

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

Мұхаметжан Тынышбаев атындағы АЛТ Университеті

ӘОК 656.256 (043)

Қолжазба құқығында



**ОРУНБЕКОВ МАКСАТ БАГЫБАЕВИЧ**

**Пойыздар қозғалысын реттеуді координаталық тәсілмен  
ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделін жасау**

6D090100 – Тасымалдауды, қозғалысты ұйымдастыру және көлікті пайдалану

Философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесші:

т.ғ.д, профессор

Телтаев Б.Б.

Шетелдік ғылыми кеңесші:

Dr.-Ing. Professor

Jörn Pachl

Қазақстан Республикасы

Алматы, 2025

## МАЗМҰНЫ

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР</b>                                                                                                                     | 4  |
| <b>АНЫҚТАМАЛАР</b>                                                                                                                                | 5  |
| <b>БЕЛГІЛЕР ЖӘНЕ ҚЫСҚАРТУЛАР</b>                                                                                                                  | 7  |
| <b>КІРІСПЕ</b>                                                                                                                                    | 8  |
| <b>1 ПОЙЫЗДАР ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУДІҢ<br/>КООРДИНАТАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ<br/>ЖӘНЕ МӘСЕЛЕЛЕРІ</b>                              | 12 |
| 1.1 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық<br>жүйелері және оларды пайдаланудың әлемдік тәжірибесі                                | 12 |
| 1.2 «ҚТЖ» ҰК» АҚ магистраль темір жол желісіндегі автоматика және<br>телемеханика жүйелерінің қазіргі жағдайы мен талдамасы                       | 20 |
| 1.3 «ҚТЖ» ҰК» АҚ магистраль темір жол желілерінде пойыздар<br>қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесін пайдалану<br>тәжірибесі       | 24 |
| 1.4 Зерттеу мәселесінің қойылуы және ғылыми-зерттеу жұмыстарын<br>жүргізу әдістемелерін анықтау                                                   | 29 |
| Бөлім бойынша қорытынды                                                                                                                           | 29 |
| <b>2 ПОЙЫЗДАР ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУДІҢ<br/>КООРДИНАТАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ОҢТАЙЛЫ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗ<br/>МОДЕЛІ МЕН АЛГОРИТМІН ӘЗІРЛЕУ</b>             | 30 |
| 2.1 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу тәсілдері                                                                                               | 30 |
| 2.2 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық<br>жүйесінің оңтайлы және қауіпсіз моделінің техникалық шешімдерін<br>әзірлеу          | 34 |
| 2.3 Жылжымалы құрамның координатасын анықтаудың<br>виброакустикалық әдісі                                                                         | 41 |
| 2.4 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық<br>жүйесінің қауіпсіз байланыс жүйесін моделдеу                                        | 45 |
| Бөлім бойынша қорытынды                                                                                                                           | 51 |
| <b>3 ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛДЕУ ЖӘНЕ ПОЙЫЗДАР<br/>ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУДІҢ КООРДИНАТАЛЫҚ<br/>ЖҮЙЕСІНІҢ ОҢТАЙЛЫ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗ МОДЕЛІН БАҒАЛАУ</b> | 52 |
| 3.1 Темір жол көлігіндегі тасымалдау үрдісін моделдеуге арналған<br>бағдарламалардың талдамасы                                                    | 52 |
| 3.2 Зерттелетін темір жол желісін нақты уақыт режимінде<br>макроскопиялық моделдеу                                                                | 54 |
| 3.3 OpenTrack ортасында микроскопиялық моделдеу үшін кіріс<br>параметрлерді анықтау                                                               | 60 |
| 3.4 Зерттелетін темір жол желісін OpenTrack ортасында микроскопиялық<br>моделдеу                                                                  | 66 |
| 3.5 Бөлім бойынша қорытынды                                                                                                                       | 83 |
| <b>4 ЖЫЛЖЫМАЛЫ ҚҰРАМ СИПАТТАМАЛАРЫНЫҢ ПОЙЫЗДАР</b>                                                                                                | 84 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ</b>                                                |     |
| <b>ТИІМДІЛІГІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ</b>                                                           |     |
| 4.1 Локомотив электржетегін бейсызықты басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау                | 84  |
| 4.2 Локомотивтің асинхронды электржетегін автоматты реттеу жүйесінің параметрлерін синтездеу | 89  |
| 4.3 Моделдеу нәтижелерін интеграциялау мүмкіндіктері                                         | 93  |
| Бөлім бойынша қорытынды                                                                      | 94  |
| <b>ҚОРЫТЫНДЫ</b>                                                                             | 95  |
| <b>ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕККӨЗДЕР ТІЗІМІ</b>                                                      | 97  |
| <b>ҚОСЫМША А –</b> Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша зияткерлік меншік объектілері       | 103 |
| <b>ҚОСЫМША Б –</b> Диссертациялық жұмыс нәтижелерін енгізу актілері                          | 106 |
| <b>ҚОСЫМША В –</b> MATLAB ортасындағы бағдарламалар листингі                                 | 111 |
| <b>ҚОСЫМША Г –</b> OpenTrack ортасында құрылған Құрөзек-Жарсу темір жол телімінің моделі     | 118 |
| <b>ҚОСЫМША Д –</b> OpenTrack ортасында кіріс мәндерді енгізу нәтижелері                      | 119 |

## **НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР**

Бұл диссертациялық жұмыста келесі нормативтік құжаттарға сілтемелер қолданылған:

1. Дәрежелерді беру қағидаларын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің 2011 жылғы 31 наурыздағы № 127 бұйрығы.

2. «Қазақстан Республикасындағы көлік туралы» Қазақстан Республикасының 1994 жылғы 21 қыркүйектегі № 156 Заңы. (01.03.2023 ж. берілген өзгерістер мен толықтырулармен).

3. Қазақстан Республикасының көлік-логистикалық әлеуетін дамытудың 2030 жылға дейінгі тұжырымдамасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2022 жылғы 30 желтоқсандағы № 1116 қаулысы.

4. Теміржол көлігін техникалық пайдалану қағидаларын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Инвестициялар және даму министрінің 2015 жылғы 30 сәуірдегі № 544 бұйрығы (27.11.2017 ж. берілген өзгерістер мен толықтырулармен).

5. Поездардың қозғалысы және теміржол көлігіндегі маневрлік жұмыс жөніндегі нұсқаулықты бекіту туралы Қазақстан Республикасы Көлік және коммуникация министрінің 2011 жылғы 19 мамырдағы № 291 бұйрығы (05.11.2019 ж. берілген өзгерістер мен толықтырулармен).

6. Темір жол көлігіндегі сигнализация туралы нұсқаулықты бекіту туралы Республикасы Көлік және коммуникация министрінің 2011 жылғы 18 сәуірдегі № 209 бұйрығы (27.03.2014 ж. берілген өзгерістер мен толықтырулармен).

7. РИ-ALT-36 Рабочая инструкция «Положение о диссертационном совете».

8. РИ-ALT-67 «Порядок оформления и написания докторской диссертации».

## АНЫҚТАМАЛАР

Бұл диссертациялық жұмыста анықтамалары келтірілген келесі терминдер қолданылған:

|                                          |                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Аралық                                   | – пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесімен жабдықталған екі бекеттің, разъездің немесе басып озу пунктінiң арасындағы темір жол телімі                                                            |
| Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу    | – қозғалыс қауіпсіздігін және бағыттас пойыздардың минималды интервалын қамтамасыз етумен темір жол телімі бойынша пойыздар ағынын өткізу технологиясы                                                   |
| Пойыз аралық интервал                    | – автоматты блоктау немесе радиоблоктау жүйесімен жабдықталған аралық бойынша бір бағыттағы қозғалыс кезінде пойыздар бөлінетін минимал уақыт                                                            |
| Бекітілген блок-телім                    | – телімде пойыздар қозғалысын интервалды реттеу технологиясын жүзеге асыру үшін арналған ұзындығы тіркелген темір жол телімі                                                                             |
| Жылжымалы блок-телім                     | – қозғалысы бағыттас пойыздардың координаталарына тәуелді нақты уақыт мезетінде есептік жолмен анықталатын пойыз артындағы динамикалық темір жол телімі                                                  |
| Виброакустикалық зондтау                 | – талшықты-оптикалық кабельде сигналдардың кері шашырауы нәтижесінде дірілді акустикалық әсер көзінің орнын анықтау технологиясы                                                                         |
| Пассивті реперлік датчик (EuroBalise)    | – темір жол телімінде рельстер арасына шпалға орнатылып, осы датчик үстінен өтетін локомотивтің астына орнатылған құрылғыдан сигнал келген сәтте оның жадысына жазылған ақпаратты пойызға беру құрылғысы |
| Темір жол желісінің өткізу қабілеттілігі | – темір жол телімі бойынша тәулігіне немесе сағатына өткізілетін пойыздардың максимал саны                                                                                                               |
| Оптималды басқару                        | – оптималды сапа критерийлерін қамтамасыз ету арқылы зерттелетін басқару жүйесін жобалау мәселесі                                                                                                        |
| Жолаушылар пойызы                        | – жолаушыларды, олардың жүктерін, пошталық жөнелтулерді тасымалдау үшін                                                                                                                                  |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Жүрдек жолаушылар пойызы | арналған жолаушылар және багаждық вагондардан тұратын пойыз<br>– жылдамдығы 200 км/сағ дейінгі жолаушылар пойызы                                                                                                                                            |
| Жүк пойызы               | – әр түрлі жүк вагондарының типтерінен тұратын әр түрлі жүктерді тасымалдауға арналған пойыз                                                                                                                                                                |
| Контейнерлік пойыз       | – әр түрлі өлшемге ие контейнерлерді тасымалдау үшін арналған платформалардан тұратын пойыз                                                                                                                                                                 |
| ТЭ33А сериялы локомотив  | – темір жол бойынша пойыздардың немесе жеке вагондардың қозғалысын ұйымдастыруға арналған дизельді тепловоз                                                                                                                                                 |
| Радиоблоктау             | – пойыз аралық интервалды азайту мақсатында жылжымалы блок-телімдер технологиясын қолданып, цифрлы радиобайланыс негізінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесі                                                                                     |
| OpenTrack                | – темір жол көлігінің инфрақұрылымын, жылжымалы құрамның техникалық сипаттамаларын, автоматты басқару жүйесін, пойыздардың қозғалыс кестесін және т.б. параметрлерді енгізу арқылы темір жол желісін микроскопиялық модельдеуге арналған бағдарламалық өнім |

## БЕЛГІЛЕР ЖӘНЕ ҚЫСҚАРТУЛАР

|              |                                                                          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|
| «ҚТЖ» ҰК» АҚ | – «Қазақстан темір жолы» Ұлттық компаниясы» Акционерлік қоғамы           |
| ПҚИРКЖ       | – пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесі          |
| СИРДП-Е      | – жылжымалы блок-телімді радио арна негізіндегі интервалды реттеу жүйесі |
| ERTMS        | – European Rail Traffic Management System                                |
| ETCS         | – European Train Control System                                          |
| CTCS         | – Chinese Train Control System                                           |
| ITCS         | – Incremental Train Control System                                       |
| ATACS        | – Advanced Train Administration and Communication System                 |
| CBTC         | – Communications-Based Train Control                                     |
| АБ           | – автобloquent                                                           |
| ЖАБ          | – жартылай автоматты бloquent                                            |
| РБ           | – радиобloquent                                                          |
| TETRA        | – Terrestrial Trunked Radio                                              |
| GSM-R        | – Global System for Mobile communications – Railway                      |
| АЛС          | – автоматты локомотивтік сигнализация                                    |
| ТЖАТЖ        | – темір жол автоматика және телемеханика жүйелері                        |
| АРЖ          | – автоматты реттеу жүйесі                                                |
| DAS          | – Distributed Acoustic Sensor                                            |
| ИМ           | – имитациялық модельдеу                                                  |
| МПО          | – микропроцессорлық орталықтандыру                                       |
| C-OTDR       | – когерентті рефлектометр                                                |
| СОБ          | – сигнализация, орталықтандыру және бloquent                             |
| FTS          | – Frauscher Sensor Technology                                            |
| ББТ          | – бекітілген блок-телім                                                  |
| ЖБТ          | – жылжымалы блок-телім                                                   |
| ЖЖМ          | – жоғары жылдамдықты магистраль                                          |
| $L_{min3}$   | – үш мінді сигнализация кезіндегі пойыздардың жақындау арақашықтығы      |
| $T_3$        | – минимал интервал уақыты                                                |
| $L_{minK}$   | – минимал рұқсат етілген пойыз аралық интервал                           |
| $N_{max}$    | – темір жол көлігінің өткізу қабілеті                                    |
| $V$          | – локомотив жылдамдығы                                                   |
| $D$          | – импульс дисперсиясы                                                    |
| $F_z$        | – артық тартым қуаты                                                     |
| $s$          | – пойыздың жүрген жолы                                                   |

## КІРІСПЕ

**Диссертациялық зерттеудің өзектілігі.** Соңғы жылдары темір жол көлігі бойынша тасымал көлемі ұлғайып, көлік-логистика саласының дамуына аса мән беріліп отыр, оның дәлелі, Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың 2023 жылғы 1 қыркүйектегі «Әділетті Қазақстанның экономикалық бағдары» атты Қазақстан халқына Жолдауында: «Стратегиялық маңызы бар міндеттің бірі – көлік-логистика саласының әлеуетін толық пайдалану. Қазір әлемде жаңа экономикалық кеңістік қалыптасып жатыр. Қытайдан Еуропаға, Ресейге, Орталық Азияға және осы аймақтардан Қытайға жіберілетін тауар көлемі айтарлықтай көбейеді деген болжам бар. Қазақстан солтүстік пен оңтүстікті, батыс пен шығысты байланыстыратын жаһандық жолайрықта орналасқан. Бұл біздің елімізге зор мүмкіндік беріп отыр. Сондықтан көлік-логистика саласы экономикамызды алға бастайтын басты күштің біріне айналуға тиіс» деп айтылған [1].

Алайда, бұл мәселені орындауда темір жол көлігінде бірқатар шектеулер бар, солардың бірі ретінде [2] құжатта қолданыстағы автоматика жүйелері мен қондырғыларының қанағаттанарлықсыз техникалық жай-күйі жолаушылардың өмірі мен денсаулығына, тасымалданатын жүктердің сақталуына, темір жол көлігінің инфрақұрылымы объектілері мен жылжымалы құрамдарға, қоршаған ортаның қауіпсіздігіне қауіпті факторларының туындауын арттыратындығы атап айтылған.

Сондай-ақ, [2] сәйкес көлік инфрақұрылымы мен тасымалдау қызметінің тұрақтылығы мен қауіпсіздігіне әсер ететін мәселелердің бірі цифрландыру, автоматтандыру, реттеу, қозғалысты бақылау және басқару құралдарын тиімсіз пайдалану болып табылса, онда тасымалдау қызметі мен инфрақұрылымды басқарудың жалпы тиімділігіне әсер ететін проблема қазіргі заманғы цифрлық технологиялар мен көлік қызметін жоспарлау және басқарудың автоматтандырылған жүйелерінің жеткіліксіз дамуы мен қолданылуын атап көрсеткен.

Мұнан басқа, [3] сәйкес «Қазақстан темір жолы» Ұлттық компаниясы» Акционерлік қоғамының («ҚТЖ» ҰК» АҚ) негізгі стратегиялық тапсырмалары Қазақстан Республикасының транзиттік әлуетін арттыру, контейнерлік тасымалды және жүрдек жолаушылар қозғалысын ұйымдастыру болып табылады. Алға қойылған мақсаттарға қол жеткізу үшін жылдамдық пен жайлылықтың қажетті деңгейін қамтамасыз ететін жылжымалы құрам паркін жаңарту, сигнализация, орталықтандыру және блоктау (СОБ) шаруашылығының құрылғыларын жаңғырту және тасымалдау үрдісін ұйымдастырудың жаңа технологиялық нормаларын әзірлеуді көздейді.

Демек, темір жол көлігі арқылы жүктерді уақытылы жеткізу, жолаушыларға арналған жайлылық пен қауіпсіздікті қамтамасыз ету және телімнің өткізу қабілетін арттыру үшін үнемі тасымалдау үрдісінің сапа көрсеткіштерін жақсартуды талап етеді. Бұл мәселені шешудің ең тиімді жолы пойыздар қозғалысын интервалды реттеу тәсілдерін жетілдіру және оңтайландыру болып табылады.



Өйткені пойыздардың қозғалысын интервалды реттеудің қолданыстағы тәсілінде реттеу технологиясы алдағы пойыздың соңғы вагонының координатасы бойынша ақпаратты радио байланыс арқылы басқару орталығына және соңғы пойызға беру арқылы жүзеге асырылады. Егер басқару орталығы мен пойыз арасындағы байланыс қандай да бір себептермен үзіле қалған жағдайда соңғы пойыздың қызметтік тежеу жолы алдағы пойыздың шұғыл тежеу жолынан артық болуына орай пойыз машинисті жылдамдықты лезде, тіпті шұғыл тежеу қажет болады, бұл өз кезегінде жүйенің пайдалану тиімділігін төмендетеді.

Аталған мәселелерді ескере отырып, басқару орталығы мен пойыздар арасындағы байланыс арнасында ақау болған кезде тасымалдау үрдісін тоқтаусыз жүзеге асыру мақсатында пойыздардың қозғалысын интервалды реттеудің оңтайлы және қауіпсіз моделін әзірлеу осы диссертациялық жұмыстың өзектілігі болып табылады.

Қазіргі таңда пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық әдісі және жүйелерін жетілдіру бойынша бірқатар зерттеулер жасалынған және олар Ф.П. Бестемьянов, В.М. Лисенков, J. Pachl, P. Stanley, J. Trinckauf, A.M. Романчиков, Е.Н. Розенберг, N. Furness, P. Arcaini, I. Hansen, Ю.А. Кравцов және т.б. еңбектерінде баяндалған.

**Зерттеудің мақсаты.** Пойыздар қозғалысын интервалды реттеуді координаталық тәсілмен ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделін жасау.

**Зерттеу тапсырмалары:**

- пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерін (ПҚИРКЖ) пайдалану тәжірибелерін және радиобайланыс ақауларының себептерін зерттеу және талдау;

- виброакустикалық технологияны қолдануды ұсынумен ПҚИРКЖ оңтайландырылған құрылымдық-функционалдық моделі мен алгоритмін жасау;

- қолданыстағы темір жол желісінде пойыздар қозғалысын ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделін пайдалануды компьютерлік моделдеу негізінде зерттеу;

- жылжымалы құрам сипаттамаларының ПҚИРКЖ пайдалану тиімділігіне әсерін зерттеу мақсатында локомотивтің тартым қозғалтқышының динамикалық сипаттамаларын моделдеу.

**Зерттеу нысаны.** Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің жұмыс үрдісі.

**Зерттеу әдістері.** Қойылған зерттеу тапсырмаларын шешу мақсатында ПҚИРКЖ бойынша ғылыми-техникалық әдебиеттер деректерін талдау, автоматты реттеу теориясы негізіндегі математикалық модельдеу, статистикалық зерттеу, қолданбалы және имитациялық бағдарламалық құралдарына негізделген компьютерлік модельдеу әдістері қолданылды.

**Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы:**

- пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерінің құрылымына кешенді талдау жасалынып, байланыс арнасында ақаулардың пайда болуына сандық баға берілді;

- пойыздардың қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесі арқылы пойыздар қозғалысын ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделі

мен әдісі әзірленді;

- ПҚИРКЖ сенімді жұмысын қамтамасыз ететін байланыс жүйесінің моделі әзірленді;

- пойыздар қозғалысын ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделін қолдануды имитациялық моделдеу негізінде бағалау әдістері ұсынылды.

- ПҚИРКЖ жұмыс тиімділігін арттыру мақсатында жылжымалы құрам локомотивінің асинхронды электр жетегін оңтайлы басқару жүйесі әзірленіп, оның параметрлерінің синтезі жасалды.

**Қорғауға мынадай ғылыми ережелер шығарылады:**

- пойыздар қозғалысын интервалды реттеу технологиясы бойынша жылжымалы және бекітілген блок-телімдерді қатар қолданатын ПҚИРКЖ оңтайландырылған құрылымы мен жұмыс алгоритмі;

- пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінде басқару орталығы мен пойыздар арасындағы байланысты ұйымдастыру моделі;

- ПҚИРКЖ арқылы пойыздар қозғалысын ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделі;

- жылжымалы құрам локомотивінің асинхронды электр жетегін орнықты басқарудың оңтайландырылған жүйесі мен оның параметрлерінің синтезі.

**Зерттеу нәтижелерін жүзеге асыру.** Докторлық диссертация бойынша зерттеудің негізгі нәтижелері «Frauscher Sensortechnik GmbH» ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық әзірлемелерінде қолданылған, сонымен қатар Мұхаметжан Тынышбаев атындағы АЛТ Университетінің «Көлік қызметтері және бизнес» кафедрасының оқу үрдісіне енгізілген, мұнан басқа «ТрансКом» ЖШС стратегиялық даму жоспарларын өңдеуде және «ALSTOM KAZAKHSTAN» ЖШС жылжымалы құрамдар мен пойыздар қозғалысын басқару жүйелерін әзірлеу, локализациялау, жетілдіру және пайдалану кезінде қолдану ұсынылған, сонымен қатар «Транстелеком» АҚ зерттеу нәтижелерін темір жол теліміне енгізудің техникалық мүмкін екендігін растаған (В қосымшасы).

**Жұмыстың ғылымды дамыту бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі.** Диссертациялық жұмыстың негізгі зерттеу нәтижелері 2022-2024 жылдарға арналған «Жас ғалым» жобасы бойынша жас ғалымдарды гранттық қаржыландыруға арналған АР15473668 «Пойыздар қозғалысын басқарудың интеллектуалды цифрлық жүйесінің алгоритмдерін зерттеу және оңтайландыру» жобасын іске асыру барысында алынды.

Мұнан басқа, диссертациялық жұмыс «Қазақстанның көліктік-логистикалық кешенін 2030 жылға дейін дамытудың кешенді жоспарын қалыптастыру бойынша талдау шолу және тұжырымдамалық ұсыныстарына» сай жүк және жолаушылар пойыздарының жылдамдығын жоғарылатуды қамтамасыз ету үшін инфрақұрылымды жаңғырту талаптарын қамтиды.

**Жұмыс апробациясы:** Диссертацияның негізгі ережелері келесі Халықаралық конференцияларда баяндалып, талқыланған: «Көліктегі инновациялық технологиялар: білім, ғылым, тәжірибе» XLII Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясында, Алматы, 2018 ж.; Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте. Материалы III Всероссийской

научно-практической конференции. Самара, 2021 г.; «Көліктегі инновациялық технологиялар: білім, ғылым, тәжірибе» I Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясында, Алматы, 2021 ж.

**Жарияланымдар.** Докторлық диссертация тақырыбына сәйкес орындалған зерттеулер нәтижелері бойынша 7 ғылыми жұмыстар жарияланды, олардың ішінде 1 жұмыс Scopus халықаралық деректер қорына кіретін басылымдарда (журналдың Transportation бағыты бойынша процентиілі – 25 төмен емес), 6 жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда, 1 монография жарияланды, сонымен қатар 2 куәлік және 1 пайдалы модельге патент алынды.

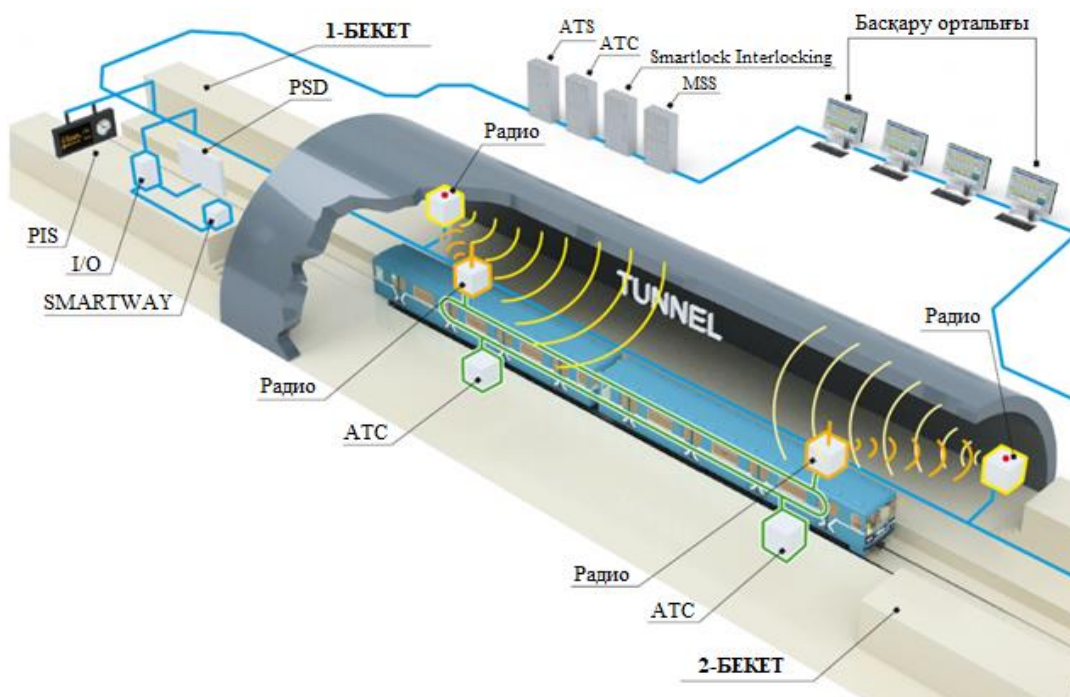
**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімдерден, қорытындыдан, 102 пайдаланылған дереккөздер тізімінен, 5 қосымшадан, 91 суреттен, 12 кестеден тұрады. Диссертациялық жұмыс мәтінінің жалпы көлемі – 121 бет.

# 1 ПОЙЫЗДАР ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУДІҢ КООРДИНАТАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ ЖӘНЕ МӘСЕЛЕЛЕРІ

## 1.1 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелері және оларды пайдаланудың әлемдік тәжірибесі

Әлем бойынша пойыздар қозғалысын координаталық тәсілмен интервалды реттеу жүйелерін қолдану жыл сайын артып келеді, өйткені темір жол көлігінің өткізіу қабілетін арттыру, соның ішінде жоғары жылдамдықты магистральді (ЖЖМ) ұйымдастырудың бірден-бір мүмкіндігі және оның оңтайлы техникалық шешімі осындай жүйелерді пайдалану болып табылады. Мұндай жүйелер қатарына Еуроодақ елдерінде – ETCS (European Train Control System), Қытайда – CTCS (Chinese Train Control System), Ресейде – ИТАРУС-АТС, АҚШ – РТС (Positive Train Control), Жапонияда – АТАКС (Advanced Train Administration and Communication System), Қазақстан және Монғолияда – СИРДП-Е, әлем елдерінің метрополитендерінде СВТС (Communications-Based Train Control) жатқызуға болады.

