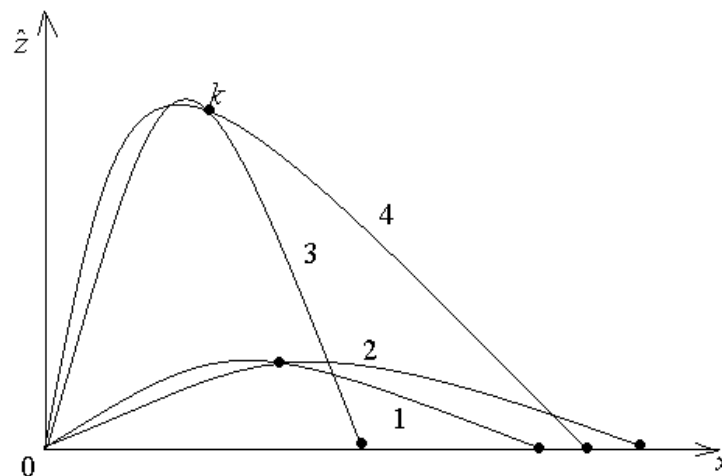


Рис. 9. Сальтационное движение частиц при разных параметрах

В четвертом параграфе приведены выводы по проведенному эксперименту на отрыв частиц (щебенки) в линии высокоскоростного поезда в городе Джизак (блок пост Даштобод), где скорость высокоскоростного поезда достигает 180-250 км/час. Проведенное сравнение полученных результатов аналитического решения и эксперимента дало явное их соответствие.

Соответственно предложенную модель можно использовать при изучении устойчивости частиц грунта под воздействием движущегося высокоскоростного поезда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований по диссертационной работе на тему «Исследования сопротивлений пространственных задач движения высокоскоростных поездов на основе аэродинамических моделей и вычислительных алгоритмов» сделаны следующие основные выводы:

1. Сформирована и решена задача об обтекании эллипсоида потенциальным потоком без отрыва, определены поле скоростей, нормальные и касательные напряжения и действующие аэродинамические силы. При совпадении большой оси эллипсоида с направлением обтекания задача представляет движение высокоскоростного поезда.

2. Получено решение задачи движения плоскости с образованием вязкого подслоя. На его основе можно определить поле давления, значение поверхностного касательного напряжения и другие аэродинамические показатели.

3. Разработана двумерная математическая модель встречного движения двух поездов и определены поля скоростей между поездами в рамках задачи Куэтта.

4. Предложены математические модели двумерного пограничного слоя вокруг движущегося высокоскоростного поезда в трех разрезах: плоскости симметрии, горизонтальной и фронтальной плоскостей. Для решения задач использован метод конформных отображений, численно определены поля двухмерных скоростей, которые необходимы для вычисления касательного напряжения и действующих на поезд аэродинамических сил.

5. Разработаны модели уноса одиночной и ансамбля частиц за счет движения высокоскоростного поезда, определена критическая скорость уноса твердых частиц, установлены закономерности сальтационного движения твердых частиц.

6. Достоверность теоретических результатов по уносу частиц доказаны сравнением с результатами эксперимента по уносу камней с подстилающей поверхности.

7. Разработаны алгоритмы и программные средства для решения двухмерных задач обтекания и уноса частиц в рамках метода конформных отображений.

8. Результаты работы использованы для разработки программных продуктов (№ DGU 20152 и DGU 20153) и внедрены в объектах Управления путевого хозяйства и Управления организации и эксплуатации высокоскоростного движения пассажирских поездов АО «Ўзбекистон темир йўллари».

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30/12.2021.T.142.01 AT RESEARCH INSTITUTE FOR
DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL
INTELLIGENCE**

**RESEARCH INSTITUTE FOR DEVELOPMENT OF DIGITAL
TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

EGAMBERDIEV BEHZOD BAKHTIYAROVICH

**STUDIES OF THE RESISTANCES OF SPATIAL PROBLEMS OF HIGH-
SPEED TRAINS BASED ON AERODYNAMIC MODELS AND
COMPUTATIONAL ALGORITHMS**

05.01.07 – Mathematical modeling. Numerical methods and software complexes

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

Tashkent – 2023

The theme 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 number B2022.1.PhD/T2641.