Метрополитендерде пойыздардың қозғалысын координаталық тәсілмен интервалды реттеу үшін Communications-Based Train Control (CBTC) [4] жүйесі қолданылады. СВТС жүйесінде де пойыздар қозғалысын реттеудің координаталық тәсілі пайдаланылады. 1.1-суретте СВТС жүйесінің құрылымы келтірілген және жүйеде келесі ішкі жүйелер қолданылады:



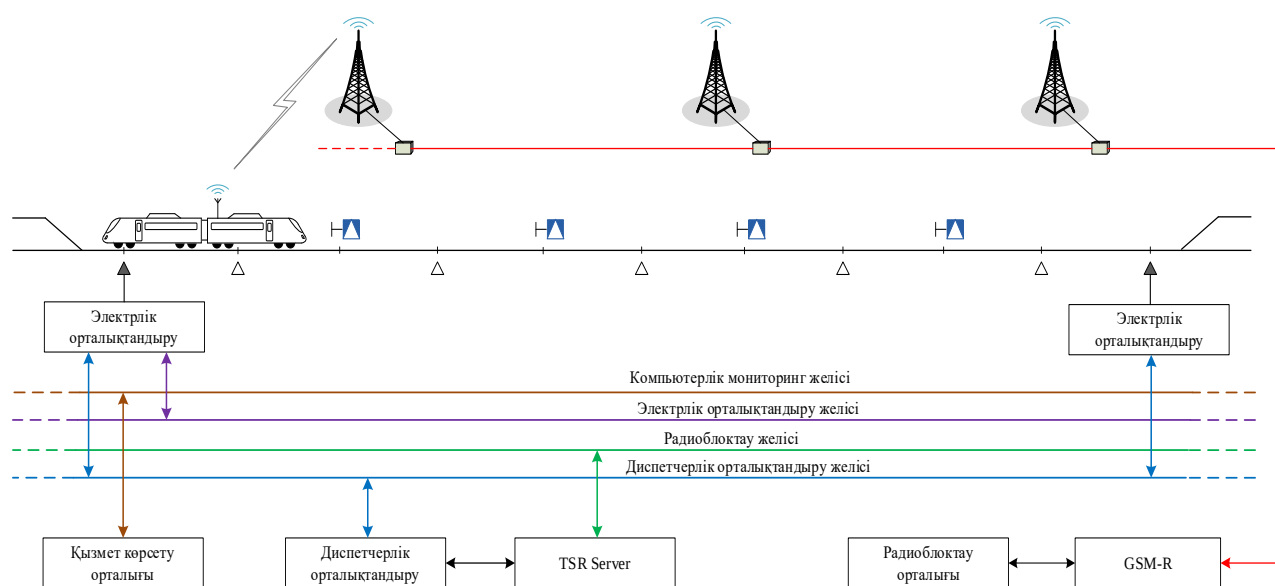
PIS – Passenger Information System; I/O – Input/Output; MSS – Maintenance Support System; ATC – Automatic Train Control; ATS – Automatic Train Supervision; PSD – Platform Screen Doors

Сурет 1.1 – СВТС жүйесінің құрылымы [5]

Қытай темір жол желісінде қолданылатын CTCS жүйесінің негізін қытайлық спецификациямен еуропалық ETCS жүйесі құрайды. Қызметтері мен техникалық құрылғылары бойынша ерекшеленетін CTCS жүйесі бес деңгейден тұрады. Пойыздарды басқару мәліметтерін беру үшін GSM-R желісі немесе тональды рельс тізбегі пайдаланылады. Рельс тізбегін қолдану үшін ETCS спецификациясында жоқ арнайы CTCS-2 деңгейі қарастырылған (1.1-кесте). CTCS-3 жүйесінің құрылымы 1.2-суретте келтірілген [6].

Кесте 1.1 – CTCS жүйесі деңгейлерінің салыстырмалы талдамасы [6]

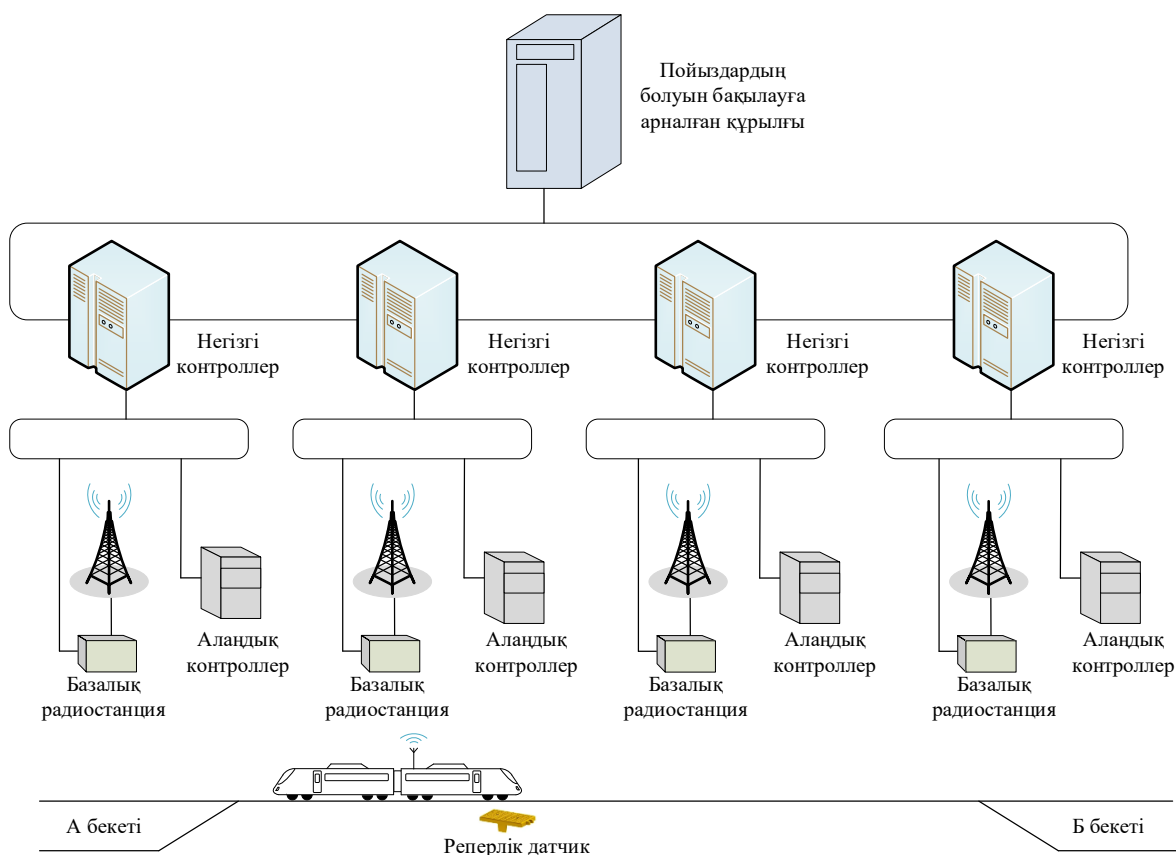
| CTCS жүйесінің деңгейлері         | CTCS-0                  | CTCS-1                  | CTCS-2                         | CTCS-3                   | CTCS-4                   |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Пойыз орнын анықтау әдісі         | Рельс тізбегі           | Рельс тізбегі           | Рельс тізбегі, реперлік датчик | Реперлік датчик, одометр | Реперлік датчик, одометр |
| Беру арнасы                       | Рельс тізбегі           | Рельс тізбегі           | Рельс тізбегі, реперлік датчик | GSM                      | GSM/LTE                  |
| Блоктау режимі                    | Тіркелген блок-телімдер | Тіркелген блок-телімдер | Жылжымалы блок-телімдер        | Жылжымалы блок-телімдер  | Жылжымалы блок-телімдер  |
| ETCS деңгейлерімен салыстыру      | -                       | ETCS-1                  | -                              | ETCS-2                   | ETCS-3                   |
| Пойыздың тұтастығын тексеру әдісі | Рельс тізбегі           |                         |                                |                          | Борттық аппаратура       |



Сурет 1.2 – CTCS-3 жүйесінің құрылымы

Ескерту – [6] негізінде автормен құрастырылған

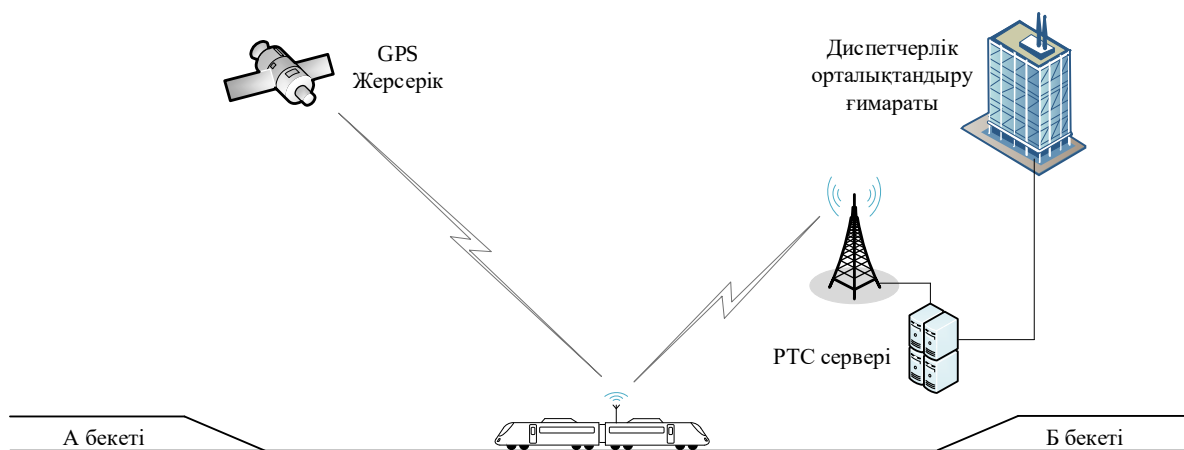
2011 жылдан бастап Жапонияның кейбір темір жол желілерінде пойыздардың қозғалысын координаталық тәсілмен интервалды реттеу үшін Hitachi және Mitsubishi компанияларымен бірлесіп құрылған жиілігі 400 МГц диапазонындағы цифрлы радио арнаны қолданатын ATACS (Advanced Train Administration and Communication System) жүйесі пайдаланылады (1.3-сурет). Жүйеде рельс тізбектері пайдаланылмайды, ал жұмыс принципі еуропалық 3-деңгейдегі ETCS жүйесіне сай келеді және бекеттерде, диспетчерлік басқару орталықтарында орнатылған стационар, сонымен қатар пойыз бортына орнатылатын борттық аппаратуралардан тұрады [7].



Сурте 1.3 – ATACS жүйесінің архитектурасы [8]

Positive Train Control (PTC) жүйесі Солтүстік Америка темір жол желісінде пойыздар қозғалысын басқару үшін қолданылатын жүйе болып табылады және жүйенің басты міндеті пойыздардың қозғалыс жылдамдығын арттыру емес, олардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге негізделген. Өйткені Солтүстік Америка темір жолдарының басым бөлігі Automatic Train Protection (ATP) жүйесімен жабдықталмаған. PTC жүйесінің жұмысы үшін 2 және 3-деңгейдегі ETCS жүйесі сияқты радиомен басқару технологиясы қолданылады, алайда пойыздардың орнын анықтаудың негізгі технологиясы ретінде жерсеріктік навигациялық жүйесі GPS (Global Positioning System) қолданылады (1.4-сурет) [9, 10].

Мұнан басқа PTC жүйесі Панама Республикасы, Аустралияның Тасмания аралдары және Мозамбик Республикасы темір жол желілерінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің негізгі құралы ретінде қолданыс тапқан.



Сурет 1.4 – РТС жүйесінің архитектурасы

Ескерту – [9] негізінде автормен құрастырылған

1.5-суретте Ресей және Италия темір жол өкілдерінің біріккен жұмысы нәтижесінде өңделген ITARUS-ATC жүйесінің құрылымы келтірілген. Бұл жүйе Euroradio хаттамасы негізіндегі GSM-R цифрлы радиобайланысын, сонымен қатар тональды рельс тізбектерін қолдану арқылы жұмыс жасайды [11]. Жүйенің басты ерекшелігі басқару үрдісіне қажетті алғашқы ақпарат көзі ретінде рельс тізбектерін пайдалану болып табылады. Жүйе Ресейдің кейбір темір жол телімдерінде қолданыс тапқан.

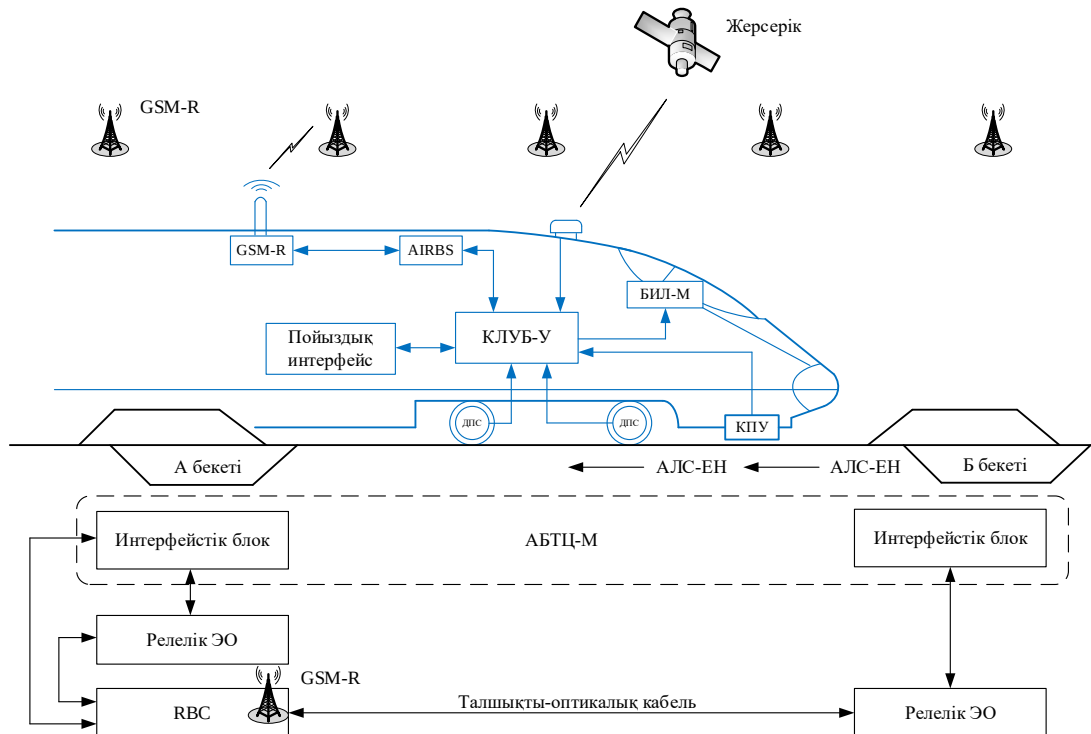
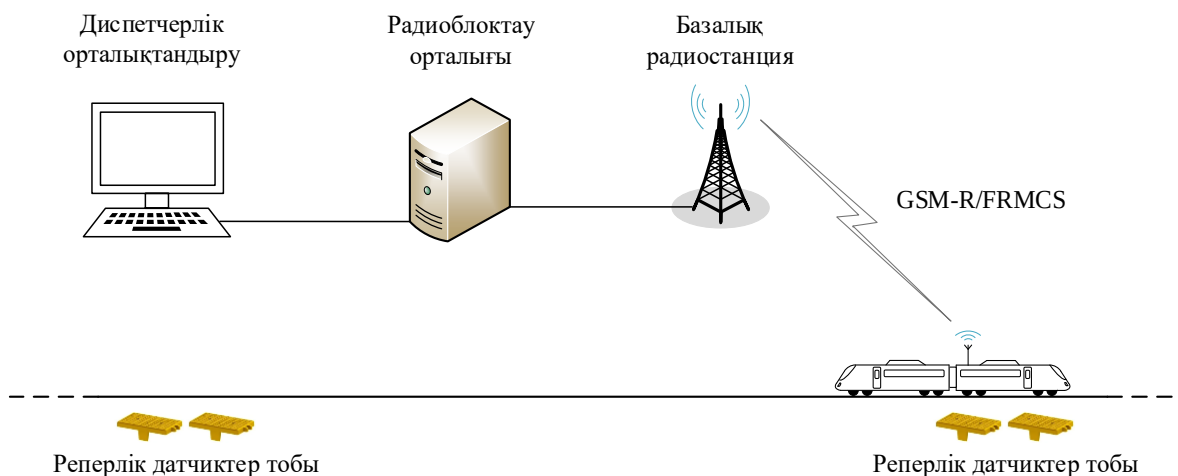


Рисунок 1.5 – ITARUS-ATC жүйесінің құрылымы [11]

Еуропалық ERTMS/ETCS жүйесі пойыздар қозғалысының қауіпсіздігін қамтамасыз ететін ETCS және радиоблоктау орталығы мен пойыздың арасын

байланыстыратын GSM-R радиобайланысынан тұратын екі ішкі жүйеден құралған (1.6-сурет) [12]. Барлығы бес деңгейден тұратын бұл жүйенің стандартталған әр түрлі модификациялары бар және еуропа елдерінен басқа да мемлекеттерде қолданыс тапқан [13].



Сурет 1.6 – Үшінші деңгейдегі ETCS жүйесінің құрылымы

Ескерту – [15] негізінде автормен құрастырылған

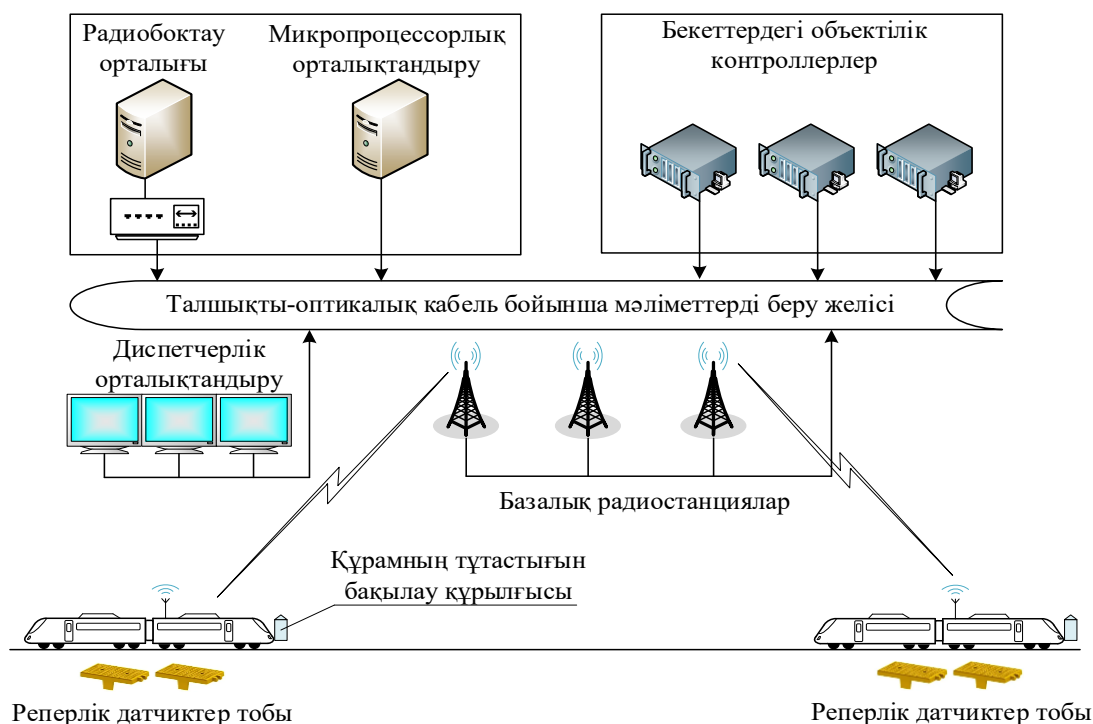
ERTMS/ETCS жүйесінің барлық деңгейлерінің эталондық архитектурасы және спецификациясы [14] келтірілген. Өңделген спецификация жүйені үш режимде жұмыс жасауға мүмкіндік береді, олардың екеуі локомотив пен басқару орталығының арасында мәліметтерді берудің негізгі арнасы ретінде цифрлы радиоарнаны қолданады. Жүйенің жұмыс жасау принципі [15] құжатта келтірілген.

Бірақ барлық мемлекеттерде пойыз және радиоблоктау орталығымен ақпарат алмасу үшін жаппай GSM-R цифрлық стандартын қолдануға мүмкіндік жоқ, мәселен Қазақстанда GSM-R стандартында қолданылатын 200 кГц арнаның жіберу жолағы, 876-880, 921-925 МГц жиіліктер спектрі мемлекеттің басқа құрылымында қолданылған [16].

Сәйкесінше жүйені енгізу үшін басқа радиобайланыс стандарттары қолданылуы мүмкін, соның бір масылы ретінде «ҚТЖ» ҰК» АҚ қарастыруға болады, яғни Қазақстанның жаңа темір жол желілерінде Teltronic S.A.U. компаниясының NEBULA TETRA Infrastructure шешіміне негізделген TETRA цифрлы радиобайланыс стандартын еуропалық үшінші деңгейдегі ERTMS/ETCS жүйесінің негізінде құрылған СИРДП-Е жүйесінде негізгі байланыс ретінде қолданған [17].

«ҚТЖ» ҰК» АҚ магистраль темір жол желілерінде СИРДП-Е жүйесін пайдалану кезіндегі негізгі мәселе TETRA стандартындағы радиобайланыс желісінің үйлесімділігін қамтамасыз ету болған болатын. Осыған орай еліміздегі басты оператор «ҚТЖ» ҰК» АҚ байланыс аппаратураларының жұмысын қолданыстағы темір жол желілерінде сынау жұмыстарын бастаған болатын. СИРДП-Е жүйесінің архитектурасы 1.7-суретте келтірілген [18].





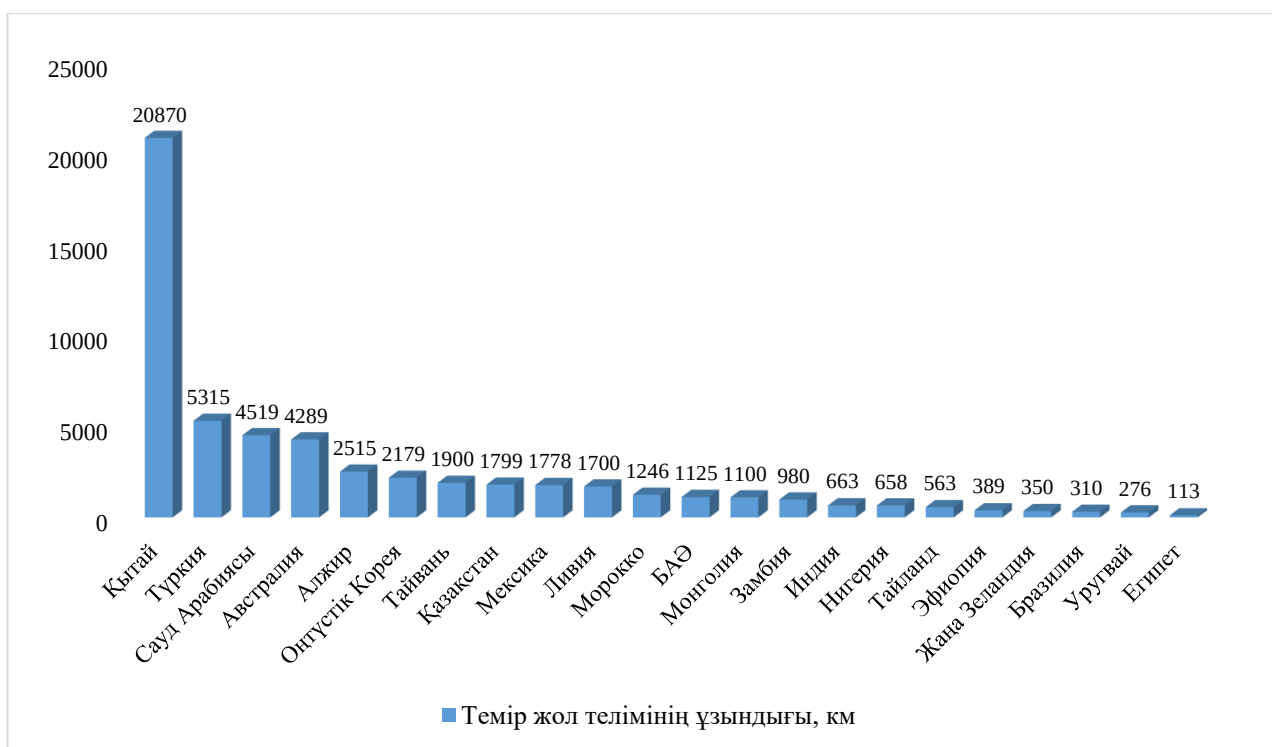
Сурет 1.7 – СИРДП-Е жүйесінің архитектурасы

Ескерту – [18] негізінде автормен құрастырылған

Жоғарыда талдама жасалынған пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерінің барлығында басқару орталығы мен пойыздар арасында негізгі байланыс ретінде цифрлы радиобайланысты қолданылған. Аталған жүйелерде жылжымалы блок-телімдер технологиясын ұйымдастырудың ең басты шарттары пойыздардың орнын анықтау мақсатында едендік құрылғыларды қолданбау. Осының негізінде пойыздар арасындағы минимал қауіпсіз интервалды қамтамасыз етуде цифрлы байланыс жүйесі ешқандай қателіктер мен ақауларға жол бермеуі қажат, егер олай болмаған жағдайда пойыздардың аралықтағы нақты орны туралы сенімді ақпараттың басқару орталығында болмауына орай қауіпті жағдай орын алады.

Келтірілген жүйелердің ішінде тек қана метрополитендердегі пойыздар қозғалысын басқару жүйесі оларды пайдалану нәтижелері орнықты жұмыс нәтижесін көрсетіп отыр, оның себебі жүйенің жер астында орналасуы, осының салдарынан байланыс жүйесіне кедергі келтіретін сыртқы сигнал көздері жоқ, ал магистраль желілерде цифрлы байланыс арнасына әсер ететін әр түрлі электромагниттік сыртқы сигнал көздері көп. Осыған байланысты әлемнің кез-келген мемлекетінде жылжымалы блок-телімдер технологиясын сенімді түрде қолданатын ПҚИРКЖ алу мүмкін болмай отыр.

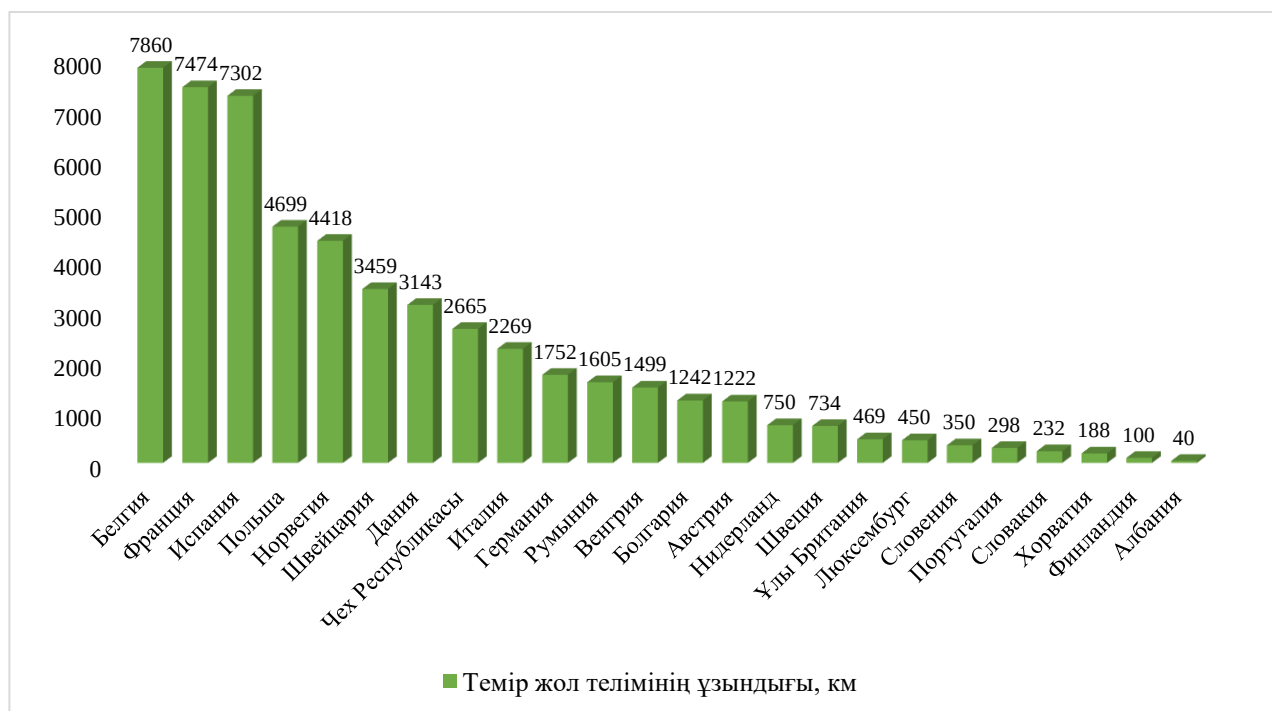
1.8-суретте ПҚИРКЖ енгізілген темір жол желісінің ұзындығы бойынша еуропа елдерін санамағандағы әлем елдерінің статистикасы келтірілген, статистиканы 20 870 км ұзындықта әлем бойынша ең ауқымды жабдықтаған ел ретінде Қытай бастап, 113 км ұзындықпен Египет аяқтайды. Ал диаграммадан Қазақстан аталмыш жүйемен темір жол желісін жабдықтау бойынша сегізінші орында екендігін көруге болады [19].



Сурет 1.8 – Әлем елдері бойынша ПҚИРКЖ қолдану статистикасы

Ескерту – Диаграмма [19] негізінде автормен құрастырылған

1.9-суретте Еуроодақ елдерінде ПҚИРКЖ енгізілген темір жол желісінің ұзақтығы бойынша статистикасы келтірілген. Статистиканы 7860 км ұзындықпен Белгия бастап, 40 км ұзындықпен Албания аяқтайды [19].

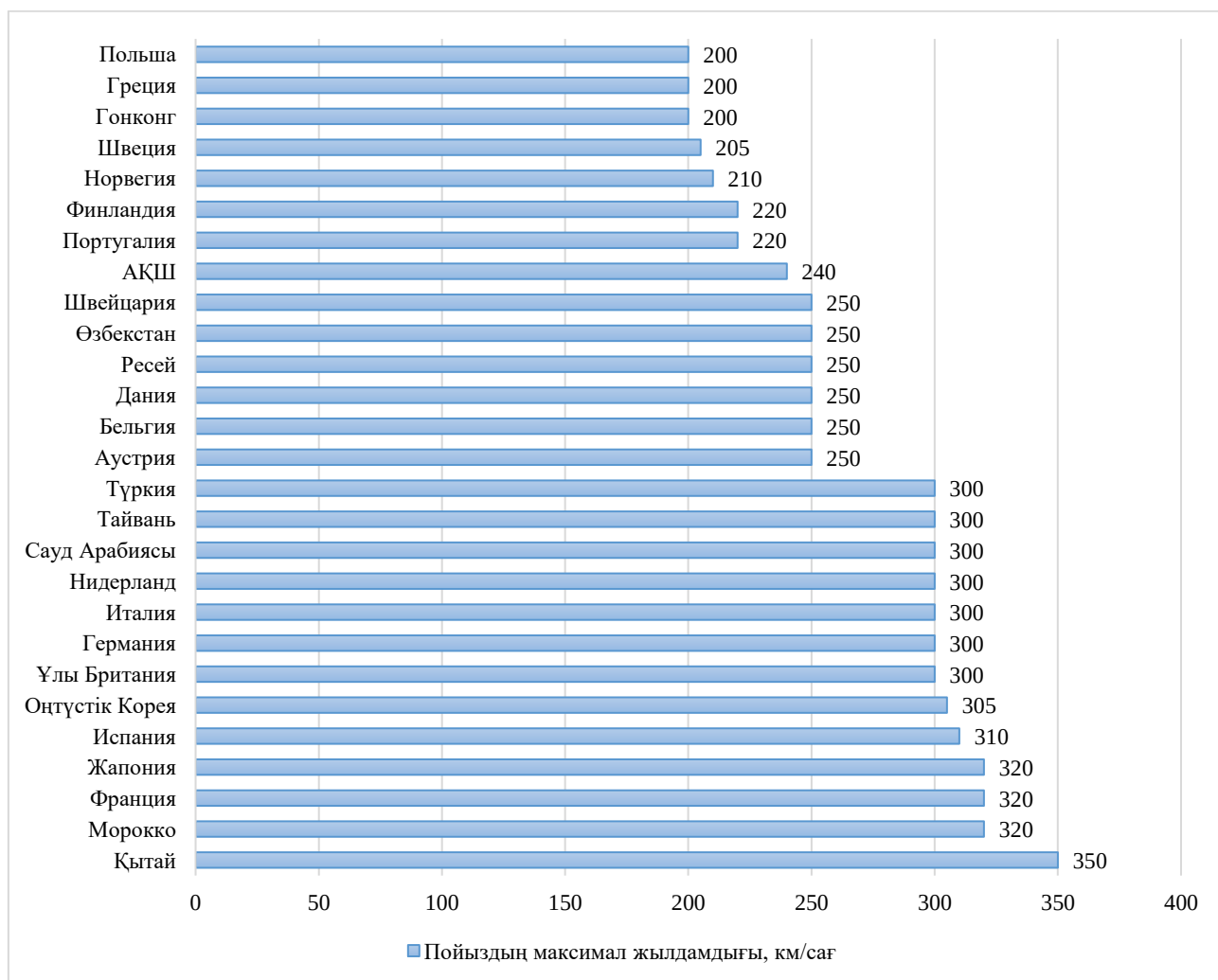


Сурет 1.9 – Еуроодақ елдері бойынша ПҚИРКЖ қолдану статистикасы

Ескерту – Диаграмма [19] негізінде автормен құрастырылған

Бұл статистика көрсеткіштері жыл сайын артатыны сөзсіз, өйткені жаңа темір жол құрылысында пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің негізгі құралы ретінде координаталық тәсілге негізделген пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелері қолданылу көзделген [20] және әлем елдерінің кейбір пайдалану тәжірибелері [21] баяндалған.

ПҚИРКЖ қолданудың басты мақсаттарының бірі жоғары жылдамдықты магистральді (ЖЖМ) ұйымдастыру болып табылады және осы тұрғыда әлем елдері бойынша жоғары жылдамдықты темір жолдар статистикасы [22, 23] сәйкес 1.10-суретте келтірілген.



Сурет 1.10 – Әлем елдері бойынша жоғары жылдамдықты темір жолдар статистикасы

Ескерту – Диаграмма [22, 23] негізінде автормен құрастырылған

Келтірілген диаграммадан Қытай ЖЖМ ұйымдастыру бойынша көш бастап отыр, ал Қазақстан темір жол желісінде әлі ЖЖМ ұйымдастыру мүмкін болмай отыр, оның басты себептері сәйкес инфрақұрылымның болмауымен түсіндіріледі, яғни темір жол желісі, оның электрлік тартымымен қамтылуы және қауіпсіз қызмет атқаратын ПҚИРКЖ.

## 1.2 «ҚТЖ» ҰК» АҚ магистраль темір жол желісіндегі автоматика және телемеханика жүйелерінің қазіргі жағдайы мен талдамасы

Темір жол автоматика және телемеханика (ТЖАТ) жүйелерінің негізгі мақсаты жылжымалы құрамдардың соқтығысуының алдын алумен пайдалану үрдістерін тиімді қолдану болып табылады. Бұл мәселені орындау үшін басқару және бақылау жүйесіне темір жол телімі арқылы өтетін барлық пойыздар жайлы сенімді ақпарат қажет.

Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросы [24] және «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтеріне сай Республика бойынша темір жол желісінің 16 005,6 км жалпы ұзындығы кезінде пайдаланылатын жүйелер шеңберінде ТЖАТ келесідей жіктелген:

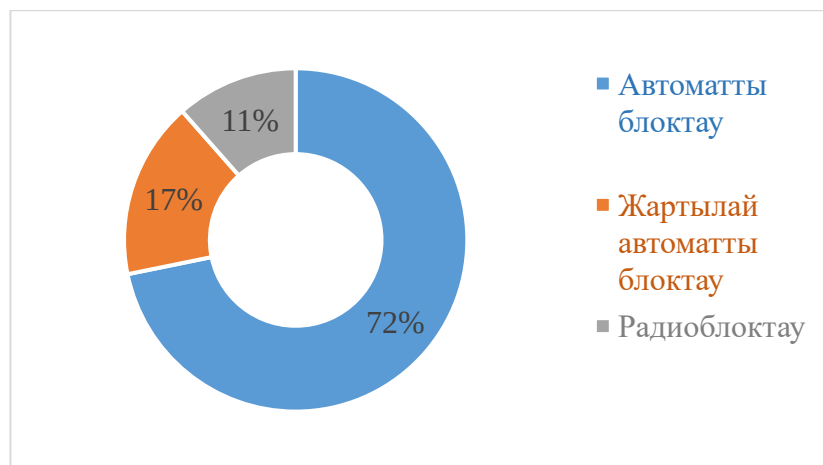
- микропроцессорлық диспетчерлік орталықтандыру – 14 931,805 км;
- электрлік орталықтандыру – 14 220 бұрма;
- пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесі, оның ішінде жартылай автоматты блоктау – 2 499,950 км, автоматты блоктау – 9 716,990 км, радиоблоктау (СИРДП-Е) – 258,059 км + 1 345 км.

Қазіргі таңда Қазақстанның магистраль темір жол желісіне «ҚТЖ» ҰК» АҚ құрамына кіретін отыз алты желілік бөлімшелері – сигнализация және байланыс дистанциялары (ШЧ) арқылы қызмет көрсетіледі. 1.2-кестеде тасымалдау үрдісінің қауіпсіздігін қамтамасыз ететін «ҚТЖ» ҰК» АҚ пайдаланылатын темір жол автоматика және телемеханика жүйелері келтірілген.

Кесте 1.2 – ТЖАТ жүйелерінің көрсеткіштері

| №                                                                 | Техникалық құрылғылар атауы                                          | Өлшем бірлігі | Техникалық құрылғылардың жалпы қуаты |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
| 1                                                                 | Автоматты блоктау                                                    | км            | 9716,990                             |
| 2                                                                 | Радиоблоктау (СИРДП-Е)                                               | км            | 258,059+1345                         |
| 3                                                                 | Жартылай автоматты блоктау                                           | км            | 2499,950                             |
| 4                                                                 | Электрлік орталықтандыру                                             | бұрма         | 14220                                |
| 5                                                                 | Микропроцессорлық орталықтандыру                                     | бұрма         | 1076                                 |
| 6                                                                 | Кілттік тәуелділік                                                   | бұрма         | 554                                  |
| 7                                                                 | Микропроцессорлық диспетчерлік орталықтандыру (МПДО), олардың ішінде | км            | 14931,805                            |
| 7.1                                                               | МПДО АСДЦ                                                            | км            | 8085,594                             |
| 7.2                                                               | МПДО Диалог                                                          | км            | 1652,908                             |
| 7.3                                                               | МПДО Юг                                                              | км            | 301,784                              |
| 7.4                                                               | МПДО Ebilock-950                                                     | км            | 1629                                 |
| 7.5                                                               | МПДО НЕМАН                                                           | км            | 3262,519                             |
| 8                                                                 | Дөңестік орталықтандыру                                              | бұрма         | 236                                  |
| Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ деректері негізінде автормен құрастырылған |                                                                      |               |                                      |

«ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісінде қолданылатын пойыздар қозғалысын интервалды реттеу (ПҚИР) жүйелерінің жұмыс принципі бойынша жіктелуі 1.11-суретте келтірілген.

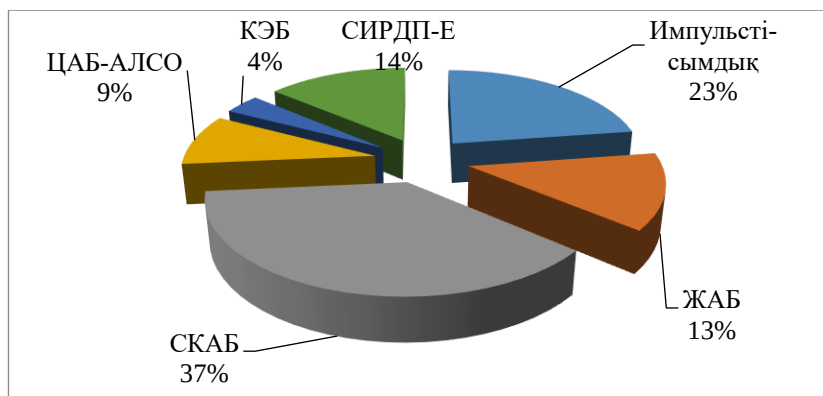


Сурет 1.11 – ПҚИР жүйелерінің жұмыс принципі бойынша жіктелуі

Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырған

Суреттен пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің негізгі құралы ретінде автоматты блоктау жүйелері әлі де басым қолданылатынын көруге болады. Мұнан басқа пойыздар қозғалысының қарқыны төмен телімдерде жартылай автоматты блоктау жүйелері қолданылып келеді. Сөйте тұра жаңа темір жол телімдерінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеу құралы ретінде енгізілген радиоблоктау жүйелері де қолданыс тапқан.

Аталған пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелерінің барлығы элементтік базасы мен типтері бойынша жартылай автоматты блоктау, импульсті-сымды автоблоктау, сандық кодтық автоблоктау, ЦАБ-АЛСО, КЭБ-1, 1 және 3-деңгейлердегі СИРДП-Е жүйелеріне жіктеледі, олардың еліміздің темір жол желісінде қолдану бойынша пайыздық үлесі 1.12-суретте келтірілген. СИРДП-Е жүйесінің 1-деңгейде болуы байланыс арнасының мәселелерімен түсіндіріледі.



Сурет 1.12 – Қолданыстағы ПҚИР жүйелерінің жіктелуі

Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырған

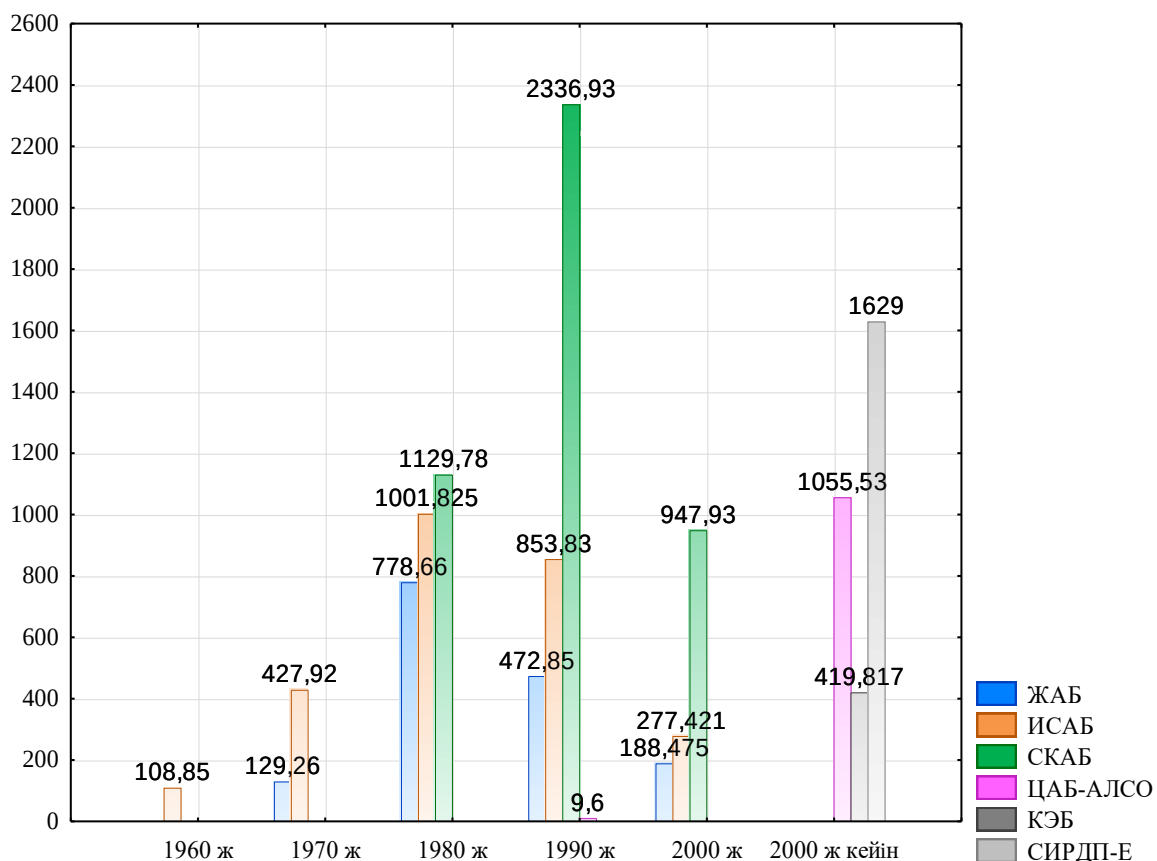
Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелерінің пайдалану

ұзындығы бойынша толық жіктелуі 1.3-кестеде келтірілген.

Кесте 1.3 – Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелерінің пайдалану ұзындығы бойынша жіктелуі

| №                                                            | Жүйелер атауы                         | Өлшем бірлігі | Сандық мәндері |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|----------------|
| 1                                                            | Импульсті-сымды автобloquentau (ИСАБ) | км            | 2535,518       |
| 2                                                            | Жартылай автоматты бloquentau (ЖАБ)   | км            | 2499,950       |
| 3                                                            | Сандық кодтық автобloquentau (СКАБ)   | км            | 5236,789       |
| 4                                                            | ЦАБ-АЛСО                              | км            | 1278,834       |
| 5                                                            | КЭБ-1                                 | км            | 407,790        |
| 6                                                            | СИРДП-Е (1 деңгей)                    | км            | 1345           |
| 7                                                            | Радиобloquentau (СИРДП-Е 3 деңгей)    | км            | 258,059        |
| Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ деректері негізінде автор құрастырған |                                       |               |                |

Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесімен жалпы 11 767,677 км темір жол желісі жабдықталған, олардың жүйе типтері бойынша пайдалануға берілген мерзімдеріне сай статистикасы 1.13-суретте көрсетілген.



Сурет 1.13 – Қолданыстағы ПҚИР жүйелерінің статистикасы

Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырған

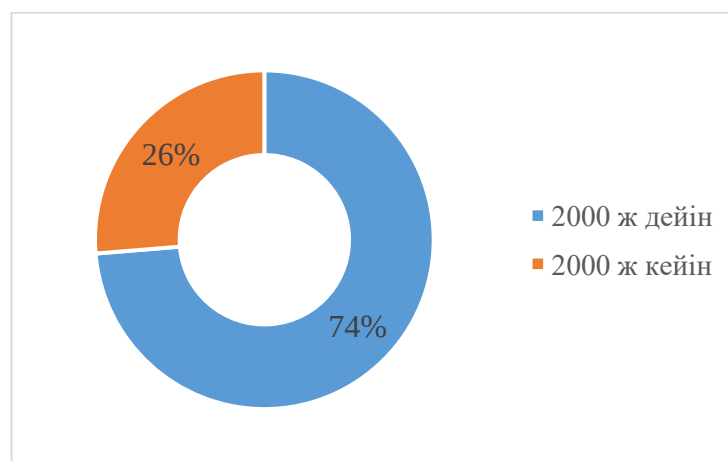
Талдама нәтижелері көрсеткендей «ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісінде

ескірген жүйелермен қатар электрондық және микроэлектрондық элементтік базада құрылған ПҚИР жүйелері де пайдаланылады. 1957-2000 жылдар аралығында пайдалануға ЖАБ және АБ жүйелері ғана енгізілген, ал Қазақстанның жаңа құрылған темір жол желілері 2011 ж бастап радиоблоктау жүйелерімен жабдықтала бастады. 1.4-кестеде [25] сәйкес мәліметтер келтірілген.

Кесте 1.4 – «ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісіндегі қолданыстағы АБ жүйелерінің ағымдағы күйі [25]

| Пайдалануға берілген жылдар      | 1950-1980                  | 1981-1982               | 1983-1987               | 1988-1992               |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| км АБ                            | 3501,492                   | 885,6                   | 2033,28                 | 1468,08                 |
| Пайдалану мерзімі                | 37-40 және одан да көп жыл | 35 және одан да көп жыл | 30 және одан да көп жыл | 25 және одан да көп жыл |
| Ұзындығы (км)                    | 3501,492                   | 4387,092                | 6420,372                | 7888,452                |
| АБ жалпы ұзындығының пайызы (км) | 30,85 %                    | 38,66 %                 | 56,58 %                 | 69,52 %                 |

Жоғарыда келтірілген статистика қорытындысы ПҚИР жүйелерінің басым бөлігі 2000 ж дейін пайдалануға берілгендігін және жүк және жолаушылар тасымалы бойынша қажетті өткізу қабілеттілікті қамтамасыз ету үшін темір жол желісін заманауи элементтік базадағы жүйелермен модернизациялау қажет ететіндігін көрсетіп отыр (1.14-сурет).



Сурет 1.14 – Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелерінің қазіргі күйі

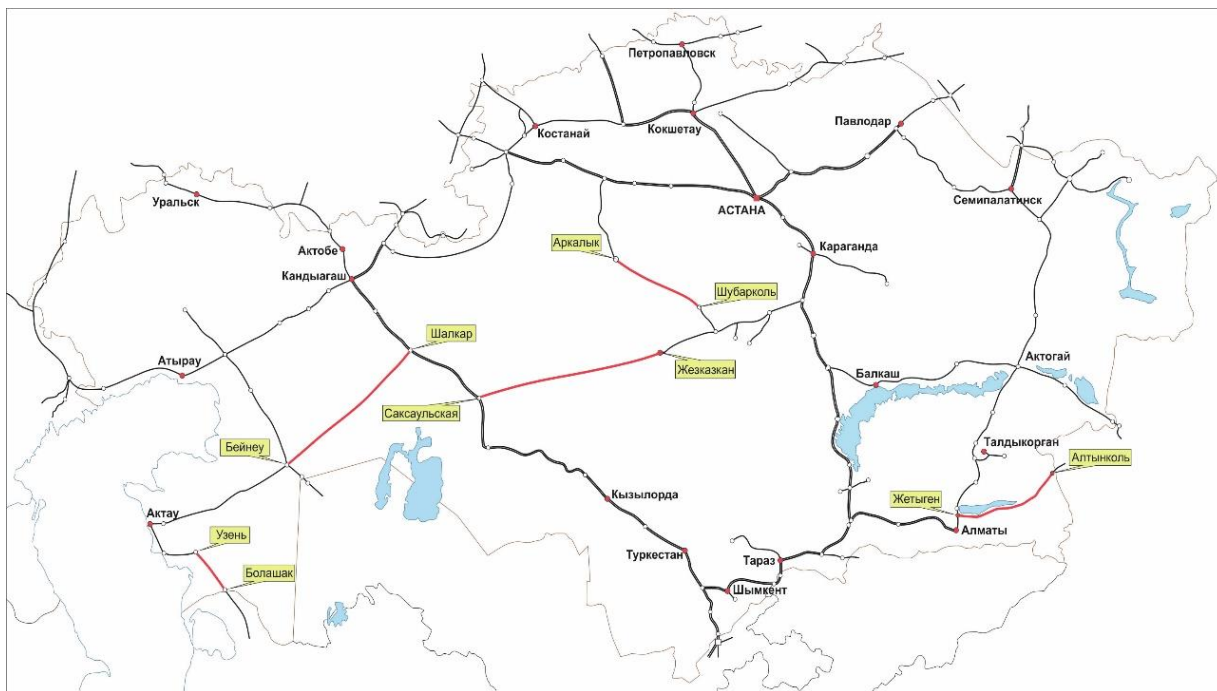
Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырған

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, пойыздардың қозғалысын интервалды реттеуді және олардың қозғалыс қауіпсіздігін жүзеге асыратын автоматика және телемеханика құрылғылары 70% - дан астам сыни қызмет мерзімімен пайдаланылып келеді.

### 1.3 «ҚТЖ» ҰК» АҚ магистраль темір жол желілерінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесін пайдалану тәжірибесі

2012 жылдан бастап Қазақстан Республикасы темір жол көлігіндегі тасымалдау үрдісінің бас операторы «ҚТЖ» ҰК» АҚ негізгі байланыс ретінде радиоарнаны қолданумен үшінші деңгейдегі ERTMS/ETCS тұжырымдамасы негізінде Bombardier Transportation компаниясының INTERFLO 550 техникалық шешімдеріне негізделген СИРДП-Е пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесін жеке магистральдық желілерінде пайдаланудың белгілі бір тәжірибесін жинақтады.

Бұл жүйе қазіргі күнде келесі темір жол телімдерінде енгізілген: Түркіменстанмен шекараға іргелес Өзен-Болашақ (143 км); Жетіген-Алтынкөл (258,059 км); Бейнеу-Шалқар (471 км), Сексеуіл-Жезқазған (517 км) және Арқалық-Шұбаркөл (214 км). Барлық темір жол телімдері – бір жолды, жүйені енгізу географиясы 1.15-суреттегі картада қызыл түспен көрсетілген.



Сурет 1.15 – Қазақстан темір жол желісінде СИРДП-Е жүйесін енгізу географиясы

Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырған

Bombardier Transportation компаниясының INTERFLO 550 негізінде пойыздар қозғалысын координаталық тәсілмен интервалды реттеу жүйесін енгізу географиясы туралы ақпарат 1.5-кестеде келтірілген.

Бұл жүйеде TETRA стандартын қолдану арқасында ERTMS/ETCS L3 жүйесіне қойылатын талаптар спецификациясына сай локомотивтің борттық құрылғылары мен радиоблоктау стационар құрылғыларының ортасында ақпарат

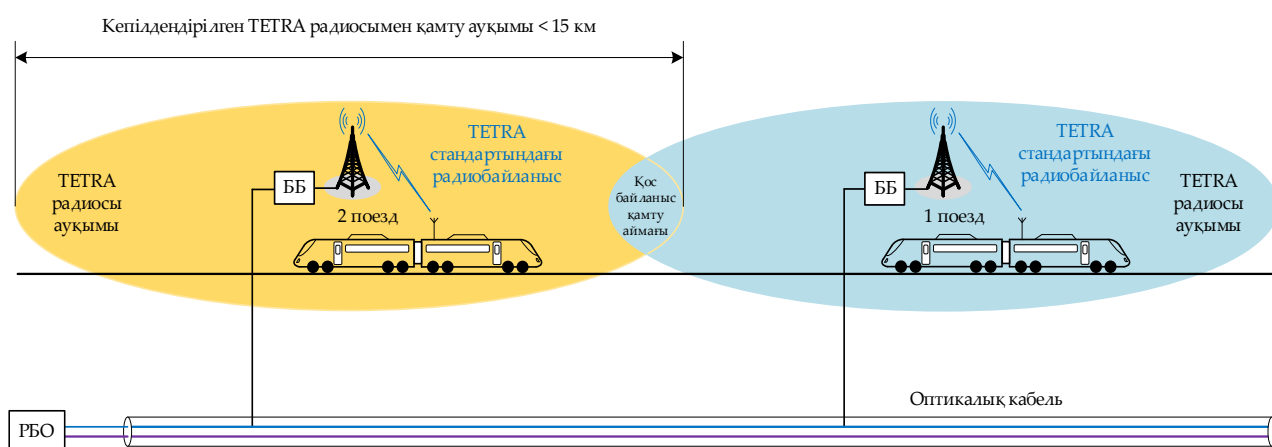


алмасуы жүзеге асады [15, б. 147].

Кесте 1.5 – Bombardier Transportation компаниясының INTERFLO 550 негізінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесін енгізу географиясы

| Жоба атауы                                                          | Енгізілген ел | Нарық сегменті                             | Қолдану саласы                            | Атауы        |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|
| INTERFLO 550 – Бейнеу-Шалқар, Сексеуіл-Жезқазған, Арқалық-Шұбаркөл  | Қазақстан     | Темір жол көлігін басқару бойынша шешімдер | Сигнализация, орталықтандыру және блоктау | INTERFLO 550 |
| INTERFLO 550 – Хойт-Замын-Уудэ                                      | Моңғолия      | Темір жол көлігін басқару бойынша шешімдер | Сигнализация, орталықтандыру және блоктау | INTERFLO 550 |
| INTERFLO 550 – Репбеккен-Малунг (Västerdalsbanan)                   | Швеция        | Темір жол көлігін басқару бойынша шешімдер | Сигнализация, орталықтандыру және блоктау | INTERFLO 550 |
| INTERFLO 550 – Жетіген-Алтынкөл                                     | Қазақстан     | Темір жол көлігін басқару бойынша шешімдер | Сигнализация, орталықтандыру және блоктау | INTERFLO 550 |
| INTERFLO 550 – Өзен-Болашақ                                         | Қазақстан     | Темір жол көлігін басқару бойынша шешімдер | Сигнализация, орталықтандыру және блоктау | INTERFLO 550 |
| INTERFLO 550 – Аймақтық жолаушылар желісі                           | Гавле, Швеция | Темір жол көлігін басқару бойынша шешімдер | Сигнализация, орталықтандыру және блоктау | INTERFLO 550 |
| Ескерту – Кесте зерттелген материалға сәйкес автормен құрастырылған |               |                                            |                                           |              |

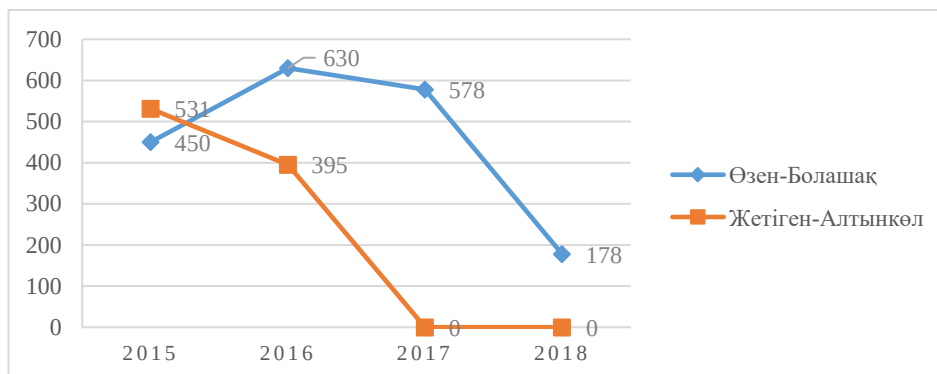
1.16-суретте TETRA радио жүйесінің конфигурациясы келтірілген. Сенімді радиобайланыс сапасын қамту мақсатында радио дінгектердің ара қашықтығы 15 км аспайды, осының арқасында қос байланыс аймағы жүзеге асырылған.