The dissertation has been prepared at the Research Institute for Development of Digital Technologies and Artificial Intelligence.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website www.airi.uz and the website of «ZiyoNet» Information and educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser: **Ravshanov Normahmad**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Khuzhaev Ismatullo Kushaevich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Muhammadiyeva Dildora Kabilovna
Doctor of Technical Sciences

Leading organization: **Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National Research Nuclear University «MEPhI»**

The defense will take place "17" february 2023 at 14:00 the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2021.T.142.01 at Research Institute of Development of Digital Technologies and Artificial Intelligence (Address: 100125, Tashkent city, M.Ulugbek district, Buz-2, 17A. Tel.: (+99871) 263-41-98, e-mail: info@airi.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Research Institute of Development of Digital Technologies and Artificial Intelligence (is registered under No 27). (Address: 100125, Tashkent city, M.Ulugbek district, Buz-2, 17A. Tel.: (+99871) 263-41-98).

Abstract of dissertation sent out on "2" february 2023 y.
(mailing report No. 34 on "30" december 2022 y.).



R.Kh. Khamdamov
Chairman of the scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

F.M. Nuraliev
Scientific secretary of scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Docent

F.M. Nuraliev
Chairman of the academic seminar under the scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Docent

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to develop mathematical models, computational algorithms and software tools for calculating the process of air flow around a high-speed train and the entrainment of particles under the influence of its movement.

The object of the research is the movement of high-speed trains (Talgo 250, Afrosiab) and their aerodynamics processes.

The scientific novelty of the research is as follows:

the mathematical model of the process of ellipsoid flow by a potential air flow has been improved, taking into account the definition of the velocity field, normal and tangential stress, longitudinal and transverse aerodynamic forces;

the mathematical models of two-layer air flow along one plane and between two planes have been improved on the basis of calculating velocity profiles in a viscous sublayer and determining tangential stress values.;

two-dimensional mathematical models of air flows during flow have been developed, as well as computational algorithms for calculating air velocity and pressure profiles taking into account three orthogonal sections of a high-speed train;

the mathematical models of the process of entrainment of particles from the underlying surface due to the movement of a high-speed train, as well as computational algorithms for determining the critical separation velocity and trajectories during their rotation, taking into account the shape, mass and density of particles, have been developed.

Implementation of obtained results.

Based on the results of the study of the aerodynamics of high-speed trains:

the mathematical models, computational algorithms and software obtained as part of the study of one and two moving planes velocity profiles in a viscous sublayer and certain values of tangential stress on solid surfaces, the air velocity profiles found in three orthogonal sections are implemented in the joint stock company «O‘zbekiston Temir yo‘llari» (Certificate of implementation from JSC «O‘zbekiston Temir yo‘llari» dated 17.08.2022 No. 01/2856-22). As a result, traffic and environmental safety is ensured along the entire route of high-speed trains;

the developed models of entrainment of solid particles due to the movement of a high-speed train and computational algorithms for determining the critical velocity of entrainment of particles, as well as the patterns of their movement, are implemented in the joint-stock company «O‘zbekiston Temir yo‘llari» (Certificate of implementation from JSC «O‘zbekiston Temir yo‘llari» dated 17.08.2022 No. 01/2856-22). As a result, it is possible to minimize the deflation of soil particles during the passage of a high-speed train.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 110 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. Струйное обтекание высокоскоростного поезда // Вестник ТашИИТ. – 2011. – №3. – С. 14-16. (05.00.00; №11)

2. Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. Определение сил сопротивления воздуха на движение состава высокоскоростного поезда // Проблемы механики. – 2011. – №3-4. – С. 30-33. (05.00.00; №7)

3. Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. Расчет задачи об уносе твердых частиц движением высокоскоростного поезда // Вестник ТашИИТ – 2012. – №3/4. – С. 32-35. (05.00.00; №11)

4. Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. Задача о движении встречных твердых тел (поездов) // Вестник, ТашИИТ – 2014. – № 2-3 – С. 37-42. (05.00.00; №11)

5. Егамбердиев Б.Б. Формирование модели аэродинамического сопротивления пространственной задачи // Проблемы вычислительной и прикладной математики – Ташкент. – 2021. – № 6(36). – С.63-74. (05.00.00; №23)

6. Егамбердиев Б.Б., Численный расчет получения аналитического выражения для распределения скоростей и силы воздействия на движение высокоскоростного поезда потоком идеальной сжимаемой жидкости (воздуха), двигающимся в горизонтальной плоскости с постоянной скоростью // Наука и Мир, Международный научный журнал, № 5 (33), Том 1 Волгоград, 2016. – С. 70-74. (№5; Global Impact Factor, IF=0.325)

7. Ravshanov N., Egamberdiev B.B. Development of models and algorithms of aerodynamic drag of a high-speed train and calculations of particle entrainment // IEEE Xplore. 1st International Scientific Conf. “Modern Materials Science: Topical Issue, Achievements and Innovations” Tashkent, 2022. – Mart 4-5. – p. 1201-1213. (Олий аттестация комиссияси Раёсати қарори №269/8-сон, 30.09.2019 й.)

8. Файзыбаев Ш.С., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. Обтекание высокоскоростного поезда в горизонтальной плоскости // Современные наукоемкие технологии 2014. – № 12. – Часть 2, Москва. – 2015. – С. 194- 198. (№2; Journal Impact Factor, IF=0.308)

9. Файзыбаев Ш.С., Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б. Задача об уносе твердых частиц с земной поверхности, образованной движением высокоскоростного поезда // Труды конференции: Безопасность движения поездов МИИТ, Москва – 2012. – С. 44. (№2; Journal Impact Factor, IF=0.346)

10. Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б., Задача об уносе твердых частиц с земной поверхности, образованной движением высокоскоростного поезда» // Интеллектуальная собственность на произведения (Статья), № AGU 0201. 26.03.2013.

II бўлим (II часть; II part)

11. Хамидов А.А., Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б., Задача о движении частиц воздуха в окрестности скоростного и высокоскоростного поезда // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. ТашИИТ 2010г. – С. 50-55.

12. Egamberdiev B.V., The numerical calculation of the problem of jet Flow of high-speed passenger train flow of an ideal compressible Fluid (air) moving in a horizontal plane at a constant speed // XIII международная научно-практическая конф.: Современные тенденции развития Науки и технологий 30 апреля 2016г. №4-4 Белгород 2016. – С. 5-11.

13. Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б., Задача об обтекании движения высокоскоростного поезда для плоского случая // Темир йўл транспортида ресурс тежамкор технологиялар (Хорижий олимлари иштирокидаги республика илмий-техника анжумани мақолалари тўплами), 14-15 декабр ТашИИТ, 2015. – С. 136-139.

14. Егамбердиев Б.Б., Унос твёрдых частиц с земной поверхности при движении высокоскоростного поезда // VII Международная научно-практическая конф.: ПМВЭТИ 10 мая, Магнитогорск, 2018. – С. 130-139.

15. Исанов Р.Ш., Егамбердиев Б.Б., Вычисление сопротивления пограничного слоя на поверхности высокоскоростного поезда // «Новые результаты математики и их приложения» 14-15мая 2018г. Материалы конференции II том. СамДУ 2018. – С. 46-48.

16. Егамбердиев Б.Б., Исанов Р.Ш. Поля скоростей при равно замедленном и равно ускоренном движении в окрестности высокоскоростного поезда // «Новые результаты математики и их приложения» 14-15мая 2018г. Материалы конференции II том. СамДУ 2018. – С. 35-37.

17. Равшанов Н., Егамбердиев Б.Б., Разработка моделей и алгоритмов аэродинамического сопротивления при движении высокоскоростного поезда, а также расчеты уноса частиц, расположенных вблизи движущего поезда // VI Международная научно-техническая конф.: Проблемы машиноведения 22-23 марта 2022г. Омск, 2022. С.259-261.

18. Равшанов Н., Егамбердиев Б. Программа для ЭВМ «Solutions of the conformal mapping method for a high-speed train» // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 20152. 06.12.2022.

19. Егамбердиев Б. Программа для ЭВМ «Speed distribution definitions» // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 20153. 06.12.2022.

Автореферат «Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларининг мослиги текширилди.