Сурет 1.16 – TETRA стандартындағы радиобайланыс конфигурациясы

Ескерту – [14, 15] негізінде автормен құрастырған

Істен шығулардың басым бөлігі осы жүйені пайдаланудың алғашқы кезеңдерінде байқалды, оған басты себеп пойыздарды тіркеу немесе олардың қозғалысы кезінде радиоблоктау орталығы мен локомотивтің борттық аппаратурасының арасындағы байланыстың ақауы немесе болмауы болды (1.17-сурет).



Сурет 1.17 – Өзен-Болашақ және Жетіген-Алтынкөл телімдеріндегі істен шығулар санының өзгеру диаграммасы

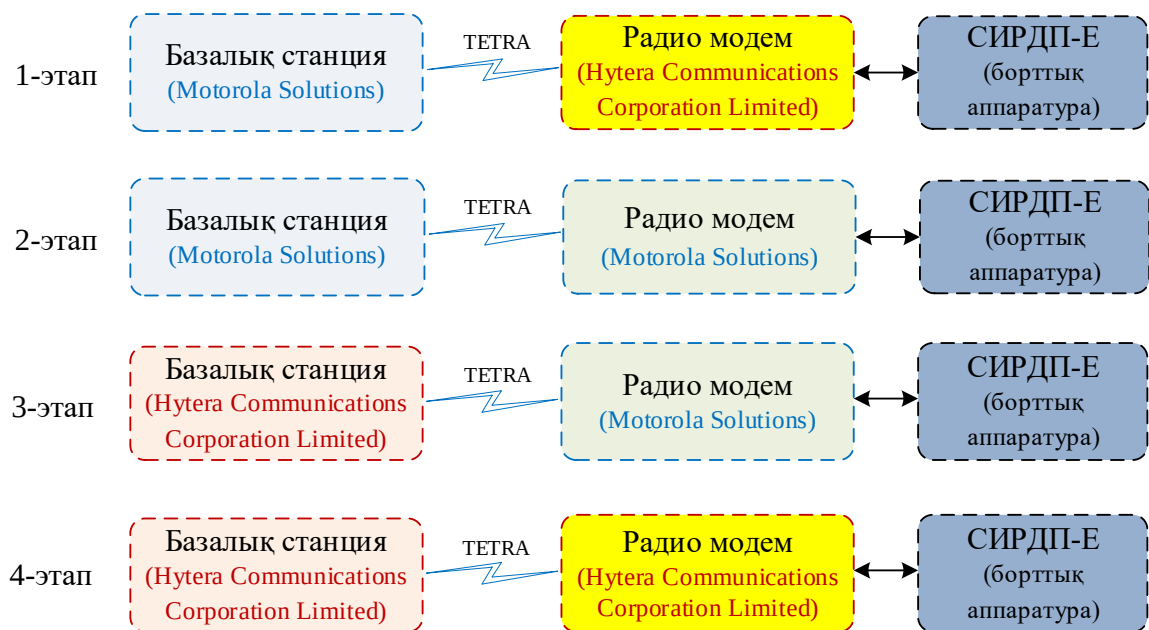
Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырған

2017-2018 жылдары Жетіген-Алтынкөл желісі бойынша ақаулардың болмауы ол кезде СИРДП-Е жүйесі толыққанды жұмыс жасамай, оның жартылай автоматты блоктау режиміндегі жұмысымен түсіндіріледі. Бұл, әрине, осы телімнің өткізу қабілеттілігіне теріс әсер етті және Қытайдан Батыс Еуропаға, оның ішінде Орталық Азияға, Иранға және Закавказье республикаларына жүктердің транзиттік ағыны қарқынының қажетті өсуін қамтамасыз ете алмады.

СИРДП-Е жүйесін темір жол желілерінде пайдалану барысында базалық станция аппаратурасының (SAS, Teltronic S.A.U) және радиомодемнің (PTR-603, Teltronic S.A.U) істен шығуы радиобайланыс сапасына әсер ететіні анықталды. Аталған қиындықты жою мақсатында зертханалық жағдайда да, далалық жағдайда да сынақтар жүргізілді. Ол үшін Motorola Solutions және Hytera Communications Corporatoin Limited сияқты компаниялардың цифрлық байланыс радиоаппаратураларының жиынтығы қолданылды, олардың қорытындысы бойынша TETRA стандартының цифрлық радиобайланыс жабдығының оңтайлы комбинациясы анықталды.

1.18-суретте қабылданған техникалық шешімдер шеңберінде базалық станциялар мен радио модемдерге жүргізілген төрт кезеңнен тұратын зертханалық сынақтар кезінде қолданылған байланыс аппаратураларының өндіруші брендтеріне тәуелді таңдауы көрсетілген.

Алғашқы екі кезеңде Motorola Solutions базалық станциялары тиісінше Hytera Communications Corporatoin Limited және Motorola Solutions радио деректерді беру модемдерімен, сондай-ақ СИРДП-Е борттық аппаратурасымен бірігіп сынақтан өткізілді.



Сурет 1.18 – TETRA стандартындағы радиобайланыстың сапасын сынау нұсқалары

Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырған

Соңғы екі кезеңде Hytera Communications Corporation Limited базалық станциялары тиісінше Motorola Solutions және Hytera Communications Corporation Limited радиохабарлары модемдерімен, сондай-ақ СИРДП-Е борттық аппаратурасымен тестілеуден өтті.

Сонымен қатар, Hytera Communications Corporation Limited және СИРДП-Е борттық аппаратурасының далалық сынақтары Жетіген-Шелек темір жол желісінде жүргізілді.

Сынақтың бірінші кезеңінде қондырғыны қосу кезінде шамасы 1 с және 15 с байланыстың жоғалуы тіркелді, дегенмен бұл жылжымалы блок-телімдері бар жүйенің жұмысына әсер етпеді. Сынақ уақыты 15 сағат 21 минутты құрады.

Сынақтың екінші кезеңінде жеті ұзақ байланыс ақаулары (>60 с) анықталды, бұл пойыздың тоқтап қалуына әкеліп соқтырды. Сынақ уақыты 10 сағат 20 минутты құрады. Содан кейін байланыс ақауларын жою үшін модем конфигурациясы қайта орнатылып, уақыты 4 сағат 40 минутқа созылатын қайта сынақ жасалынды, нәтижесінде қателер табылмады.

Қателіктерді сынаудың үшінші кезеңінде байланыстың жоғалу фактісі тіркелмеген және сынақтың ұзақтығы 16 сағат 17 минутты құрады.

Сынақтың төртінші кезеңінде байланыс қателері де табылмады және сынақ ұзақтығы 14 сағат 17 минутты құрады.

1.18-суретте келтірілген аппаратураларды орнату құрылымына сәйкес сынақтардың қорытынды нәтижелері 1.6-кестеге жинақталған.

Сынақтар байланыс қателігінің кездейсоқ екенін көрсетті және базалық станция жабдықтары мен TETRA стандартындағы радио тарату модемдерінің ең жақсы үйлесімі таңдалды.

## Кесте 1.6 – Байланыс жүйесін зерттеу және сынау нәтижелері

| Сынау этаптары                                                      | Тестілеу уақыты   | Байланыс қателігінің анықталуы |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| 1-этап                                                              | 15 сағат 21 минут | 2 қателік                      |
| 2-этап                                                              | 10 сағат 20 минут | 7 қателік                      |
| 3-этап                                                              | 16 сағат 17 минут | Қателік жоқ                    |
| 4-этап                                                              | 14 сағат 17 минут | Қателік жоқ                    |
| Ескерту – Кесте зерттелген материалға сәйкес автормен құрастырылған |                   |                                |

1.6-кесте нәтижелері, TETRA стандартындағы цифрлық радиобайланысының ең сенімді сапасына сынақтардың соңғы екі кезеңінде, яғни үшінші және төртінші кезеңдерде ұсынылған аппаратураларды біріктіру кезінде (сурет-1.18) кепілдік берілетінін көрсетіп отыр.

Координаталық ПҚИР жүйелерінде қозғалыс қауіпсіздігін бір ғана радиобайланысты қолданып қамтамасыз ету толыққанды шешілмеген мәселе, осыған орай мәселені ERTMS/ETCS үшінші деңгейі толық қолданысқа енгізілмей отыр, мәселені шешу үшін жүйенің гибриді құрылымы ұсынылып жатыр [26, 27]. Пойыздардың орналасқан жерін анықтаудың баламасы ретінде және жүйенің сенімділігін арттыру мәселелерін Distributed Acoustic Sensing (DAS) технологиясын қолдану арқылы шешуге болады [28, 29, 30].

Сондай-ақ, пайдалы модельге патенттік іздеу шеңберінде, цифрлық радиобайланыс жоғалған жағдайда басқару орталығына пойыздардың координаталары туралы ақпаратты телеграммаларды сақтау/беру блогын, радиобайланыстың едендік блогын және телеграммалардың радиоқабылдағыш модулі көмегімен анықтап, оны оптикалық байланыс арнасы арқылы беру жолымен координаталық ПҚИР жүйесінің сенімді жұмысын қамтамасыз ету шешімі ұсынылған (Қосымша А).

СИРДП-Е жүйесін ҚР темір жол желісіне бейімдеу бойынша «ҚТЖ» ҰК» АҚ бас операторының қорытындылары келесідей:

- тасымалдау үрдісінің тоқтаусыздығын ескерумен жүйе конфигурациясы қағидаттары мен тәсілдері әзірленді;
- сынақтар (зауыттық, станциялық) бойынша нормативті-техникалық құжаттар әзірленді;
- монтаждау және техникалық қызмет көрсету жөніндегі Нұсқаулық және пойыздар қозғалысын ұйымдастыру жөніндегі регламент әзірленді;
- стационарлық бөліктің құрамдас бөліктері анықталды, жүйенің борттық аппаратурасын бейімдеу бойынша жұмыстар жүргізілді, тиісінше оларға техникалық талаптар әзірленді;
- жүйенің мамандандырылған зертханасы құрылды.

Дегенмен бас оператор қазіргі таңда СИРДП-Е жүйесін оңтайландыру бойынша іс-шаралар тек Жетіген-Алтынкөл темір жол телімінде жүргізіліп жатар, ал Өзен-Болашақ, Бейнеу-Шалқар, Сексеуіл-Жезқазған және Арқалық-Шұбаркөл темір жол желілері бойынша ПҚИРКЖ модернизациялау жұмыстары оңтайлы техникалық шешімдер мен қаржыландырудың болмауына орай әлі басталмаған.

## **1.5 Зерттеу мәселесінің қойылуы және ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу әдістемелерін анықтау**

Диссертациялық жұмыстың мақсатынан зерттеудің келесі міндеттері анықталады:

1. Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерін пайдалану тәжірибелерін және радиобайланыс ақауларының себептерін зерттеу және талдау.

2. Виброакустикалық зондтау техникалық шешімдері негізінде ПҚИРКЖ оңтайландырылған құрылымдық-функционалдық моделі мен жұмыс алгоритмін әзірлеу.

3. Басқару орталығы мен пойыздар арасында радио байланыс және оптикалық кабельді арна негізіндегі байланыс түрлерінің жұмысын зерттеу үшін компьютерлік моделін әзірлеу.

4. Қолданыстағы темір жол желісінде пойыздар қозғалысын ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделін пайдалануды имитациялық моделдеу негізінде зерттеу.

5. Жылжымалы құрам сипаттамаларының ПҚИРКЖ пайдалану тиімділігіне әсерін зерттеу мақсатында локомотивтің тартым қозғалтқышының динамикалық сипаттамаларын моделдеу және синтездеу.

### **Бөлім бойынша қорытынды**

1. Әлем бойынша қолданыстағы пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаттық жүйелеріне талдау жасалды.

2. Диссертациялық жұмыс бойынша зерттеудің міндеті мен бағытын айқындау мақсатында «ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісіндегі пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің қолданыстағы жүйелерінің қазіргі жағдайы зерттеліп, әр бір жүйенің темір жол желісіндегі үлесі бойынша сандық баға берілді.

3. «ҚТЖ» ҰК» АҚ магистраль темір жол желілерінде СИРДП-Е пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесін пайдалану тәжірибесі талданып, жүйенің негізгі құрамдас бөлігі ретінде байланыс аппаратурасының құрамын жаңғырту мақсатында жүргізілген зерттеу нәтижелері сипатталды.

4. Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерінде орын алатын байланыс жүйелерінің себептері келтірілді.

5. Осы бөлімде жасалған талдама нәтижесінде диссертациялық зерттеу міндеттері мен тапсырмалары тұжырымдалды.

6. Бұл бөлімде келтірілген зерттеулер нәтижелері [31], [32], [33] жарияланған.

## **2 ПОЙЫЗДАР ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУДІҢ КООРДИНАТАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ОҢТАЙЛЫ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗ МОДЕЛІ МЕН АЛГОРИТМІН ӘЗІРЛЕУ**

### **2.1 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу тәсілдері**

Соңғы жылдарда темір жол көлігінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің жаңа жүйелері жасалынып және енгізіліп жатыр.

Бұл жүйелердің басты қызметі пойыздардың қозғалысын басқару болып табылады, яғни келесі қызметтерді қамтамасыз етуі қажет:

- пойыздардың қозғалыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету;
- телімдік жылдамдықты арттыру;
- аралықтардың өткізу қабілетін ұлғайту;
- пойыздардың қозғалыс графигін орындау көрсеткішінің дәлдігін арттыру.

Қазіргі таңда еліміздің темір жол желісінде пайдаланылатын аралықтағы пойыздар қозғалысын басқару жүйелері келесі топтардан тұратын біріктірілген жүйені құрайды:

- автоматты және жартылай автоматты блоктау жүйелері;
- автоматты локомотивтік сигнализация жүйелері;
- қозғалыс қауіпсіздігін қамту шарттары бойынша тежегіштерді автоматты басқару жүйелері;
- радиоарнаны қолданумен интервалды реттеудің координаталық жүйелері;
- пойыздар тартымына энергияның аз шығыны кезінде қозғалыс графигін орындау шарттары бойынша тартым қозғалтқыштары мен тежегіштерді басқару жүйелері.

Жолдық блокировка құрылғылары аралықта және аралық бекеттерде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің негізгі жүйесі болып табылады.

Блоктау жүйелері бағдаршам оттарын басқару мәселесіне адамның қатысу ретіне қарай жартылай автоматты және автоматты болып екіге жіктеледі.

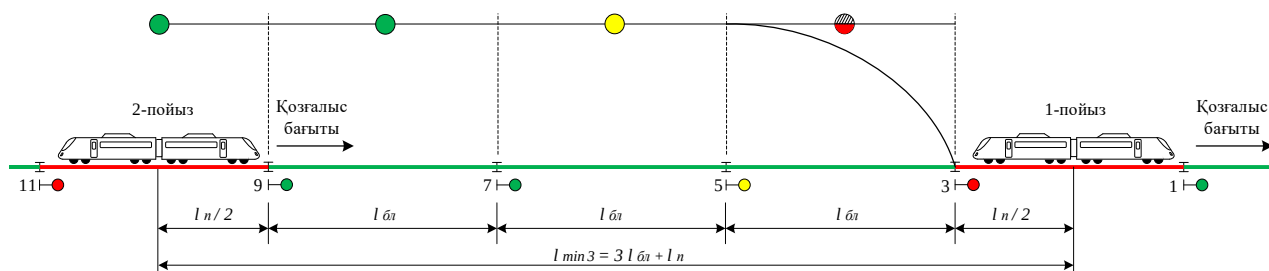
Жартылай автоматты блоктау жүйелерінде бекеттер тарапынан қоршалатын аралық блок-телім болып табылып, аралықта тек қана бір пойыздың болуы ғана мүмкін. Бұл жүйе қарқындылығы төмен телімдерде қолданылады және еліміздің кейбір темір жол телімдерінде мұндай жүйелер бүгінгі күнге дейін қолданылып келеді [34].

Автоблоктау жүйелерінде телімнің өткізу қабілетін арттыру үшін аралықты бірқатар блок-телімдерге бөледі, олардың әрбірі өтпе бағдаршамдарымен шектеледі.

Бұл жүйелерде телімнің берілген өткізу қабілетін алу үшін қозғалыс бағыты бірдей пойыздардың минимал пойызаралық интервалын анықтайды. Минимал пойызаралық интервалды пойыз минимал жылдамдықпен өтетін орын болып табылатын жол профилінің есептік телімінде анықтайды.

Минимал есептік интервал ретінде телімде анықталған барлық минимал интервалдардың ең үлкенін таңдайды. Үш мәнді автоблоктау кезінде минимал

есептік интервалды бағдаршамның жасыл оты кезінде қалыпты қозғалысты қамтамасыз ететін минимал ұзындықты үш блок-телім арқылы пойызды шектеу жолымен анықтайды (2.1-сурет).



Сурет 2.1 – Үш мәнді сигнализациялы автоблоктау арқылы пойыздар қозғалысын интервалды реттеу тәсілі

Ескерту – [34] негізінде автормен құрастырылған

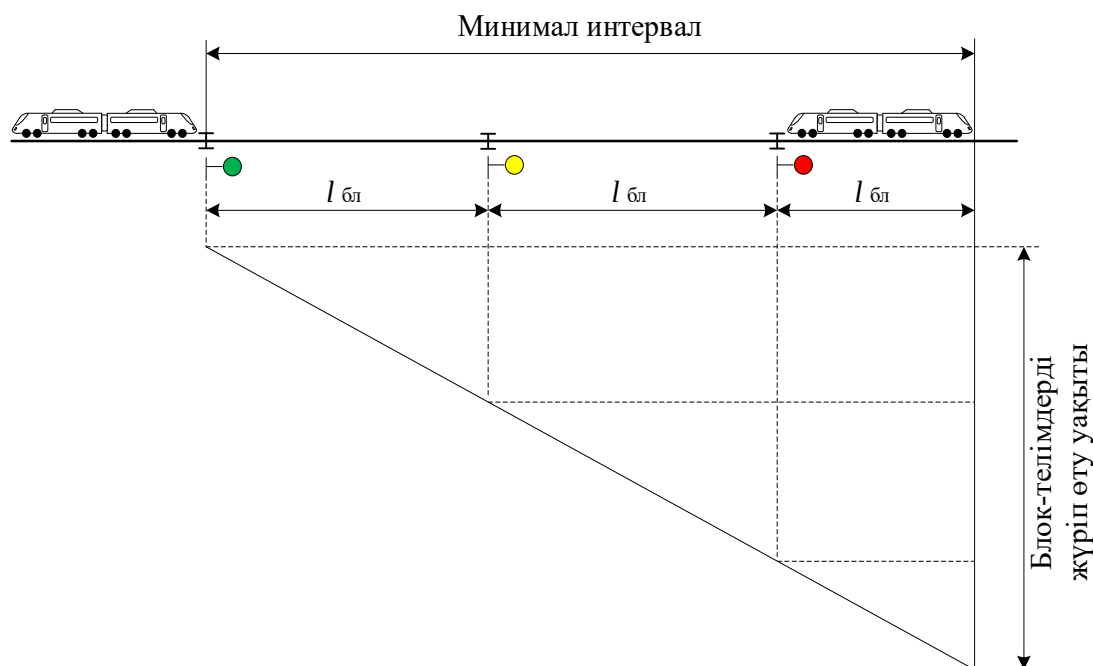
Үш блок-теліммен шектеу кезінде пойыздардың жақындау арақашықтығы осы пойыздардың ұзындықтарының центрлері арқылы анықталады (2.1).

$$L_{\text{мин3}} = 3l_{\text{бл}} + l_{\text{п}} \quad (2.1)$$

Мұндағы  $l_{\text{бл}}$  – блок-телім ұзындығы, м;

$l_{\text{п}}$  – пойыз ұзындығы, м.

2.2-суретте үш мәнді сигнализациялы автоблоктау кезінде блок-телімдерге бөлу сұлбасы келтірілген.



Сурет 2.2 – Үш мәнді сигнализациялы автоблоктау кезінде блок-телімдерге бөлу сұлбасы [35]

Үш мәнді сигнализация кезінде минимал интервал уақыты, мин. (2.2)  
өрнекпен анықталады.

$$T_3 = 0,06 \cdot \frac{3l_{бл} + l_{п}}{V_{орт}} \quad (2.2)$$

Мұндағы 0,06 – жылдамдықты м/мин. айналдыру коэффициенті;

$V_{орт}$  – телімдегі пойыздың орташа жылдамдығы.

Үш блок-теліммен шектеу кезінде пойыздардың қозғалысы келесідей орын алады, яғни екінші пойыз машинисті үнемі бағдаршамның жасыл отын көріп отырып, сенімді түрде пойызды орнатылған жылдамдықпен жүргізеді. Кейбір себептермен бірінші пойыз жылдамдығын азайтқан кезде, пойыздардың жақындауы орын алады. Екінші пойыз машинисті бағдаршамның сары отын көре отырып, пойыз жылдамдығын азайтады, мұнымен ол бірінші пойыздың машинистіне бұзылған интервалды дұрыстауына мүмкіндік береді.

Темір жол желісінде соңғы жылдары кең қолданыс тауып келе жатқан пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелері жоғарыда қарастырылған жүйеден айтарлықтай ерекшеліктерге ие [36]:

- пойыздар қозғалысын интервалды реттеу блок-телімдер шекарасында емес, алдыңғы пойыздың соңғы вагонының координатасы бойынша жүзеге асырылады;

- қозғалыс қауіпсіздігі шарттары бойынша екі пойыздың да нақты тежеу сипаттамаларын ескерумен минимал рұқсат етілген пойыз аралық интервал (2.3) өрнегіне сай анықталады:

$$L_{minK} = (V_{п}) + l_{п} + l_{қт} + V_{п}(t_{жр} + t_{всп}) \quad (2.3)$$

Мұндағы  $V_{п}$  – пойыз жылдамдығы, м/с;

$l_{п}$  – пойыз ұзындығы, м;

$l_{қт}$  – қорғаныс телімінің ұзындығы, м;

$t_{жр}$  – жүйе реакциясы және ақпаратты пойызға беру уақыты, с;

$t_{всп}$  – пойыздың соңғы вагонын анықтау реакциясы, с;

Минимал интервал уақыты, мин.:

$$T_K = t_{жр} + t_{всп} + \frac{l_{қт} + l_{п} + l_{тж}(V_{п})}{V_{орт}} \quad (2.4)$$

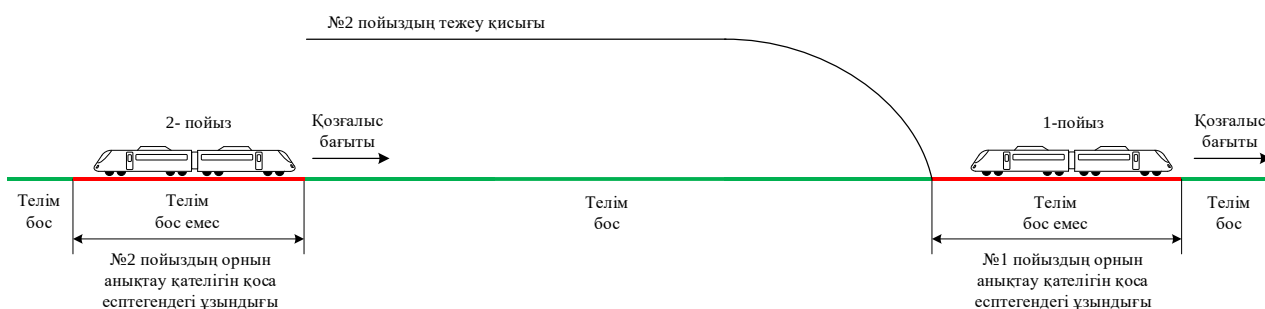
Мұндағы  $l_{тж}$  – пойыздың тежеу жолы, м.

Бірқатар координаталық интервалды реттеу жүйелерінде минимал пойыз аралық интервалды есептеу кезінде бірінші пойыз жылдамдығы уақыттың кезкелген моментінде ноль мәніне ие болмауы мүмкін. Онда пойыздар арасындағы минимал ара қашықтық (2.3) өрнегіне сай екінші пойыздың тежеу жолының ұзындығына тең болады, яғни үш мәнді автоблоктау жүйесіндегідей бір блок-телім ұзындығына тең.

Сондықтан мұндай жүйелерді жылжымалы блок-телімді жүйелер деп те атайды (ЖБТ), өйткені пойыздар арасындағы қауіпсіз телім жағдайы олардың



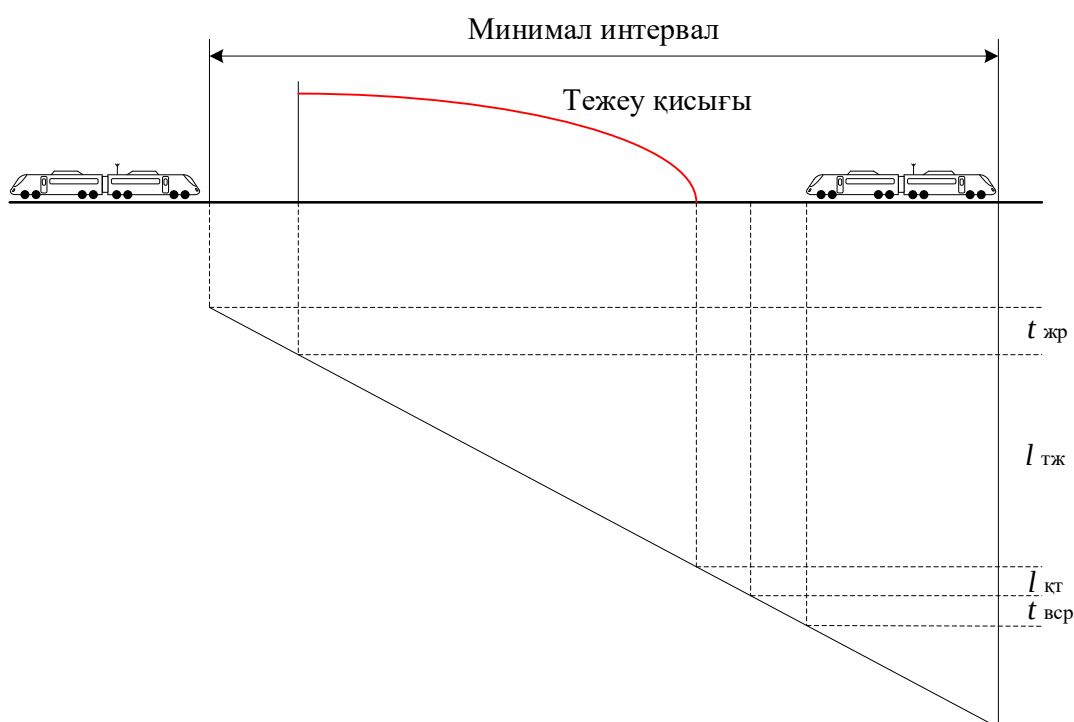
қозғалысымен бірге орын ауыстырады (2.3-сурет).



Сурет 2.3 – Жылжымалы блок-телімдер арқылы пойыздар қозғалысын реттеу тәсілі [26, б. 4]

Ескерту – [26] негізінде автормен құрастырған

2.4-суретте жылжымалы блок-телімдер қолданылған автоблоктау кезінде блок-телімдерге бөлу сұлбасы келтірілген.

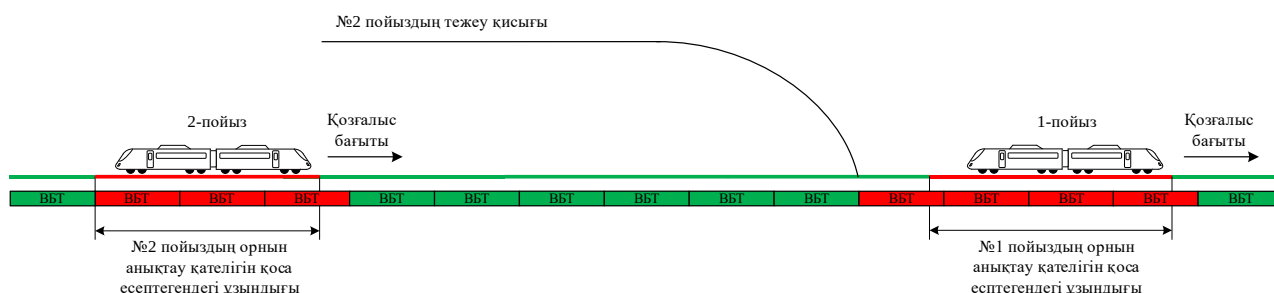


Сурет 2.4 – Жылжымалы блок-телімдер қолданылған автоблоктау кезінде блок-телімдерге бөлу сұлбасы [35, б. 60]

Виртуалды блок-телімдері бар интервалды реттеу жүйелері интервалды реттеу принципі АБ жүйелеріндегідей блок-телімдерді қолдануға негізделген, бірақ блок-телімдер нақты емес, тек қана аралықтың математикалық моделінде ғана қолданылады (2.5-сурет).

Жылжымалы және виртуалды блок-телімдер қолданылған интервалды реттеу жүйелерінің жұмыс жасау алгоритмдері әртүрлі, бірақ олар АБ негізіндегі

интервалды реттеу жүйелерінен ерекше. Жылжымалы және виртуалды блок-телімдер қолданылған интервалды реттеу жүйелерін құру әр түрлі мемлекеттерде әр түрлі пайдалану факторларын ескеру қажеттіліктерімен түсіндіріледі.



Сурет 2.5 – Виртуалды блок-телімдер (ВБТ) арқылы пойыздар қозғалысын реттеу тәсілі [26, б. 4]

Ескерту – [26] негізінде автормен құрастырған

Жалпы жағдайда темір жол көлігінің өткізу қабілеті (2.5) өрнекпен анықталады [37, 38]:

$$N_{max} = \frac{(1440 - t_{техн})a_n}{T} \cdot K \quad (2.5)$$

Мұндағы 1440 – тәуліктегі минуттар саны;

$t_{техн}$  – технологиялық «терезенің» ұзақтығы, мин;

$a_n$  – автоматика және телемеханика құрылғыларының сенімділігі коэффициенті, екі жолды телімдер үшін – 0,97, бір жолды телім үшін – 0,98;

$T$  – график периоды, мин;

$K$  – график периодындағы пойыздар жұбының саны.

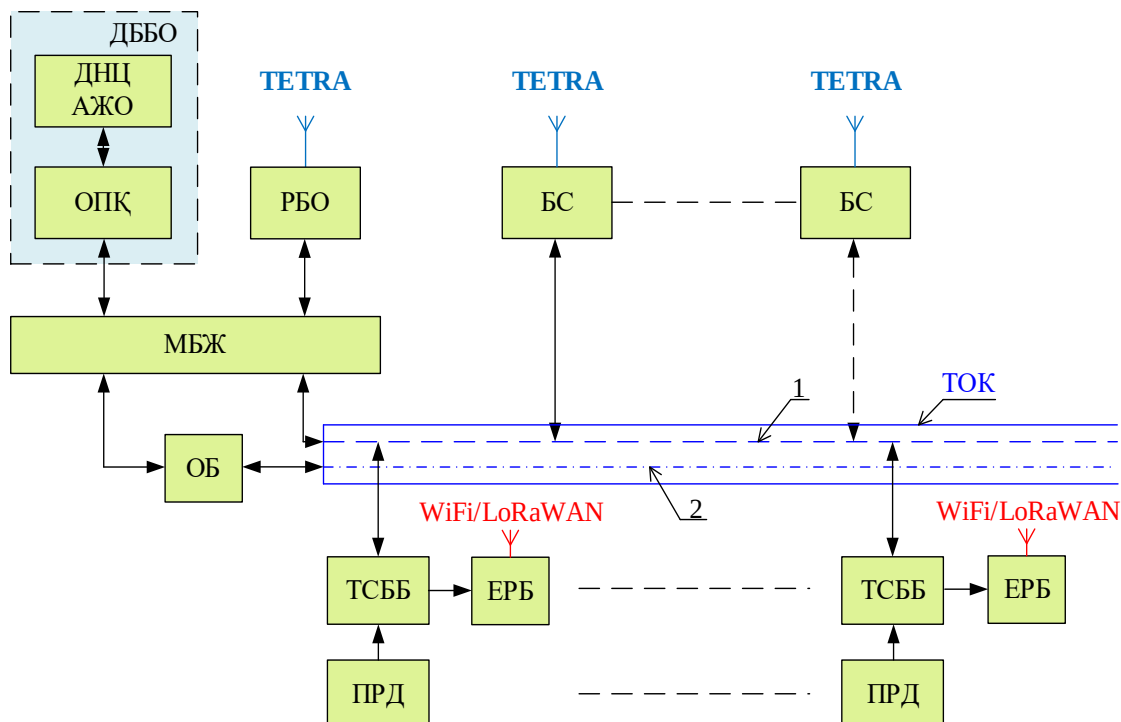
## 2.2 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің оңтайлы және қауіпсіз моделінің техникалық шешімдерін әзірлеу

Пойыздар қозғалысын координаталық реттеу принципіне негізделген ETCS жүйелері және оның негізінде құрылған СИРДП-Е жүйесі стационар құрылғылары мен пойыз арасындағы деректерді үздіксіз және нүктелік тасымалдауға, борттық компьютердің модульдік архитектурасына және пойызға темір жол желісінде өз орнын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік беретін EuroBalise интеллектуалды сенсорларына негізделген.

UNISIG Subset 36 құжатына сәйкес СИРДП-Е жүйесінің құрылымы 1.11-суретте келтірілген. Суреттен жүйе екі бөліктен тұратынын көруге болады: стационарлық аппаратура және локомотив бортында орналасқан аппаратура. Жүйеде стационарлық аппаратура мен локомотив бортында орналасқан аппаратура арасындағы пойыздардың қозғалысын басқару жөніндегі параметрлер GSM-R, TETRA және т. б. стандарттарының цифрлық радиоарнасы

арқылы беріледі.

СИРДП-Е пойыздар қозғалысын координаталық тәсілмен интервалды реттеу жүйесінің жетілдірілген стационар қондырғыларының сұлбасы 2.6-суретте көрсетілген.



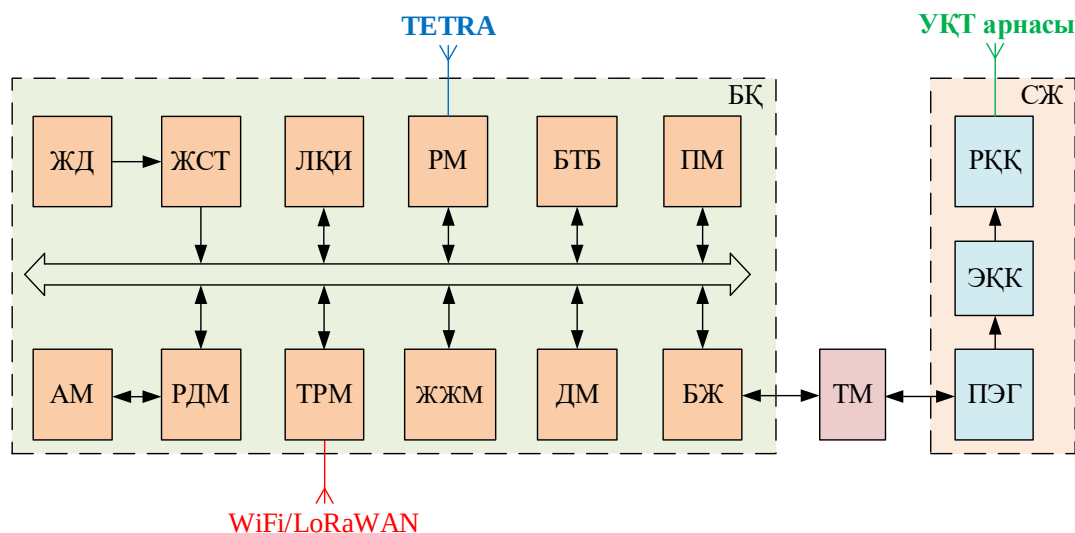
Сурет 2.6 – СИРДП-Е пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесінің стационар қондырғыларының сұлбасы

Ескерту – Қосымша А негізінде автормен құрастырылған

2.6-суретте келтірілген пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің стационар құрылғыларының жетілдірілген құрамы мыналардан тұрады:

- орталық процессорлық құрылғыдан (ОПҚ) және диспетчердің автоматтандырылған жұмыс орнынан (ДНЦ АЖО) тұратын диспетчерлік басқарудың бірыңғай орталығы;
- радиоблоктау орталығы РБО;
- базалық станция БС;
- байланыс 1 және сенсорлық 2 талшықтардан тұратын талшықты-оптикалық кабель ТОК;
- оптикалық блок ОБ;
- мәліметтерді беру желісі МЖБ;
- телеграммаларды сақтау және беру блогы ТСББ;
- едендік радиобайланыс блогы ЕРБ;
- пассив реперлік датчиктер ПРД.

СИРДП-Е жүйесінің жетілдірілген борттық қондырғылар сұлбасы 2.7-суретте келтірілген.



Сурет 2.7 – СИРДП-Е жүйесінің борттық қондырғылар сұлбасы

Ескерту – Қосымша А негізінде автор құрастырылған

2.7-суретте келтірілген пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің борттық қондырғыларының (БҚ) жетілдірілген құрамы мыналардан тұрады:

- процессорлық модуль ПМ;
- реперлік датчиктер сигналдарын түрлендіру модульі РДМ;
- реперлік датчиктердің антенналық модульі АМ;
- жылдамдық датчигі ЖД;
- жылдамдық датчигінің сигналдарын түрлендіру модульі ЖСТ;
- радиомодем РМ;
- жылдамдық және жүрілген жол модульі ЖЖМ;
- машинист дисплейі ДМ;
- локомотивтік қондырғылар интерфейсі ЛҚИ;
- борттық тіркеу блогы БТБ;
- жылжымалы құрамының тұтастығын анықтаушы бас жиынтық БЖ;
- радиоқабылдағыш құрылғыдан РҚҚ, электрмен қоректендіру көзінен ЭҚК және пневмоэлектргенератордан ПЭГ тұратын жылжымалы құрамның тұтастығын анықтаушы соңғы жиынтық СЖ;
- тежеу магистралі ТМ;
- телеграммалардың радиоқабылдағыш модульі ТРМ.

Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің оңтайлы және қауіпсіз жұмыс принципін қарастырамыз. Жүйе цифрлы байланыс арнасының қалыпты және оның істен шығуы жағдайларына сәйкес екі режимде жұмыс жасауға негізделген.

Алдымен цифрлы байланыс арнасының ақаусыз жағдайындағы жұмыс алгоритмін қарастырамыз. Диспетчерлік басқарудың бірыңғай орталығындағы ДББО орталық процессорлық құрылғымен ОПҚ байланысу нәтижесінде пойыздық диспетчердің автоматтандырылған жұмыс орнында ДСП АЖО қалыптасқан пойыздар қозғалысын басқару командасы радиоблоктау

орталығында РБО тіркелген пойыздардың мәліметтер қорын басқаруға жауапты арнайы командаларға түрленеді. Одан әрі бұл командалар пойыздық жағдайға тәуелді радиоблоктау орталығының стационар немесе базалық станция БС антенналары арқылы локомотивтердің борттық қондырғыларына БҚ беріліп, радиомодем РМ және локомотивтік құрылғылар интерфейсі ЛҚИ арқылы процессорлық модульге ПМ келіп түседі.

Радиоблоктау орталығы Euroradio хаттамасына сәйкес ашық радио желісі көмегімен пойыздардың борттық қондырғыларына қауіпсіз ақпарат беру мүмкіндігіне ие. Алынған ақпарат нәтижесінде аралықтағы пойыздардың қауіпсіз қозғалысына рұқсат етіледі.

Кері бағытта процессорлық модуль радиоблоктау орталығына пойыздардың қозғалысы туралы ағындағы ақпаратын береді, бұл ақпараттар жылдамдық датчигі ЖД, жылдамдық және жүрілген жол модульі ЖЖМ көмегімен бағаланады. Жылдамдық датчигі (одометр) локомотивтің доңғалағы осында орнатылған және нақты жүрілген жолды өлшеуге негізделген (2.8-сурет).



Сурет 2.8 – 2ТЭ10МК тепловозына орнатылған одометр

Ескерту – Фото «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтерінен алынған

Локомотивтің бұрыштық жылдамдығы  $\omega$  келесі өрнекпен анықталады [39]

$$\omega = \frac{V}{R} \quad (2.6)$$

Мұндағы  $V$  – локомотивтің жылдамдығы, м/с;

$R$  – локомотив доңғалағының радиусы, м.

Локомотивтің доңғалақтарының бұрылу бұрышы  $\Omega$  келесі өрнекпен анықталады.

$$\Omega = \frac{S}{2\pi R} \quad (2.7)$$

Мұндағы  $S$  – локомотивтің жүрген жолы, м;

$2\pi$  – локомотив доңғалағының шеңбері, м.

Егер локомотивтің толық жүрген жолы доңғалағының айналу санымен

анықталатын болса, онда келесі қатысты алуға болады:

$$S = n \cdot (2\pi R) \quad (2.8)$$

Онда локомотивтің жылдамдығы келесідей анықталады

$$V = \frac{dS}{dt} = \frac{dn}{dt} \cdot (2\pi R) \quad (2.9)$$

Одометрлер арқылы пойыздың орнын анықтау кезінде локомотив доңғалақтарының диаметрлерінің пайдалану барысында азаюымен және т.б. факторларға байланысты өлшеу қателіктері орын алады, сол үшін сенімді интервалды есептеу көзделген. 2.9-суретте жүрілген жолға тәуелді одометрдің жұмыс принципі және өлшеу қателіктерінің локомотив пассивті реперлік датчиктер арқылы өту кезінде жойылу тәртібі көрсетілген [15, б. 126].

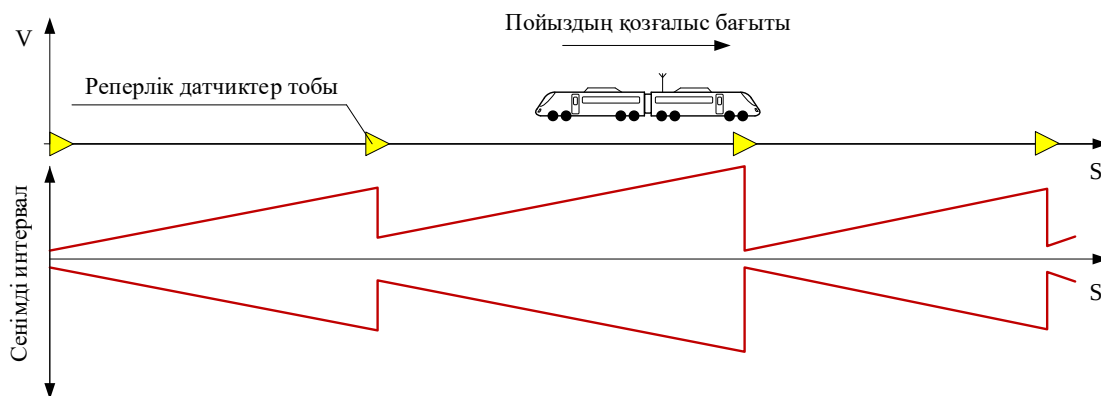


Рисунок 2.9 – Жүрілген жолға тәуелді одометрдің жұмыс принципі

Ескерту – [15] сәйкес автормен құрастырылған

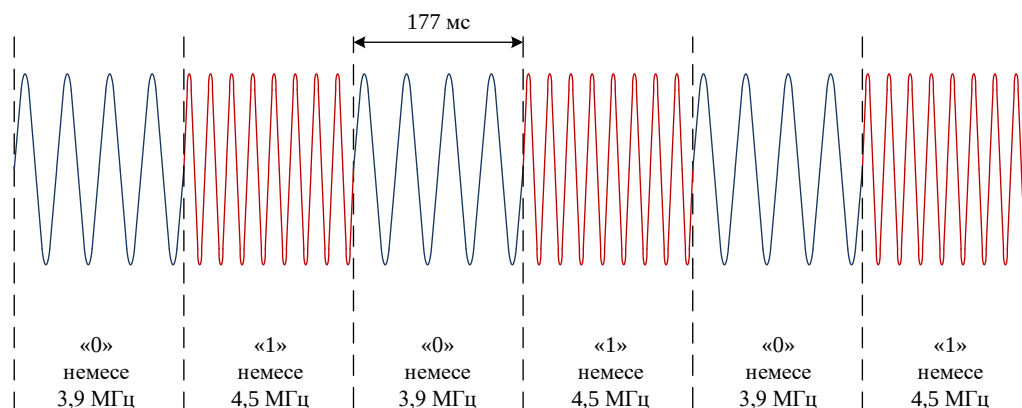
Одометр арқылы алынған сигналдар пойыздың қозғалыс параметрлерін анықтау үшін процессорлық модульде қолданылады. Пойыздардың аралықтағы қозғалысы кезінде олардың координаталары нүктелі түрде пассивті реперлік датчиктердің көмегімен анықталады. 2.10-суретте темір бетонды шпалға орнатылған пассивті реперлік датчик көрсетілген.



Сурет 2.10 – Пассивті реперлік датчиктің орнатылу принципі

Ескерту – Фото автормен Италия темір жол желісінде түсірілген

Пассивті реперлік датчиктер алдын-ала жадысына жазылған ақпаратты оның үстінен пойыздың өтуі сәтінде локомотивтің борттық қондырғыларына береді. Датчиктерді электрмен қамту антенналық модульден АМ келетін жиілігі 27 МГц сигнал арқылы орындалады. Осының нәтижесінде пассивті реперлік датчиктер 3,9 МГц (логикалық 0) және 4,5 МГц (логикалық 1) жиіліктер көмегімен нақты координата туралы ақпаратты береді (2.11-сурет).



Сурет 2.11 – Пассивті реперлік датчиктерден ақпараттарды оқу принципі [15, б. 178]

Радиоблоктау орталығы мен базалық станциялар орталығы талшықты-оптикалық кабель ТОК көмегімен сенімді байланысқан. Бұл талшықты-оптикалық кабель байланыс үшін және виброакустикалық зондтау технологиясын ұйымдастыру үшін арналған талшықтардан тұрады. Әрбір базалық бекет сенімді радио байланыс аймағын орнатады.

Пойыздардың қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерінде негізгі мәселелердің бірі жылжымалы құрамның бүтіндігін анықтау болып табылады. Бұл локомотив кабинасына орнатылған бас жиынтықтан БЖ және пойыздың ең соңғы вагонының тіркеу құрылғысына орнатылған соңғы жиынтықтан СЖ тұрады. Соңғы жиынтық бас жиынтықпен өзара радио арқылы байланыса отырып, жылжымалы құрам бүтіндігі туралы ақпарат беруге негізделген. Соңғы жиынтықтың қорек жүйесі тежеу магистралыне ТМ жалғанған пневмоэлектргенератор ПЭГ арқылы жүзеге асырылған.

Радиобайланыс құрылғылары істен шыққан жағдайда және радиобайланыс орталығы мен пойыздың борттық қондырғылары арасында радиобайланыс болмаған кезде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесі келесі тәртіппен жұмыс істейді.

Телеграммаларды сақтау және беру блогын ТСББ оптикалық байланыс кабелінің талшықтарына қосу орындары тұрақты және белгілі координаталарға ие және олардың жадына оны шектейтін ұқсас телеграммаларды сақтау және беру блогы ТСББ блоктарының орнатылу координаталары жазылады. Пойыз пассивті реперлік датчиктерінің үстінен өту сәтінде 21 см биіктікте орнатылған реперлік датчиктерінің антенналық модулі АМ 27 МГц жиіліктегі сигналы арқылы телеграммаларды сақтау және беру блогы ТСББ блоктарын

коректендіреді.

Осыдан соң бұл блок өзіне жазылған координаталар жайлы ақпаратты едендік радиобайланыс блогы ЕРБ телеграммалардың радиоқабылдағыш модульі ТРМ арқылы локомотивтің процессорлық модульіне беруді жүзеге асырады.

Бұл модульдердің байланысы үшін LoRaWAN, Wi-Fi стандарттары қолданылуы мүмкін. Қозғалыс бағыты бойынша алдағы пойыздың орны шартты бөлінген блок-телімнің бос болмауы виброакустикалық зондтау негізінде оптикалық блокпен ОБ анықталады. Одан әрі ақпарат орталық процессорлық құрылғыға беріледі.

Содан кейін орталық процессорлық құрылғысы алдыңғы пойыз жүріп өткен телеграммаларды сақтау және беру блогынан ТСББ келген ақпарат негізінде пойыз координатасын анықтайды. Өз кезегінде, борттық құрылғылардың процессорлық модульі алынған ақпарат пен алдағы пойыздың орналасқан жері туралы деректерді өңдеу нәтижесінде пойыздың рұқсат етілген жылдамдығы мен тежеу қисықтарын есептеп, бекітілген блок-телімдер технологиясына сәйкес пойыздардың қозғалысын интервалды реттеуді жүзеге асыра бастайды.

Жылжымалы құрам бүтіндігі телеграммаларды сақтау және беру блогы ТСББ арқылы соңғы жиынтықтың өту сәтінде анықталады.

Радиоблоктау орталығы мен пойыздың борттық құрылғылары арасындағы радиобайланыс қалпына келтірілген жағдайда, жылжымалы блок-телімдер технологиясы қолданылған жүйенің қалыпты жұмыс режимі қайта орнап, логикалық бақылауды орталық процессорлық құрылғысы мен пойыздың процессорлық модульі жүзеге асырады.

2.6 және 2.7-суреттерде келтірілген пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің оңтайлы және қауіпсіз моделіне сәйкес жүйенің 2.12-суретте келтірілген жаңа жұмыс алгоритмі ұсынылады. Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің оңтайландырылған жұмыс алгоритмі үш режимді ұсынады:

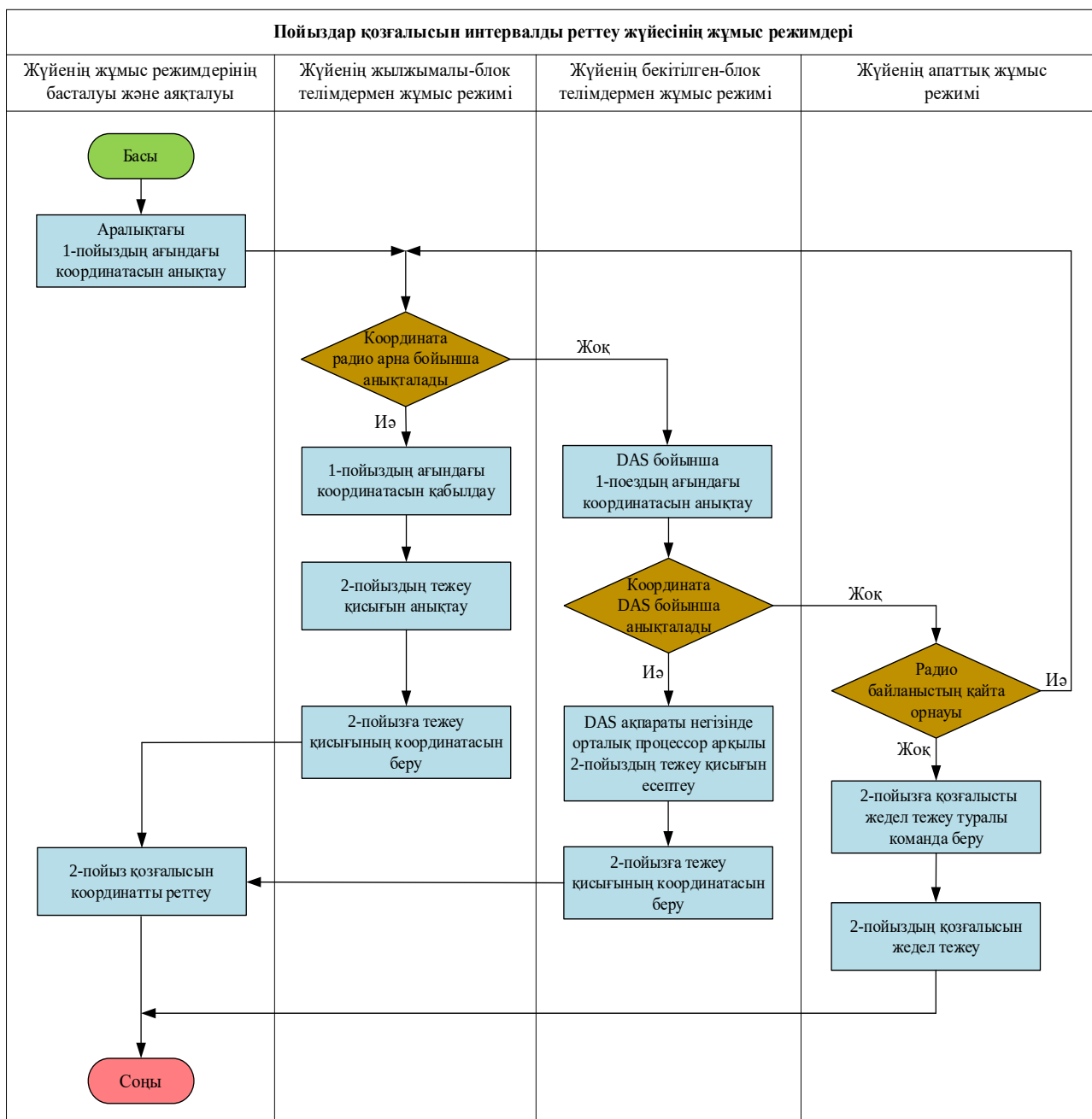
1. Радио байланыс құрылғыларының ақаусыз жұмысы кезіндегі жылжымалы блок-телімдер технологиясын қолданумен координаталық тәсілмен пойыздар қозғалысын интервалды реттеу;

2. Радио байланыс құрылғыларында ақау пайда болып, радиоблоктау орталығы мен пойыздар арасында радио байланыс үзілген кезіндегі виброакустикалық зондтау технологиясы мен талшықты-оптикалық байланыс арнасын қолданумен бекітілген блок-телімдер технологиясы негізінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеу;

3. Виброакустикалық зондтау технологиясы арқылы да пойыздың орнын анықтау мүмкін болмаған жағдайда қауіпсіздік критерийі бойынша пойызды жедел тежеу режимі.

Демек, пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің оңтайландырылған жұмыс алгоритмі аталған режимдердің арқасында аралықтың өткізу қабілетін арттыруға мүмкіндік береді, өйткені қазіргі таңда қолданыстағы ПҚИРКЖ тек екі жұмыс режимі қарастырылған (1 және 3).





Сурет 2.12 – Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің оңтайландырылған жұмыс алгоритмі

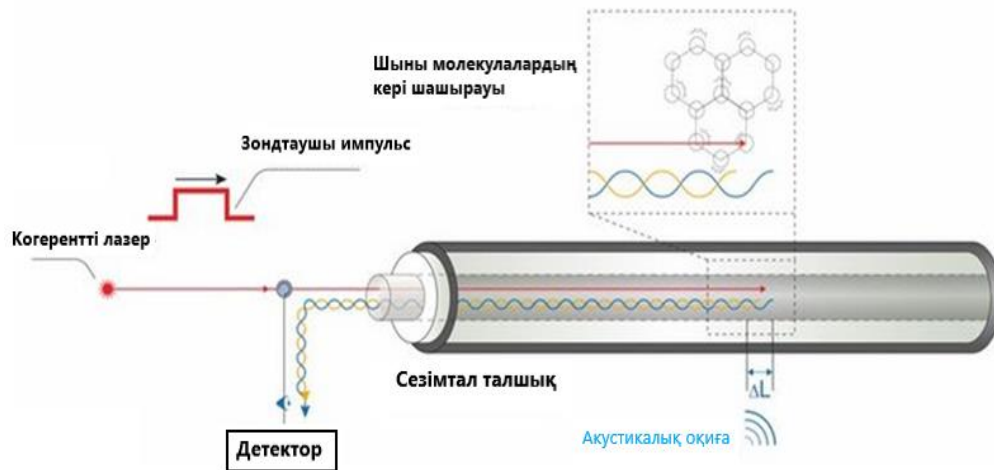
Ескерту – Қосымша А негізінде автормен құрастырылған

### 2.3 Жылжымалы құрамның координатасын анықтаудың виброакустикалық әдісі

Талшықты-оптикалық датчиктерге негізделген жүйелерде оптикалық талшық ақпаратты беру ортасы ретінде және датчиктің сезімтал элементі ретінде қызмет атқарады. DAS таратылған акустикалық зондтау технологиясы талшықты-оптикалық кабельдің бүкіл ұзындығы бойынша акустикалық әсерді өлшеу үшін сенсор ретінде оптикалық талшықты пайдаланады.

Фазаға сезімтал таратылған оптоакустикалық сенсордың (C-OTDR)

жұмысы әртүрлі сыртқы көздерден (таудан тастардың құлауы, автомобильдер, пойыздар және т.б. механикалық әсерлері) келетін діріл әсерлерін тіркеуге негізделген. Бастапқы сигнал көзінен жіберілген когерентті лазер осындай сыртқы әсерлердің нәтижесінде кері шағылысады және детектормен қабылданады (2.13-сурет). Бағдарламалық өңдеуден кейін қабылданған сигнал сыртқы әсер ету орнын табуға мүмкіндік береді, ал мұндай әсер пойыздардың темір жол бойымен қозғалуы кезінде алынады. Сонымен қатар, бұл технология қозғалыс бағытын және жылжымалы құрамның нақты ұзындығын анықтауға мүмкіндік береді.



Сурет 2.13 – DAS технологиясының жұмыс принципі [40]

C-OTDR сигнал ретінде өте әлсіз жарық сигналын пайдаланады. Анықтау қашықтығының ұлғаюымен сигнал күші экспоненциалды түрде азаяды. C-OTDR максималды сезімтал талшықтың ұзындығы келесі өрнекпен анықталады [41]:

$$R = \frac{1}{2} \left[ 10 \log \left( \frac{P_0 - S}{P_D} \right) \right] \quad (2.10)$$

Мұндағы  $P_0$  – жарық сигналының бастапқы қуаты;

$P_D$  – фотоқабылдағышқа жеткілікті жарық сигналының минимал қуаты;

$S$  – жүйедегі сигналдың шығыны.

Ал кабельдегі жарық сигналының жиілігі келесі өрнекпен анықталады [42]:

$$f_0 = c / n(2L + 2P + 3D) \quad (2.11)$$

Мұндағы  $c$  – вакуумдағы жарық жылдамдығы;

$n$  – талшықтың сыну көрсеткіші;

$L$  – талшықтың жұмыс ұзындығы;

$P$  – бұрмаланбаған жарық импульсімен талшықты жарықтандыру ұзындығы;

$D$  – импульс дисперсиясы.

DAS технологиясының жұмысы жарықтың толқын ұзындығына тікелей байланысты және желіге жіберілетін импульс ұзындығы (2.12) өрнекпен анықталады [43]:

$$\Delta z = \frac{\tau}{2} \cdot \frac{c}{n} \quad (2.12)$$

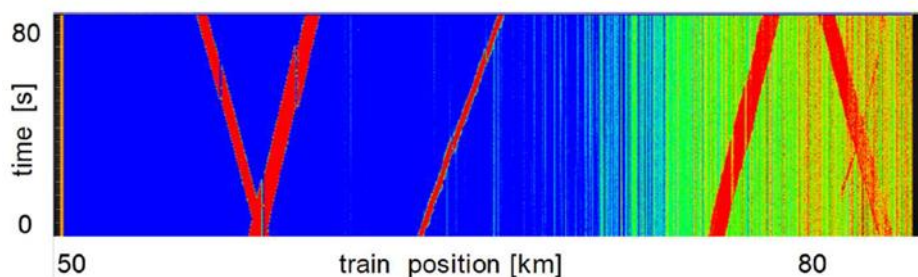
Мұндағы  $\tau$  – импульс ұзындығы;

$c$  – жарық жылдамдығы;

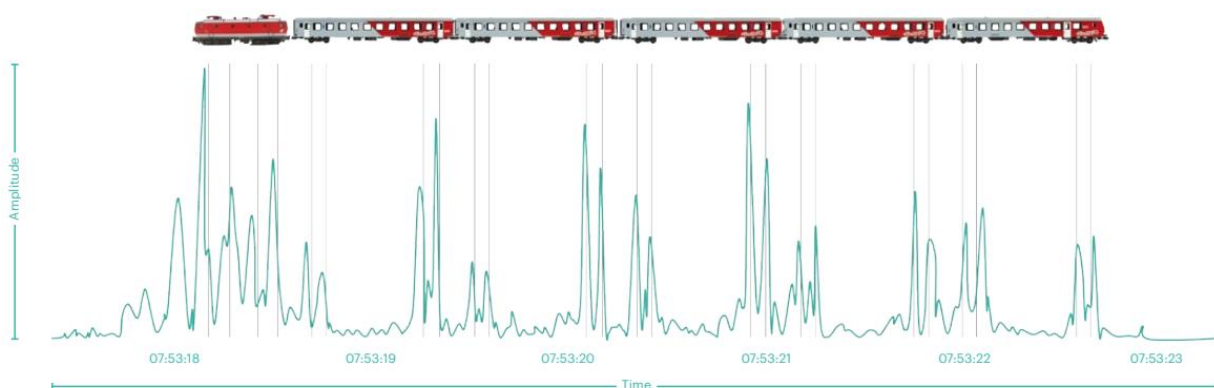
$n$  – талшық өзегінің сынуының топтық тиімді көрсеткіші.

Сонымен қатар [42, б. 23 ] DAS технологиясын ұйымдастыру кезіндегі қолданылатын негізгі параметрлер және олардың мәндері келтірілген.

Оптикалық кабель талшықтарына жылжымалы құрамның әсер ету орнын рефлектограммалардың айырмашылығы бойынша рефлектометр арқылы анықталады. Жүйе жылжымалы объектілердің орналасқан жерін рефлектометрден және орталық өңдеушіден 70 шақырымға дейінгі қашықтықта  $5 \div 7$  метр дәлдікпен бақылауды қамтамасыз ете алады және олардың жылдамдығы мен үдеуін анықтайды (2.14, 2.15-суреттер).



Сурет 2.14 – Пойыз жағдайы көрсетілген рефлектограмма [44]



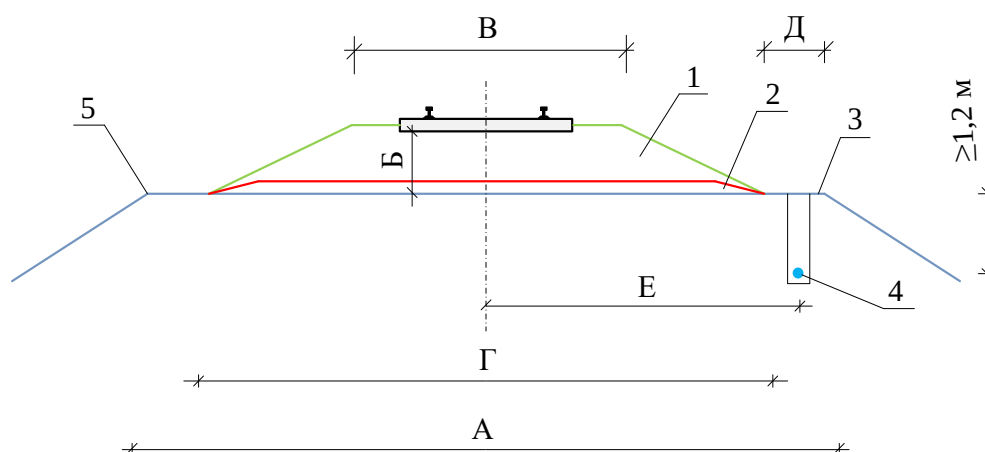
Сурет 2.15 – DAS оптикалық датчигіне жылыжымалы құрамның әсері [45]

Қазіргі уақытта DAS технологиясын жүзеге асыруды зерттеу, жүйелерді жасау және оларды темір жол полигондарында қолданумен Frauscher Sensor Technology [46], AP Sensing [47], ООО «Т8 Сенсор» [48], ООО «Флагман Гео» [49] және т.б. компаниялар белсенді айналысып жатыр.

«ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісінде DAS технологиясын қолдану үшін бірқатар жайттарды ескеру қажет болады:

- темір жол желісінің бойында қолданыстағы оптикалық кабель трассасының бар болуы, егер олай болмаған жағдайда жаңадан кабель төсеу шығындары жобаның экономикалық тиімсіздігіне әкеліп соқтыруы мүмкін;
- қолданыста кабель трассасы болса, онда бос талшықтардың болуы;
- ол талшықтардың DAS технологиясын ұйымдастыруға жарамдылығы;
- кабельді төсеу технологиясы, яғни электр беріліс желісінің тіректеріне ілінген немесе топыраққа көмілген болуы мүмкін, бірінші әдіс DAS технологиясын ұйымдастыруға мүмкіндік бере алмайды;
- «ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісінде темір жол осынен кабельдің төселу қашықтығы, 3-35 м аралығында болуы мүмкін;
- кабельді төсеу тереңдігі 0,8-1,2 м аралығында болуы мүмкін;
- жалғану орындарындағы оптикалық сигналдың өшуі (коммутациялық муфталар, талшықтарды дәнекерлеу орындары).

2.16-суретте [50] сәйкес талшықты-оптикалық кабельді төсеудің ұсынылған қашықтығы мен тереңдігі көрсетілген.



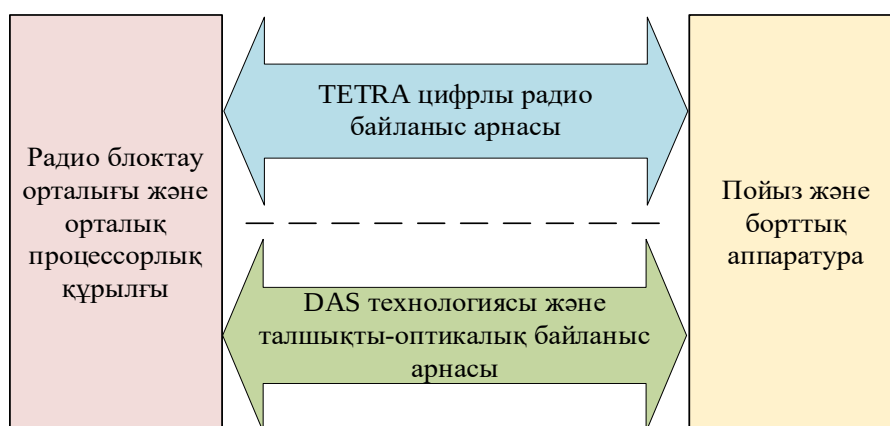
1 – балласттық призма; 2 – құм төсеме; 3 – жол жиегі; 4 – талшықты-оптикалық кабель; 5 – жол жиегінің шеті; А – жер төсемінің негізгі алаңының ені; Б – балласттық қабат қалыңдығы; В – төбесі бойынша балласттық призманың ені; Г – төмені бойынша балласттық призманың ені; Д – жол жиегінің ені; Е – жол осінен құбырға дейінгі қашықтық

Сурет 2.16 – Талшықты-оптикалық кабельді төсеудің ұсынылған қашықтығы мен тереңдігі

DAS технологиясын қолдану үшін «ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісі бойындағы талшықты-оптикалық кабельдер трассасының қазіргі жай-күйін ескере отырып, технологияны қолданудың тиімділігі мәселелерін анықтау қажет. Тапсырманы шешу үшін рефлектометрлер түріндегі аппаратура кешенін қолдануға немесе модельдеу ортасының көмегімен анықтауға болады. Модельдеу ортасы ретінде COMSOL Multiphysics модельдеу ортасын қолдануға болады, өйткені бұл бағдарламалық өнім арқылы кабель төселген жердегі толқындардың таралуын модельдеуге және тиісті нәтижелер алуға өте болады [51].

## 2.4 Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің қауіпсіз байланыс жүйесін моделдеу

Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерін зерттеуде MATLAB ортасын қолданып жатыр [52, 53, 54]. Жұмыс жасау принципі координаталық тәсілге негізделген СИРДП-Е пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесінің патенттік зерттеуде [А қосымшасы] ұсынылған жұмыс сенімділігін арттыру бойынша тұжырымдаманы зерттеу мақсатында MATLAB ортасында 2.17-суретке сәйкес екі байланыс арнасын қолдану арқылы пойыздардың қозғалысын имитациялайтын модель құрылды, модельдің құрылымдық сұлбасы 2.18-суретте келтірілген және модель СИРДП-Е жүйесінің нақты құрылымына сай негізгі екі блоктан тұрады, олар радио блоктау орталығы және пойыздардың қозғалысын модельдеуші блок.



Сурет 2.17 – Жүйенің байланыс арнасы бойынша құрылымы

Ескерту – Қосымша А негізінде автор құрастырған

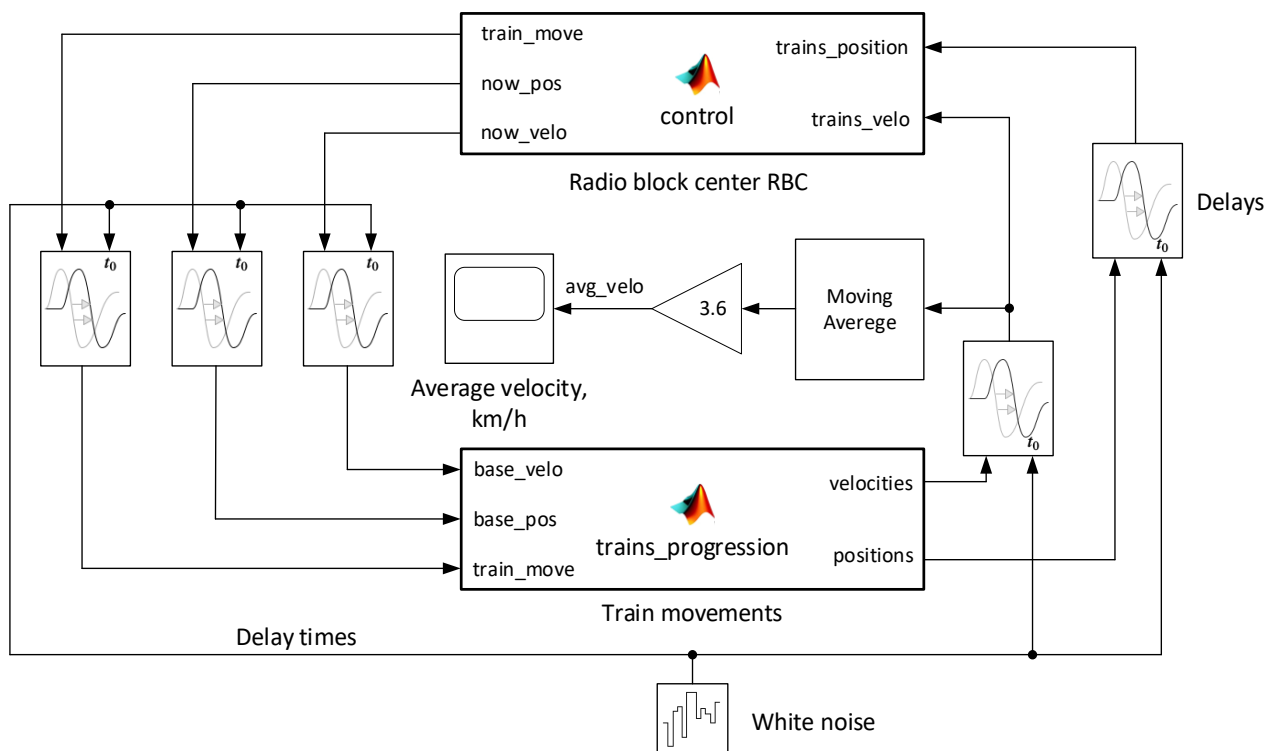
Патенттік зерттеудің [Қосымша А] қорытындысына сай модельде екі байланыс арнасы қарастырылған, олардың бірі TETRA стандартындағы цифрлы радио байланыс, бірі – талшықты оптикалық кабель негізіндегі байланыс жолы. Модельдің жұмысы кезінде осы екі байланыс түрлерін имитациялау үшін мәліметтерді беру жылдамдығына шуылдардың әсері өзгертіліп отырды.

Төменде келтірілген бағдарламаға сәйкес циклдің бірінші итерациясында 5 кездейсоқ пойыздар құрылады, максимал шамалары жүк пойыздары үшін 120 км/сағат және жолаушылар пойызы үшін 200 км/сағ. құрайтын жылдамдықтар кездейсоқ орнатылады. Модельде жылдамдықтар м/с өлшем бірлігімен қабылданған (бұл км/сағ-тан 3,6 есе аз).

Осыдан кейін, осы мәндерге сүйене отырып, кездейсоқ түрде бес пойыздың әрқайсысы үшін максимумдер шегінде бастапқы жылдамдықтар пайда болады. Сондай-ақ кездейсоқ түрде бір-біріне тым жақын орналасқан пойыздар үшін олардың бастапқы позициялары қайта анықталады.

Циклдің келесі итерацияларында пойыздарға радиоблоктау орталығынан ақпарат келіп түседі және пойыздар алынған ақпаратқа байланысты

жылдамдықтарын өзгертеді. Енді пойыздардың позициялары жылдамдыққа байланысты өзгереді.



Сурет 2.18 – MATLAB негізіндегі СИРДП-Е моделінің құрылымдық сұлбасы

Ескерту – Қосымша А негізінде автор құрастырған

Осы бағдарламаға сәйкес радиоблоктау орталығы модельдік бес пойыздан олардың жылдамдықтары мен аралықтағы нақты координаталары туралы ақпаратты күтеді. Осыдан соң пойыздар арасындағы интервалдарға тәуелді жылдамдықтары анықталған басқару сигналдары құрылады.

Бұл үшін «әрқайсысы әрқайсысымен» типті тексеру құрылған:

- егер басқарылатын пойыз бен басқалар арасындағы координаталары теріс санмен көрсетілсе, онда басқарылатын пойыз басқаларының алдында орналасқан және ешқандай өзгеріс талап етілмейді.

- егер айырмашылық оң, бірақ 300 метрден аз болса, онда шұғыл тежеу талап етіледі;

- егер айырмашылық 300 метрден артық, бірақ 500 метрден кем болса, онда қызметтік тежеу талап етіледі;

- егер айырмашылық 1 километрден артық болса, онда жылдамдықты максимал шегіне дейін (жүк пойыздар – 120 км/сағ., жолаушылар пойызы – 200 км/сағ.) арттыруға рұқсат етіледі;

- егер айырмашылық 500 м-ден 1 км дейін болса, онда пойыз жылдамдығы өзгеріссіз қалады.

Пойыздар мен радиоблоктау орталығында цифрлы радиобайланыс пен талшықты-оптикалық байланыс жолы қолданылған байланыс түрлерінің әрқайсысы үшін жүк және жолаушылар пойыздарына екеуден жалпы 4

симуляция жасалынған.

Төменде бағдарламалық блоктардың листингі келтірілген.

```
1 function [velocities,positions]=  
    trains_progression(base_velo,base_pos,train_move)  
2 trains_number=5;  
3 velocities=zeros(1,trains_number);  
4 positions=zeros(1,trains_number);  
5 max_velo=zeros(1,trains_number);  
6 mv_pass=200/3.6;  
7 mv_load=120/3.6;  
8 if base_pos==0  
9     max_velo=(mv_pass*mv_load).*rand(1,trains_number)+mv_load;  
10    positions=randi(19500,1,trains_number);  
11    D=abs(diff(positions,[],2));  
12    dlen = length(D);  
13    for n = 1:1:dlen  
14        if D(n)<=500  
15            positions(n+1)=randi(19500);  
16        end  
17    end  
18    velocities=max_velo.*rand(1,trains_number);  
19 end  
20 if base_pos~=0  
21     for k = 1:1:trains_number  
22         velocities(k)=base_velo(k)+train_move(k);  
23     end  
24 end  
25 for i = 1:1:trains_number  
26     if velocities(i)>max_velo(i)  
27         velocities(i)=max_velo(i);  
28     elseif velocities(i)<0  
29         velocities(i)=0;  
30     end  
31 end  
32 if base_pos~=0  
33     positions=base_pos+velocities;  
34 end
```

Төменде радиоблоктау орталығының жұмыс алгоритмінің листингі келтірілген:

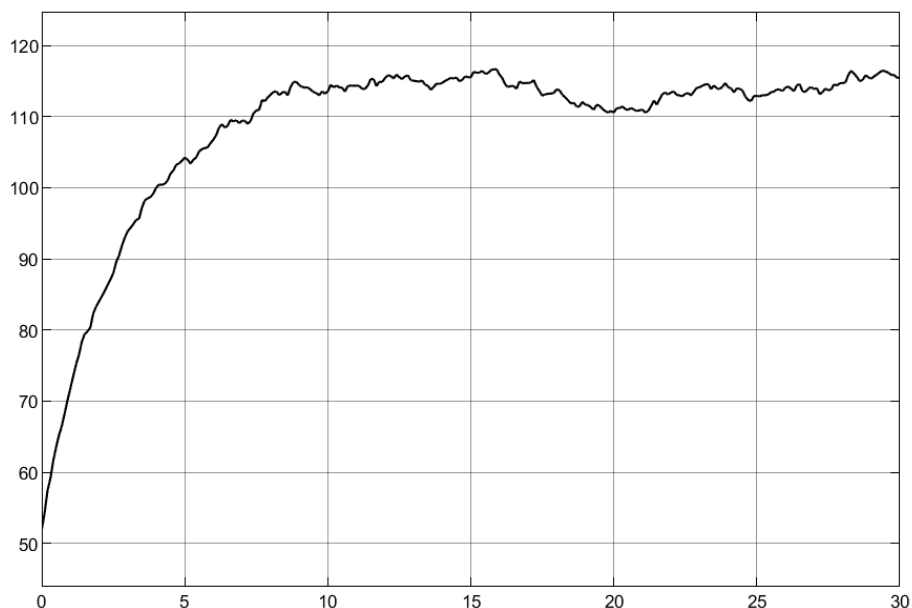
```
1 function [train_move,now_pos,now_velo] =  
   control(trains_position,trains_velo)  
2 trains_number=5;  
3 now_pos=zeros(1,trains_number);  
4 now_velo=zeros(1,trains_number);  
5 train_move = zeros(1,trains_number);  
6 for t = 1:1:trains_number  
7     now_pos(t)=trains_position(t);  
8     now_velo(t)=trains_velo(t);  
9     for i = 1:1:trains_number  
10        if i~=t  
11            dif=now_pos(i)-now_pos(t);  
12            if dif<0  
13                train_move(t)=train_move(t);  
14            elseif dif<300  
15                train_move(t)=train_move(t)-2;  
16            elseif dif<500  
17                train_move(t)=train_move(t)-1;  
18            elseif dif>1000  
19                train_move(t)=train_move(t)+2;  
20            else  
21                train_move(t)=train_move(t);  
22            end  
23        else  
24            train_move(t)=train_move(t);  
25        end  
26    end  
27 end
```

Локомотив пен радиоблоктау орталығында цифрлы радио байланыс жүйесі қолданылған модельдің 30 сағаттық жұмысы кезінде байланыс жүйесіне кедергілердің үлкен әсері пойыздардың орташа есеппен 118 км/сағ жылдамдықтан асуына жол бермеді. Цифрлы радиобайланыс стандарты қолданылған байланыс жолын қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығының графигі 2.19-суретте келтірілген.

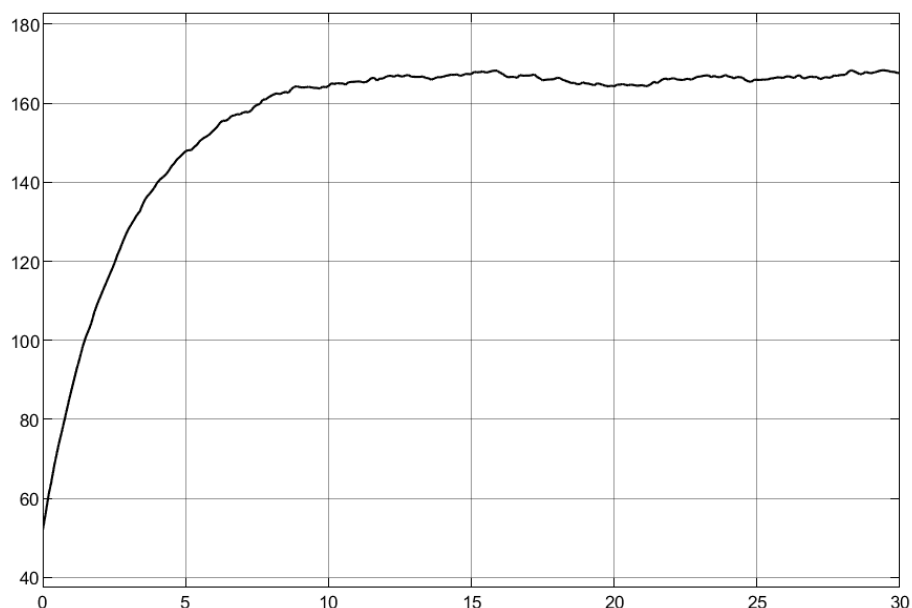
Локомотив пен радиоблоктау орталығында [Қосымша А] сәйкес оптоалшықты кабель негізіндегі байланыс жүйесі қолданылған модельдің 30



сағаттық жұмысы кезінде байланыс жүйесіне кедергілердің әсері аз және пойыздардың жылдамдығы орташа есеппен 167 км/сағ мәнге ие болды. Талшықты-оптикалық байланыс жолын қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығының графигі 2.20-суретте келтірілген.



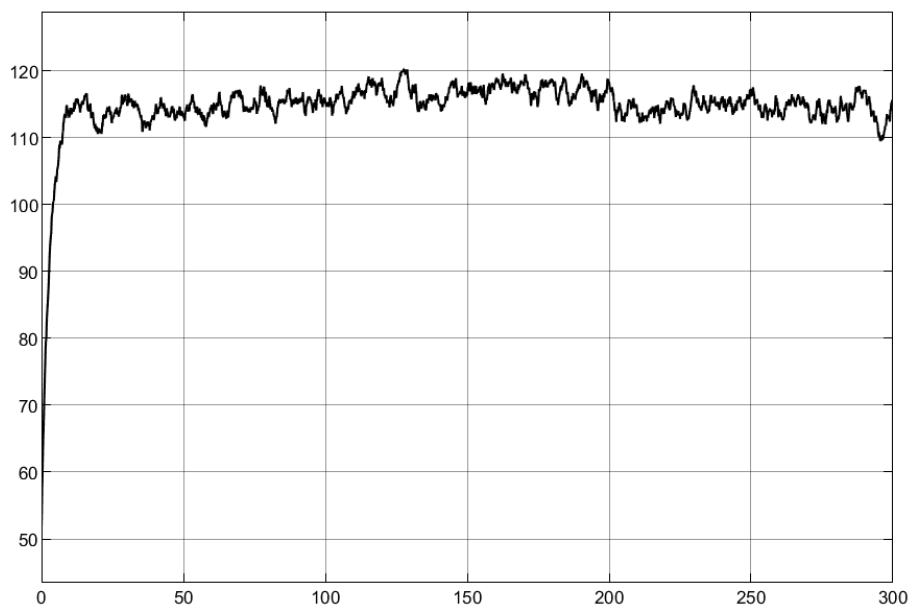
Сурет 2.19 – Цифрлы радио байланысты қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығы



Сурет 2.20 – Талшықты-оптикалық байланыс жолын қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығы

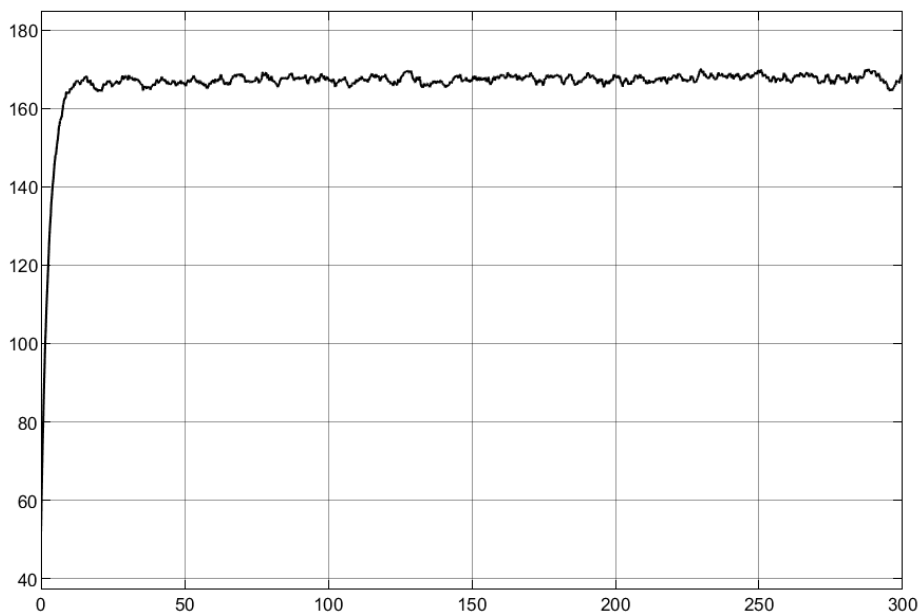
Локомотив пен радиоблоктау орталығында цифрлы радио байланыс жүйесі қолданылған модельдің 300 сағаттық жұмысы кезінде бір рет пойыз жылдамдығының 120 км/сағ мәні тіркелді, алайда көрсеткіштер лезде және тез өзгеріп отырды. Байланыс жүйесіне кедергілер сирек, бірақ байланыс сапасына әсері айтарлықтай. Модель уақытының 200 сағатынан кейін пойыздар жылдамдығының айтарлықтай «төмендеуі» байқалды. Цифрлы радиобайланыс

стандарты қолданылған байланыс жолын қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығының графигі 2.21-суретте келтірілген.



Сурет 2.21 – Цифрлы радио байланысты қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығы

Локомотив пен радиоблоктау орталығында [Қосымша А] сәйкес талшықты-оптикалық кабель негізіндегі байланыс жүйесі қолданылған модельдің 300 сағаттық жұмысы кезінде пойыздардың орташа жылдамдығы 165-170 км/сағ шамасында болды және байланыс жүйесіне кедергілердің әсері елеусіз. Пойыздардың қозғалыс жылдамдығы тұрақты, ал кедергілер арқасында байланыс жүйесінің істен шығуы тіркелмеді. Талшықты-оптикалық байланыс жолын қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығының графигі 2.22-суретте келтірілген.



Сурет 2.22 – Талшықты-оптикалық байланыс жолын қолдану кезіндегі пойыз жылдамдығы

Координаталық тәсілге негізделген пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйелерінің сенімділігін арттыру бойынша ұсынылған шешім [А қосымшасы] бойынша MATLAB ортасында модельдеу нәтижелері радио байланысқа қарағанда талшықты-оптикалық байланыс жүйесі істен шығуларға аз ұшырайтындығын және аз кідірістермен ақпарат алмасуға мүмкіндік беретіндігін көрсетті. Бұл пойыздардың рұқсат етілген пайдалану жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді. Радио және талшықты-оптикалық байланыс жүйелерін бірлесіп қолданған кезде пойыздардың рұқсат етілген жылдамдықтардың жоғарылауына қол жеткізуге болады, өйткені ұсынылған шешім бойынша СИРДП-Е жүйесінде байланыс түрлерін қайталау жүйенің жалпы сенімді жұмысын қамтамасыз етеді.

### **Бөлім бойынша қорытынды**

1. Байланыс арналарында ақаулар болған кезде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық принциптерін жалғастыра отырып, телімнің өткізу қабілетін арттыру мақсатында жүйенің байланыс арнасын DAS технологиясы негізінде резервтеудің техникалық шешімі әзірленді.

2. DAS технологиясының жұмыс жасау принципіне түсініктіме беріліп, темір жол инфрақұрылымымен байланысу жағдайлары қарастырылды.

3. Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің ұсынылып отырған оңтайлы және қауіпсіз моделінің дұрыстығын тексеру үшін MATLAB ортасында модель құрылды және моделдеу нәтижелері байланыс арналарын резервтеу, солардың ішінде талшықты-оптикалық байланыс жолының сыртқы шуылдарға орнықты екендігін көрсетіп, жылжымалы құрам жылдамдығының ең үлкен шамасын алуға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

4. Бұл бөлімде келтірілген зерттеулер нәтижелері [55], [56], [57], [58] жарияланған.

### 3 ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛДЕУ ЖӘНЕ ПОЙЫЗДАР ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУДІҢ КООРДИНАТАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ОҢТАЙЛЫ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗ МОДЕЛІН БАҒАЛАУ

#### 3.1 Темір жол көлігіндегі тасымалдау үрдісін моделдеуге арналған бағдарламалардың талдамасы

Темір жол көлігіндегі күрделі технологиялық үрдістерді компьютерлік модельдеу оларды зерттеу үшін қажет болатын үлкен шығындардың алдын алуға мүмкіндік береді. Мысалы, физикалық модель құру арқылы темір жол көлігіндегі тасымалды ұйымдастырудың күрделі үрдістерін зерттеу көп жағдайда машақатты, кейде тіпті мүмкін емес.

Бұл мәселені шешу үшін көбінесе математикалық модельдеуді қолдануға болады, дегенмен, тиісті математикалық модельдеу әдісін таңдаудың күрделілігі мұндай зерттеу әдістерін қолдану мүмкіндігін қысқартады. Бұдан басқа, математикалық модельдеу нәтижелері құрылған модельдің сәйкестігіне тексерілуін талап етеді [59].

Мұның балама шешімі ретінде имитациялық модельдеу (ИМ) әдістерін пайдалануға болады. Қазіргі таңда техниканың әр түрлі саласы бойынша тиімді қолдануға болатын имитациялық модельдеудің көптеген бағдарламалық өнімдері бар [60]. Солардың ішінде темір жол көлігіндегі зерттеулерді жүргізуге арналған кейбір бағдарламалық өнімдердің талдамасы 3.1-кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 – Имитациялық модельдеудің бағдарламалық өнімдерінің талдамасы

| №                                                                   | ИМ<br>бағдарламалық<br>өнімдерінің атауы | Өңдеуші сайты                                                              | Зерттеу тәсілі | Лицензияның<br>таралуы |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|
| 1                                                                   | RailPlan                                 | <a href="http://www.trapezegroup.com">www.trapezegroup.com</a>             | Микроскопиялық | Ақылы                  |
| 2                                                                   | RailSys                                  | <a href="http://www.rmcon-int.de">www.rmcon-int.de</a>                     | Микроскопиялық | Ақылы                  |
| 3                                                                   | OpenTrack                                | <a href="http://www.opentrack.at">www.opentrack.at</a>                     | Микроскопиялық | Ақылы                  |
| 4                                                                   | Rail Traffic<br>Controller (RTC)         | <a href="http://www.berkeleysimulation.com">www.berkeleysimulation.com</a> | Микроскопиялық | Ақылы                  |
| 5                                                                   | AnyLogic                                 | <a href="https://www.anylogic.com">https://www.anylogic.com</a>            | Макроскопиялық | 1 айға тегін           |
| Ескерту – Кесте зерттелген материалға сәйкес автормен құрастырылған |                                          |                                                                            |                |                        |

RailPlan – жылжымалы құрамның әрекетін, сигнализация жүйесін және барлық темір жол желісі талдауының немесе жеке пойыздардың көмегімен қорек көздерін жобалауға, темір жол телімінің өткізу қабілеттілігін жоспарлауға, жұмыс режимі мен апаттық оқиғаларды тестілеуге мүмкіндік береді [61].

RailSys – бұл инфрақұрылымның басқарылуын, пойыздардың қозғалыс кестесінің құрылуы мен жоспарлануын жеңілдететін модульдерден тұратын темір жол көлігіндегі сигнализация жүйесін модельдеудің кешенді пакеті. Бұл бағдарламалық өнімнің базасы құрылымы үлкен модельдерді оңай құруға мүмкіндік береді, мұны бүкіл әлемнің инфрақұрылымындағы операторларының қолдануы сипаттайды. Модель пойыздардың қозғалыс кестесін және

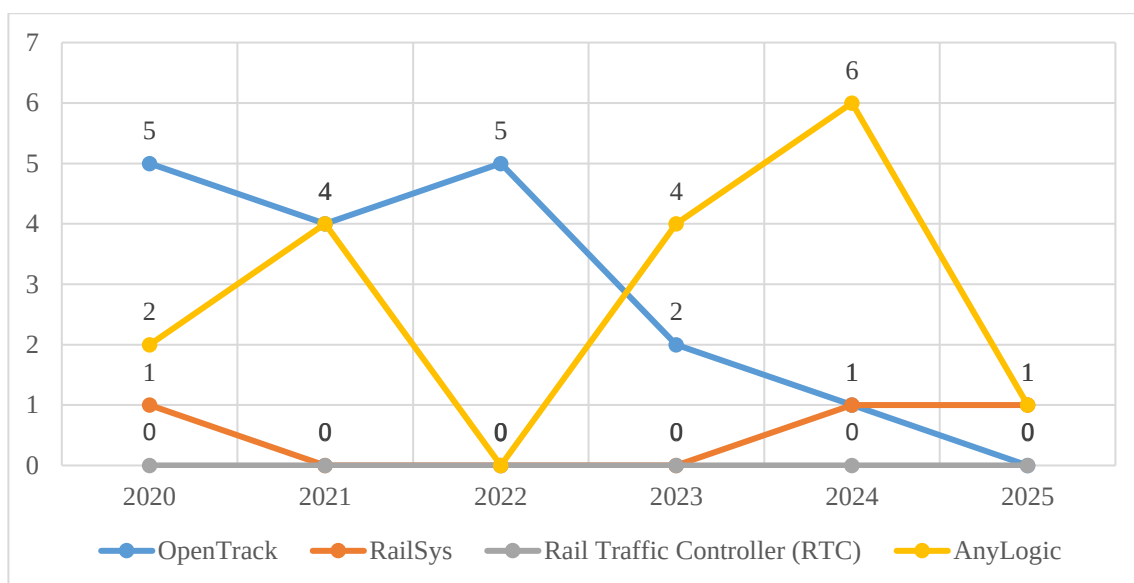
маршруттарды автоматты іздеу алгоритмімен жабдықталған [62, 63].

OpenTrack – қолданыстағы темір жол инфрақұрылымын, жылжымалы құрам мен локомотивтің параметрлерін және бекітілген пойыз кестесін алғашқы мәндер ретінде енгізе отырып, темір жол желісінің барлық параметрлерін (жаңа оңтайландырылған қозғалыс кестесі, локомотивтің параметрлерінің тәуелділік сипаттамалары, пойыздардың кешігу статистикасы, телімнің проблемалық аймағы және т.б.) сипаттайды [64].

Rail Traffic Controller (RTC) – бұл қауіпсіздік талаптары мен тиімділігін сақтау бойынша кеңейтілген функционалдық қызметтері бар пойыз қозғалысын диспетчерлендіру үшін қолданылатын имитациялық модельдеу ортасы [65].

AnyLogic – дискретті-оқиғалы, агенттік және жүйелік динамика тәсілдерін қамтитын көп тәсілді модельдеу ортасы өндірістің барлық саласы бойынша зерттеуге мүмкіндік береді, сонымен қатар бағдарламалық өнім әр түрлі сала үшін арнайы кітапханаларға ие [66].

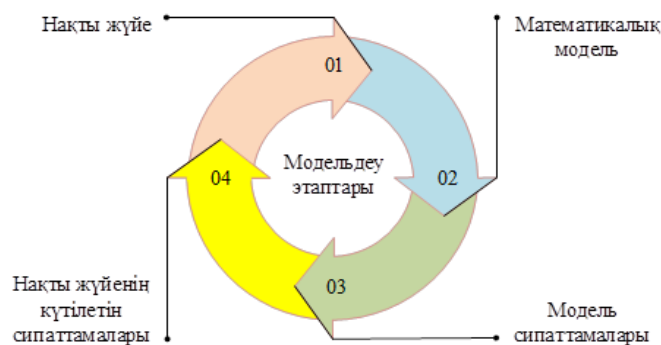
Жоғарыда аталған бағдарламалық өнімдердің темір жол көлігіндегі тасымалдау үрдістерін зертеу үшін сұранысқа ие болуы мен қолданылуын Web of Science деректер қорында жарық көрген ғылыми мақалалар бойынша анықтауға болады (3.1-сурет).



Сурет 3.1 – ИМ бағдарламалық құралдары қолданылған зерттеулер санына тәуелді Web of Science деректер қоры бойынша соңғы 5 жылдағы жарияланымдардың талдамасы

Ескерту – Web of Science деректер қоры негізінде автормен құрастырылған

3.2-суретте имитациялық модельдеуді сүйемелдеу үрдістері көрсетілген. Суреттен модельдеу үрдісі төрт сатыдан тұратындығын көруге болады. Модельді әзірлеу кезінде нақты жүйенің параметрлерін орнатуда бірқатар болжамдар қолданылады. Модельдеудің келесі сатысында математикалық зерттеу немесе компьютерлік модельдеу тіпті кейде екі нұсқа да қолданылып, модельдеу бойынша нәтижелер алынады.



Сурет 3.2 – Имитациялық моделдеу этаптары

Ескерту – Зерттеу мәліметтеріне сәйкес автормен құрастырылған

Алынған модельдеу нәтижелері зерттелетін нақты жүйенің параметрлерін реттеуге немесе құрылымдарын өзгертуге ықпал ететін нақты жүйенің күтілетін сипаттамаларын болжауға мүмкіндік береді.

Жүргізілген талдау нәтижесінде және зерттеуді жүзеге асырудың техникалық мүмкіндіктерін ескере отырып, диссертациялық жұмыстың зерттеулерін алдымен AnyLogic макроскопиялық моделдеу ортасын, содан соң OpenTrack микроскопиялық моделдеу ортасын қолданып жүргізу бойынша шешім жасалды.

### 3.2 Зерттелетін темір жол желісін нақты уақыт режимінде макроскопиялық моделдеу

Қазақстан Республикасының географиялық жағдайы Қытай-Еуропа-Қытай көлік дәлізін ұйымдастыруда шешуші фактор болып отыр [67], мысалы Достық және Алтынкөл шекаралық бекеттері Қазақстан арқылы Қытай мен Еуропа арасында жүктерді тасымалдаудың негізгі буыны болып табылады.

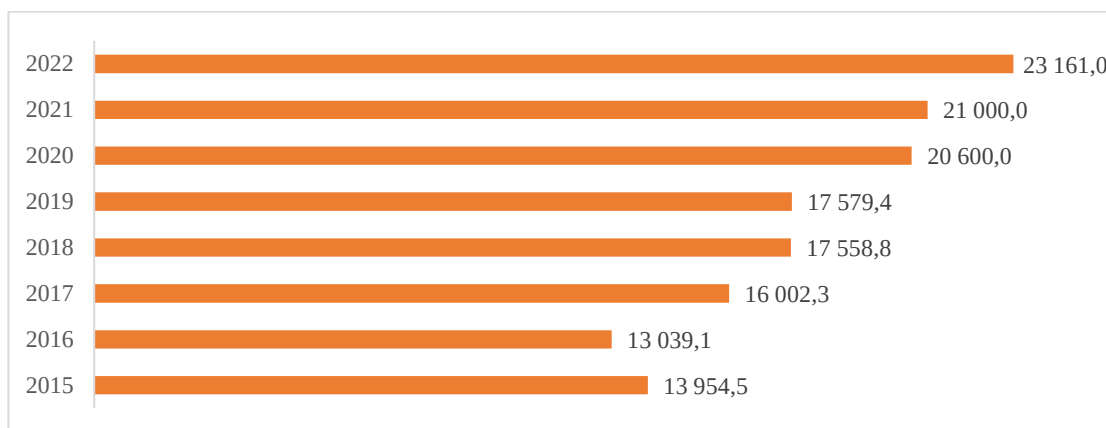
3.3-суретте ҚР Ұлттық статистика бюросының деректеріне [24, б. 1 ] сәйкес автомобиль және темір жол көліктерін пайдалана отырып, контейнерлерде жүктерді тасымалдаудың 2022 жылғы статистикалық көрсеткіштері келтірілген, мұнда тасымал үшін темір жол көлігі басым пайдаланылатындығын көруге болады, яғни 2022 жылы автокөліктің салмақтық баламадағы үлесі 609,7 мың тоннаны, ал темір жол көлігі – 23518,9 мың тоннаны құраған.



Сурет 3.3 – Контейнерлер арқылы жүк тасымалдау көлемі

Ескерту – [24] негізінде автормен құрастырылған

Сонымен қатар, 3.4-суреттегі диаграмма темір жол көлігімен транзиттік тасымалдардың тұрақты өсуін, сондай-ақ көліктің осы түріне жоғары сұранысты көрсетеді.



Сурет 3.4 – Әр түрлі жылдардағы темір жол көлігі бойынша транзиттік тасымалдау көлемі, мың тонна

Ескерту – [24] негізінде автормен құрастырылған

Ел аумағы бойынша өтетін темір жол маршруттары теңіз маршрутымен салыстырғанда жүктерді қысқа мерзімде жеткізу арқылы айтарлықтай артықшылықтарға ие болып отыр және осы көлік дәліздерінің ең қысқасы Алтынкөл және Достық темір жол бекеттерінен өтеді (3.5-сурет).



Сурет 3.5 – Контейнерлік жүктерді тасымалдау маршруттары [68]

Осының негізінде Достық-Жезқазған-Илецк транзиттік көлік дәлізін ұйымдастыру Жезқазған-Сексеуіл жаңа темір жол желісін салып, оны пайдалануға бергеннен кейін мүмкін болды, жаңа маршруттың жалпы ұзындығы 2719,8 км құрайды (3.6-сурет). Жезқазған-Сексеуіл темір жол желісі пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесімен жабдықталған.

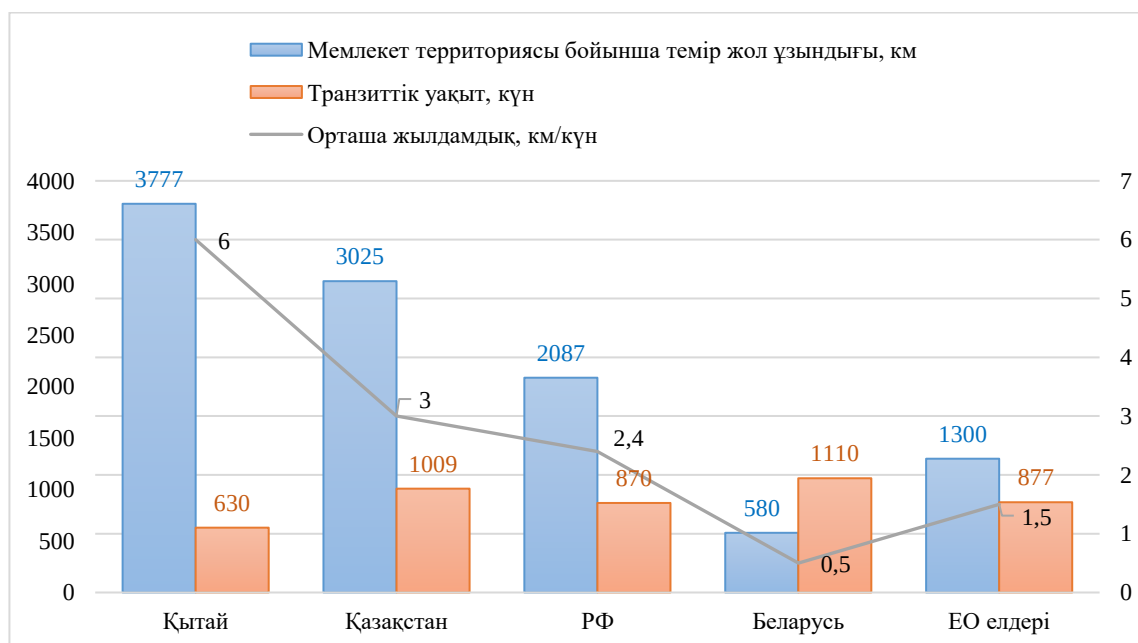


Сурет 3.6 – Достық-Жезқазған-Илецк көлік дәлізі көрсетілген ҚР темір жолы картасы

Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырылған

Алғашында Қытай-Еуропа темір жол транзиттік маршруты теңіз маршрутымен бәсекелестік қабілетке ие емес деп саналған болатын. Оның себебі пойыздардың қозғалыс графигі, тасымалдау бойынша бірыңғай стандарттар мен технологиялар, баға белгілеудің бірыңғай принциптері және т.б. болмады.

3.7-суретте мемлекеттер бойынша темір жол ұзындығы, транзиттік уақыт және маршруттың орташа жылдамдығы туралы ақпарат келтірілген.



Сурет 3.7 – Қытай-Еуропа халықаралық көлік дәлізінің сипаттамалары

Ескерту – Зерттелген мәліметтер негізінде автормен құрастырылған



Темір жол көлігін теңіз көлігімен бәсекеге қабілетті ету үшін Қытай және Еуропа арасында темір жол контейнерлік қызметі құрылған болатын. Ұзындығы 10 796 км темір жол маршруты Қытай, Қазақстан, Ресей, Беларусь және ЕО елдері арқылы өтеді. Транзиттік уақыт 15-16 күнді, ал орташа жылдамдық – 690 км/тәулікті құрайды.

3.7-суреттен көлік дәлізінің негізгі үлесі Қытай мен Қазақстанға тиесілі екендігін көруге болады. Максимальный транзиттік жылдамдықты Қазақстан Республикасы қамтамасыз етеді (тәулігіне 1009 км). Ел аумағы бойынша темір жол ұзындығының аз болуына орай дәліз бойынша минимал өту уақыты Беларусь Республикасына тиесілі (0,5 тәулік).

Дегенмен, темір жол көлік дәлізі бойынша тасымалдауды ұйымдастыру кезіндегі өткізу қабілеттілік шамасы телім инфрақұрылымы мен басқа да көптеген факторларға тәуелді болады. Солардың ішінде шешуші фактор аралықтағы пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесін пайдалану болып табылады, өйткені телімдегі пойыздар қозғалысының ең үлкен жылдамдық шамасы аралықта ғана мүмкін болады.

3.2-кестеде Достық-Ақтоғай-Мойынты-Жарық-Жезқазған-Сексеуіл-Қандыағаш-Ақтөбе-Илецк көлік дәлізінің бекеттер саны, тартым түрі, жеке телімдердің ұзындығы және автоматика және телемеханика жүйелері бойынша негізгі техникалық сипаттамалары келтірілген.

Кесте 3.2 – Достық-Илецк көлік дәлізінің техникалық сипаттамалары

| Телімдер                                                                 | Ұзындығы,<br>км | Бекеттер<br>саны | Тартым<br>түрі | ЭО<br>типі | АБ<br>типі | ДО<br>типі  |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|----------------|------------|------------|-------------|
| Достық-Ақтоғай                                                           | 318             | 14               | Дербес         | МКУ, ЭО    | АБ         | МПДО        |
| Ақтоғай-Мойынты                                                          | 522,4           | 20               | Дербес         | ЭО         | АБ         | ДО          |
| Мойынты-Жарық                                                            | 215,1           | 8                | Электрлік      | ЭО         | АБ         | МПДО        |
| Жарық-Жезқазған                                                          | 417,8           | 15               | Дербес         | МКУ, ЭО    | ЖАБ        | МПДО        |
| Жезқазған-Сексеуіл                                                       | 517             | 26               | Дербес         | МПО        | РБ         | МПДО        |
| Сексеуіл-<br>Кандыағаш                                                   | 438,4           | 30               | Дербес         | ЭО, МПО    | АБ         | МПДО,<br>ДО |
| Қандыағаш-Ақтөбе                                                         | 95,7            | 7                | Дербес         | ЭО, РПО    | АБ         | МПДО        |
| Ақтөбе-Илецк                                                             | 195,4           | 22               | Дербес         | ЭО         | АБ         | ДО,<br>МПДО |
| Жалпы ұзындығы,<br>бекеттер саны                                         | 2719,8          | 142              |                |            |            |             |
| Ескерту – Кесте «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтеріне сәйкес автормен құрастырылған |                 |                  |                |            |            |             |

Аталған көлік дәлізін ұйымдастыру контейнерлік тасымалдау көлемін ұлғайту қажеттілігінен туындайтын темір жол автоматика және телемеханика жүйелерін қамтитын инфрақұрылымды одан әрі дамытумен тікелей байланысты.

Кез-келген көлік жүйесінің жұмысы оқиғалардың хронологиялық тізбегі ретінде ұсынылады. Мұндай жүйені модельдеу агенттік тәсілге жатады [69].

Диссертациялық жұмыста бұл мәселені шешу үшін макроскопиялық негіздегі имитациялық модельдеу (ИМ) тәсілі қолданылды. Макроскопиялық моделдеу үлкен қашықтықтағы темір жол телімдерін зерттеуге тиімді. Сол

себепті Достық-Жезқазған-Илецк көлік дәлізі бойынша контейнерлік тасымалды зерттеу макроскопиялық негіздегі AnyLogic бағдарламасының агенттік модельдеу бағытымен әзірленді [70].

Модельдеуге мынадай мақсаттар қойылды:

- көлік дәлізінің жұмыс режимін анықтау;
- Достық-Жезқазған-Илецк көлік дәлізі бойынша тасымалды ұйымдастырудағы проблемалық телімдерді анықтау;
- контейнерлік тасымалдау технологиясын жетілдіру.

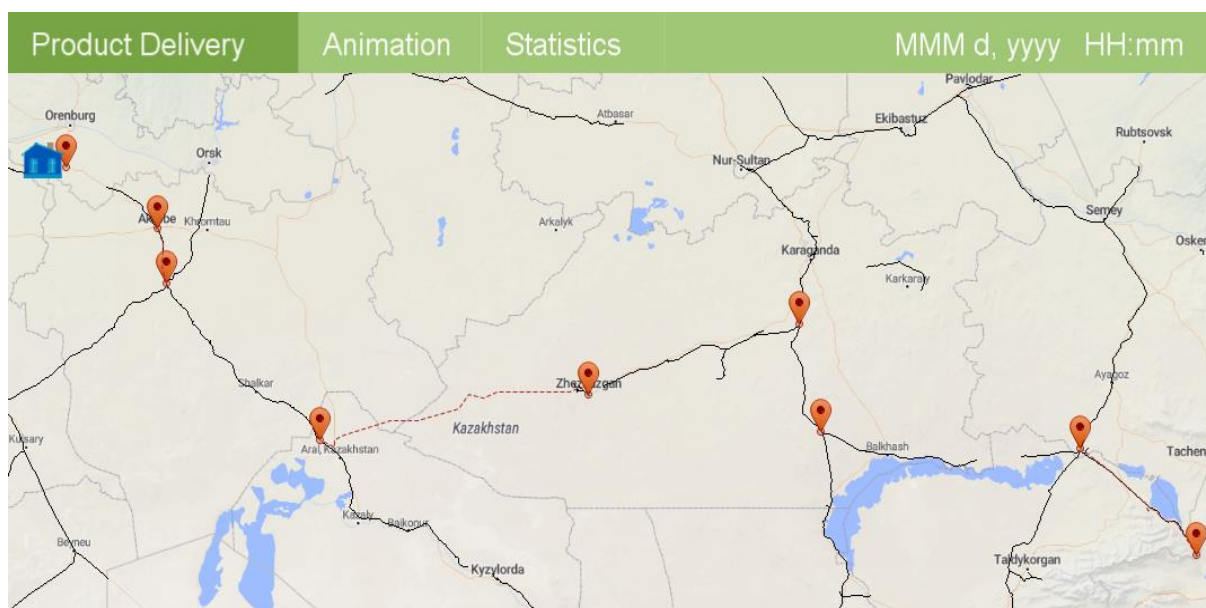
Модельдеу үшін бастапқы ақпарат ретінде Достық-Жезқазған-Илецк көлік дәлізі бойынша статистикалық деректер таңдалды.

Модельде пойыздардың қозғалысын интервалды реттеудің заманауи жүйелерін қолдану арқылы пойызаралық интервалдарды қысқарту мәселелері қарастырылды, бұл жылжымалы блок-телімдері бар жүйелердің болуын білдіреді.

Модельдің жұмыс алгоритмі стандартталған блоктардың көмегімен орындалады және Java бағдарламалау тілімен бапталады [71].

Модельді көрсету Animation және Statistic режимдерінде жүзеге асырылады, бұл осы көлік дәлізінің жұмысын нақты көрсетуге мүмкіндік береді.

Зерттелетін темір жол телімін геоақпараттық жүйе (ГАЗ) карталарымен агенттік модельдеу этаптары графикалық түрде 3.8-суретте ұсынылған.



Сурет 3.8 – ГАЗ карталарымен AnyLogic агенттік моделдеу терезесі

AnyLogic бағдарламасы негізінде автормен құрастырылған

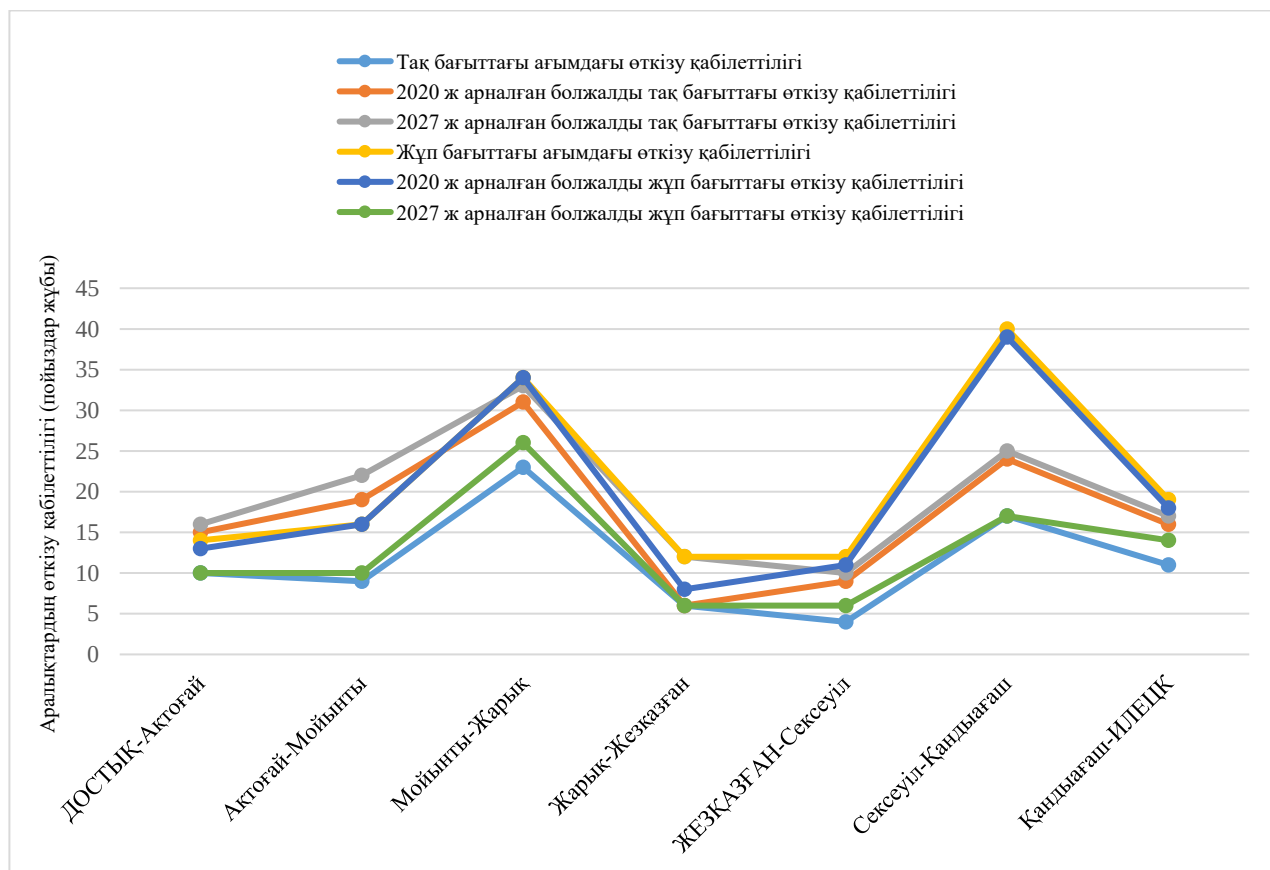
Модель логистикалық тізбектің компоненттері мен өзара әрекеттесуі – пойыздар, бекеттер мен аралықтар болып табылатын агенттік тәсілді қолдана отырып жасалған. AnyLogic нысандары жеке агенттер ретінде модельденеді.

Содан кейін агенттер өз динамикасы бар ортада, атап айтқанда Достық, Ақтоғай, Мойынты, Жарык, Жезқазған, Сексеуіл, Қандыағаш, Ақтөбе және

Илецк бекеттері ГАЗ байланысады және өзара іс-қимыл жасайды.

Содан кейін Достық бекетінен Илецк бекетіне дейінгі және кері бағыт бойынша темір жолдағы нақты уақыттар мен маршруттар модельденеді. Модельдің шығыс мәндері динамикалық анимациялардан тұрады, яғни осы уақытта контейнерлердің қажеттілікті қанағаттандыру үшін көлік дәлізі бекеттері арасында тасымалдануы жүзеге асырылады.

AnyLogic ортасындағы имитациялық модельдеу нәтижесі Достық-Жезқазған-Илецк теміржол көлік дәлізін ұйымдастырудағы ең проблемалық телімдерді анықтауға мүмкіндік берді (3.9-сурет).



Сурет 3.9 – Достық-Жезқазған-Илецк темір жол телімі аралықтарының өткізу қабілеттілігі

AnyLogic бағдарламасы негізінде автормен құрастырылған

3.9-суреттен осы көлік дәлізі бойынша контейнерлік пойыздардың жылдамдығын шектеп тұрған ең проблемалық темір жол телімі Жезқазған-Сексеуіл екендігін көруге болады, өйткені бұл телімде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің цифрлы байланысының проблемаларына байланысты толық жұмыс режимінің болмауымен түсіндіріледі және қазіргі таңда телім жартылай автоматты блоктау режимінде жұмыс жасайды.

Инновациялық технологияларды қолдана отырып, СИРДП-Е жүйесінің тиімділігін артыру арқылы пойыздар қозғалысын толық координаталық реттеу тәсіліне көшу бұл мәселені шешуге және аталған телімде контейнерлік

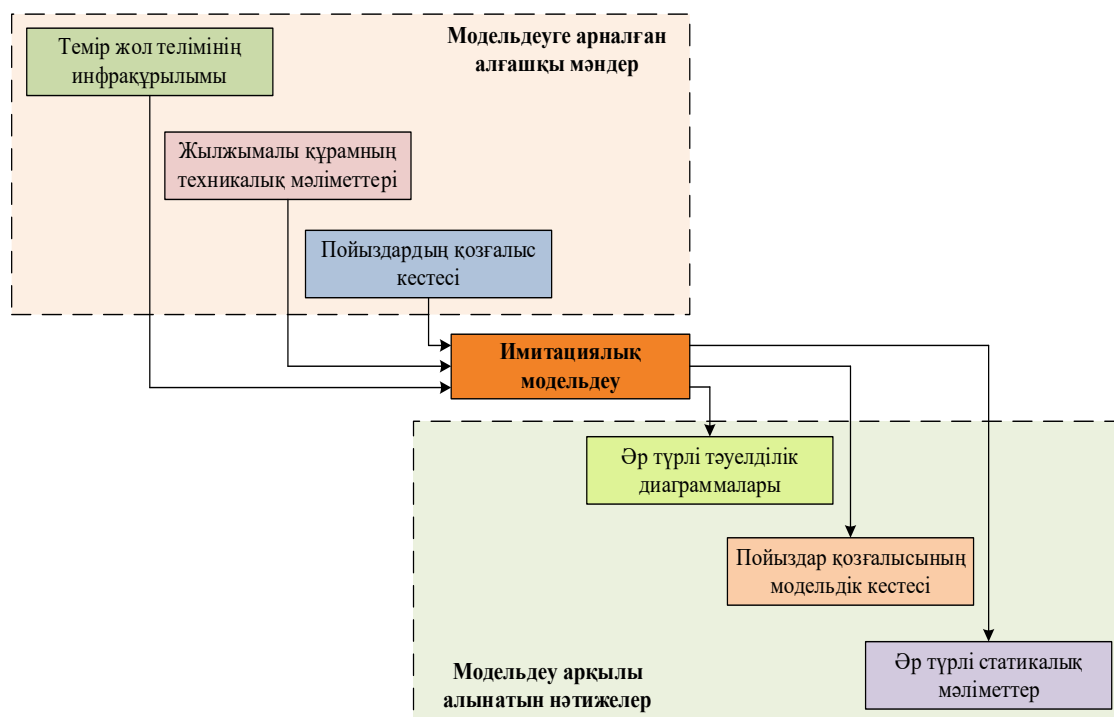
пойыздардың маршруттық жылдамдықтарын арттыруға мүмкіндік берері сөзсіз.

AnyLogic бағдарламасы негізінде әзірленген модель жүйенің жұмысын егжей-тегжейлі қарастыруға және контейнерлік тасымалдау үшін көлік дәлізін одан әрі дамыту мәселелерімен байланысты оның максималды тиімділігін есептеуге, сонымен қатар, модель инвестицияларды бірінші кезекте қайда бағыттау керектігін анықтауға мүмкіндік берді.

### 3.3 OpenTrack ортасында микроскопиялық моделдеу үшін кіріс параметрлерді анықтау

3.1-суретке сәйкес Web of Science деректер қоры мен [72, 73, 74, 75, 76, 77] жарияланымдарының талдамалары OpenTrack бағдарламасының темір жол көлігі саласында зерттеулер үшін белсенді қолданылуын көрсетеді. Осыны негізге ала отырып, диссертациялық жұмыстың сәйкес зерттеулерінің нәтижелері «Мұхаметжан Тынышбаев атындағы АЛТ университеті» АҚ лицензиялы OpenTrack бағдарламасымен жабдықталған «Railway Simulation» зертханасында алынған.

OpenTrack ортасында модельдің құрылуы 3.10-суретке сәйкес кіріс деректерді анықтаудан басталады. Деректерді енгізу үшін инфрақұрылым бойынша бағдарламалық өнімде «Vertex» және «Edge» сияқты элементтер қолданылады. Темір жол телімінің инфрақұрылымындағы әрбір объект (бұрмалы жетектер, бағдаршамдар, темір жол өткелдері, пассивті реперлік датчиктер және т.б.) атауын, ординатасын және рельс тізбегінің оқшаулағыш түйіспелерімен немесе жолдық датчиктермен жабдықталуына мүмкіндік беретін «Vertex» элементі арқылы анықталады [64, 1. б. ].



Сурет 3.10 – OpenTrack ортасында модельдеу этаптары

Ескерту – [64] негізінде автормен құрастырылған

Әрбір «Vertex» элементі өзара «Edge» элементтері арқылы бірігеді. «Edge» элементінің атрибуттары ұзындықтан (кез-келген ұзындықта болуы мүмкін), радиус және градиенттен тұрады. Бұдан басқа, темір жол телімінде тоннельдердің болуы, координаталық интервалды реттеу жүйесінің жолдық құрылғыларымен жабдықталуы, сонымен қатар жолдың берілген кесіндісі арқылы әр түрлі категориядағы пойыздар үшін рұқсат етілген максимал жылдамдық шамалары көрсетіледі.

Темір жол телімінің инфрақұрылымын анықтауды аяқтағаннан кейін имитациялық модельдеу үшін деректерді енгізудің келесі сатысы жылжымалы құрамның параметрлерін анықтау болып табылады. Жылжымалы құрамның параметрлері ретінде локомотивтің салмағы, ұзындығы, максимал конструкциялық жылдамдығы, тартым күші, телімдегі тартым түрі, құрамның ұзындығы мен жалпы салмағы, пойыз категориясы және т.б. қабылданады.

OpenTrack бағдарламасы пойыздың үш категориясын анықтайды: жүк пойызы, жүрдек пойыз және жоғары жылдамдықты пойыз. Жоғарыда аталған деректерді енгізу «Engines», «Trains», «Train Categories» терезелері арқылы жүзеге асады (Қосымша Д).

3.3-кестеде жылжымалы құрам үшін кіріс деректер ретінде «Engines» және «Trains» терезелерінде мәндерді енгізу үшін «ҚТЖ» ҰҚ» АҚ темір жол желісінде пайдаланылатын локомотивтердің қажетті параметрлері келтірілген [78].

Кесте 3.3 – ҚР темір жол желісінде пайдаланылатын кейбір локомотивтердің модель үшін қажетті параметрлері

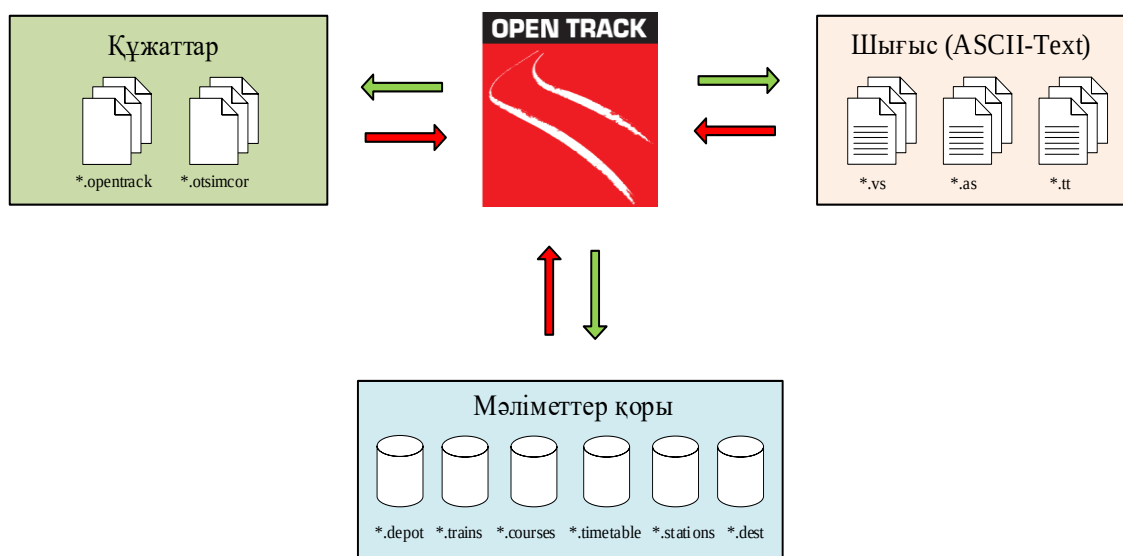
| №                                                                   | Параметрлер                   | Локомотив модельдері |         |                 |                 |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------|-----------------|-----------------|
|                                                                     |                               | ТЭ33А                | ТЭП33А  | КЗ4АС           | КЗ8А            |
| 1                                                                   | Қызмет түрі                   | Жүк                  | Жолаушы | Жолаушы         | Жүк             |
| 2                                                                   | Құрылымдық жылдамдығы, км/сағ | 120                  | 160     | 200             | 120             |
| 3                                                                   | Шанақ ұзындығы, м             | 20,8                 | 20,8    | 20              | 35              |
| 4                                                                   | Салмағы, т                    | 138                  | 138     | 85,5            | 200             |
| 5                                                                   | Ток түрі                      | -                    | -       | АС 25 кВ, 50 Гц | АС 25 кВ, 50 Гц |
| 6                                                                   | Максимал тартым күші, кН      | 533                  | 533     | 264             | 833             |
| Ескерту – Кесте зерттелген материалға сәйкес автормен құрастырылған |                               |                      |         |                 |                 |

OpenTrack бағдарламасында имитациялық модель дайындаудың аяқтаушы этапы қолданыстағы пойыздарың қозғалыс кестелерінің деректерін енгізу болып табылады. Бұл мақсатта «Courses/Services», «Course» және «Timetable» секілді бағдарламалық элементтер қолданылады (Қосымша Д).

OpenTrack ортасында модельдеу үрдісінде инфрақұрылымды, жылжымалы құрамның физикалық шектеулері мен пойыздардың бекітілген қозғалыс кестесін ескере отырып, деректерді енгізудің белгілі сатысына сәйкес темір жолдар желісінде жүретін барлық пойыздардың әрекеті анықталады. Модельдеу нәтижесінде OpenTrack уақыт интервалын, есептеулер нақтылығын,

климаттық шарттар мен кешігу сипаттарын қоса отырып, модельдеу үшін көптеген параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді.

OpenTrack әр түрлі типтік файлдардан құралған барлығы үш кіріс және шығыс деректерді басқаруға мүмкіндік береді: құжаттар, мәліметтер қоры және шығыс деректер. OpenTrack бағдарламасы мен осы файлдар арасындағы өзара байланыс 3.11-суретте бейнеленген [64, б. 7].



Сурет 3.11 – OpenTrack бағдарламасының файлдық құрылымы [64, б. 7]

Файлдарды келесі түрде қорытындылауға болады:

1. Құжаттар – OpenTrack құжат түрінде қозғалыс графигі мен темір жол желісінің инфрақұрылымы туралы ақпаратты сақтайды. Бұл файлдарды графиктік редактор арқылы өңдеуге болады. Модельдеу кезінде қолданылатын құжаттар саны шектелмеген.

2. Деректер қоры – OpenTrack бағдарламасы жылжымалы құрам, бекет, пойыздардың қозғалыс кестесі туралы ақпараттарды сақтау үшін барлығы алты әр түрлі деректер қорын қолданады. Олар локомотивтер, пойыздар, қозғалыс бағыты, қозғалыс кестесі, бекет және маршрут туралы деректерден тұрады.

3. Шығыс деректер – OpenTrack бағдарламасы модельдеу нәтижелерін файлдарға сақтайды және бұл деректер ASCII мәтіндік файлдарынан тұрады.

OpenTrack бағдарламасы арқылы модель құру барысында модельдегі басты объектінің бірі жылжымалы құрам болып табылады, осыған байланысты пойыздағы локомотивтер мен вагондар позициясы 3.12-суретке сәйкес анықталады және осы ақпарат бағдарламаның арнайы терезесі ұяшығына енгізіледі.

Жолаушылар пойызы үшін локомотив 1-ші позицияны, вагондар 2-ші позицияны қабылдайды (3.12, а-сурет). Мұндай шешім жүк пойыздары үшін де орынды (3.12, ә-сурет). Ауыр салмақты жүк пойыздарының қозғалысын модельдеу кезінде бас локомотив 1-позицияны, екінші локомотивке дейінгі вагондар 2-позицияны, екінші локомотив 3-ші позицияны, екінші локомотивтен кейінгі вагондар 4-ші позицияны қабылдайды (3.12, б-сурет).

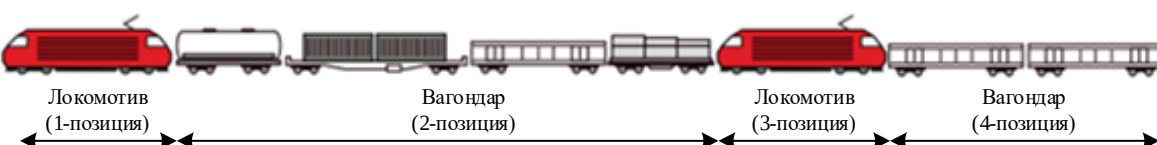
а) Жолаушылар пойызы



ә) Жүк пойызы



б) Жүк пойызы



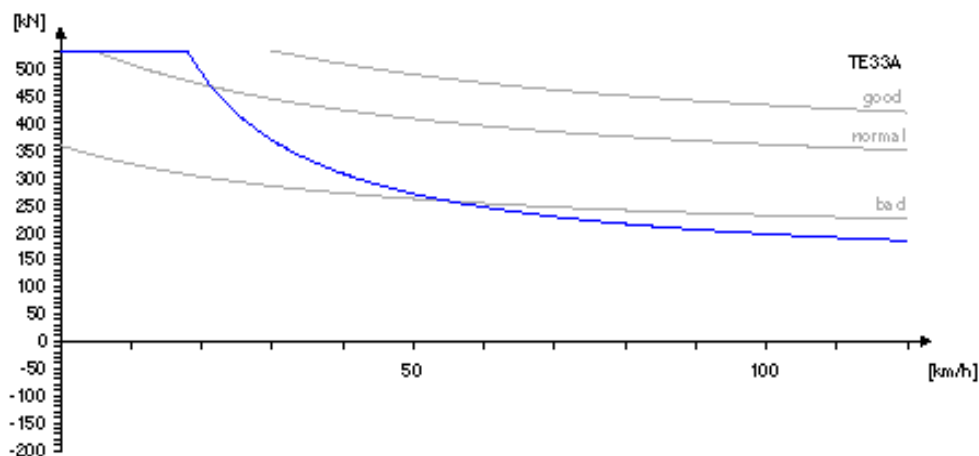
Сурет 3.12 – Моделдегі локомотив пен вагондар позициясының анықталуы [64, б. 71]

Дөңгелек пен рельс арасындағы үйкеліс жылдамдыққа байланысты келесі түрде анықталады:

$$\mu = \frac{2,1 \text{ м/с}}{v + 12,2 \text{ м/с}} + 0,161 \quad (3.1)$$

Мұндағы:  $v$  – пойыз жылдамдығы, м/с.

[79] деректері негізінде ТЭ33А локомотивінің тартым сипатына сәйкес OpenTrack ортасында тартым күшінің қисығы анықталған (3.13-сурет).



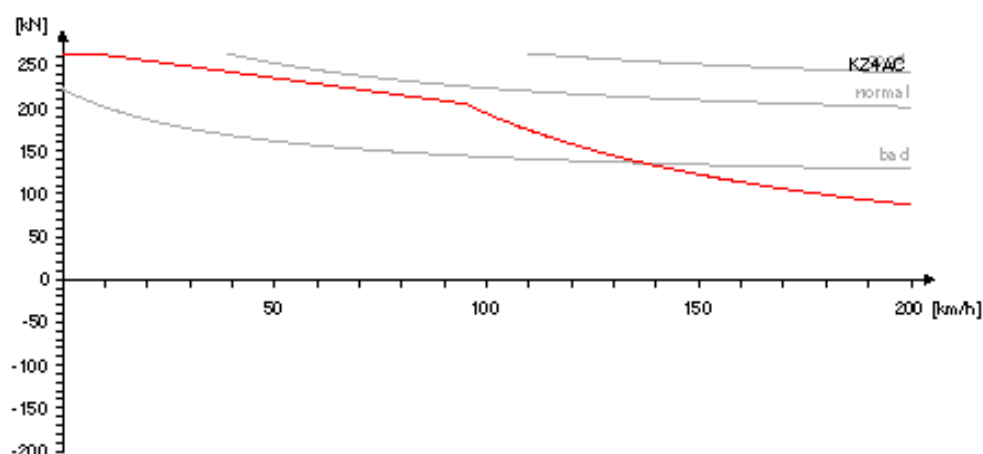
Сурет 3.13 – OpenTrack ортасында анықталған ТЭ33А локомотивінің тартым күшінің қисығы

Ескерту – OpenTrack негізінде автормен құрастырылған

Сондай-ақ, [80] негізінде KZ4AC электровозының тартым сипатына сай



OpenTrack ортасында тартым күшінің қисығы анықталған (3.14-сурет).



Сурет 3.14 – OpenTrack ортасында анықталған KZ4A электровозының тартым күшінің қисығы

Ескерту – OpenTrack негізінде автормен құрастырылған

Локомотивтердің келтірілген тартым сипатының параметрлері OpenTrack ортасында алғашқы мәндерді енгізу барысында қолданылады.

Пойыздардың қозғалысы кезінде оларға кедергі әсер етеді. Бұл кедергіні локомотив тартым күшімен жеңуі тиіс. Пойызға келтірілетін толық кедергі тартым және үдеу кедергілерінің қосындысына тең болады және келесі өрнекпен анықталады:

$$R = R_T + R_Y + (R_L + R_B + R_{Ж}) + R_K \quad (3.2)$$

Мұндағы:  $R_T$  – тартым кедергісі, Н;

$R_Y$  – үдеу кедергісі, Н;

$R_L$  – локомотивтің тербеліс кедергісі, Н;

$R_K$  – қашықтық кедергісі, Н;

$R_B$  – жолаушылар вагонының тербеліс кедергісі, Н;

$R_{Ж}$  – жүк вагондарының тербеліс кедергісі, Н.

Локомотивтердің тербеліс кедергісін есептеу үшін келесі өрнек пайдаланылады [64, б. 76]:

$$R_L = g \cdot \left\{ \left[ f_c \cdot \frac{m}{1000} \right] + \left[ k_c \cdot ((v + \Delta v) \cdot 3,6)^2 \right] \right\} \quad (3.3)$$

Мұндағы:  $g$  – еркін түсу үдеуі, 9,8 м/с<sup>2</sup>;

$m$  – локомотив массасы, кг;

$v$  – пойыз жылдамдығы, м/с;

$\Delta v$  – жел кедергісі, 4,17 м/с;

$f_c$  – кедергі факторы (мәні 3,3 тең);



$k_c$  – кедергі коэффициенті,  $0,03 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ .

Жолаушылар вагонының тербеліс кедергісін есептеу үшін келесі өрнек қолданылады [64, б. 76]:

$$R_B = g \cdot \left\{ \left[ 1,9 \cdot \frac{m}{1000} \right] + \left[ k_{B1} \cdot v \cdot 3,6 \cdot \frac{m}{1000} \right] \left[ k_{B2} \cdot (n + 2,7) \cdot ((v + \Delta v) \cdot 3,6)^2 \right] \right\} \quad (4.4)$$

Мұндағы:  $g$  – еркін түсу үдеуі,  $9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$m$  – жолаушылар вагонының массасы,  $\text{кг}$ ;

$v$  – пойыз жылдамдығы,  $\text{м/с}$ ;

$n$  – жолаушылар вагонының саны;

$\Delta v$  – желдің кедергісі,  $4,17 \text{ м/с}$ ;

$k_{B1}$  – кедергі коэффициенті,  $0,0025 \text{ с/м}$ ;

$k_{B2}$  – кедергі коэффициенті,  $0,00696 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ .

Жүк вагондарының тербеліс кедергісін есептеу төмендегі өрнекпен орындалады:

$$R_{\text{ж}} = g \cdot \frac{m}{1000} \cdot \left[ 2,2 - \frac{k_{\Gamma 1}}{v \cdot 3,6 + k_{\Gamma 2}} + k_{\Gamma 3} \cdot (v \cdot 3,6)^2 \right] \quad (3.5)$$

Мұндағы:  $g$  – еркін түсу үдеуі,  $9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$m$  – жүк вагондарының массасы,  $\text{кг}$ ;

$v$  – пойыз жылдамдығы,  $\text{м/с}$ ;

$k_{\Gamma 1}$  – кедергі коэффициенті,  $80 \text{ м/с}$ ;

$k_{\Gamma 2}$  – кедергі коэффициенті,  $38 \text{ м/с}$ ;

$k_{\Gamma 3}$  – кедергі коэффициенті,  $0,00032 \text{ с}^2/\text{м}^2$ .

Қашықтық кедергісі үш кедергі жиынтығынан тұрады – градиент кедергісі, қисық кедергісі және бұрма кедергісі [64, б. 77]:

$$R_{\text{қ}} = R_{\text{гр}} + R_{\text{қис}} + R_{\text{бұр}} \quad (3.6)$$

Градиент кедергісі пойыздың көлбеу қозғалысы кезінде пайда болады және оған әсер етуші күштер 3.15-суретте ұсынылған және ол төмендегі формуламен анықталады:

$$R_{\text{гр}} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (3.7)$$

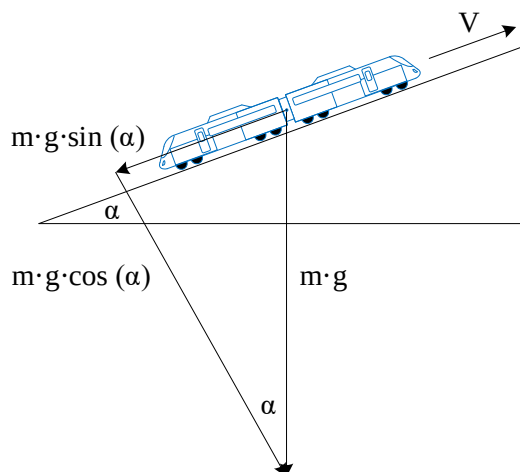
$$R_{\text{гр}} = m \cdot g \cdot \tan(\alpha) = m \cdot g \cdot \frac{I}{1000}$$

Мұндағы:  $g$  – ауырлық күшінің әсерінен үдеу,  $9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$m$  – пойыз салмағы,  $\text{кг}$ ;

$\alpha$  – көлбеу бұрышы,  $\text{рад}$ ;

$I$  – жоғары градиент, ‰.

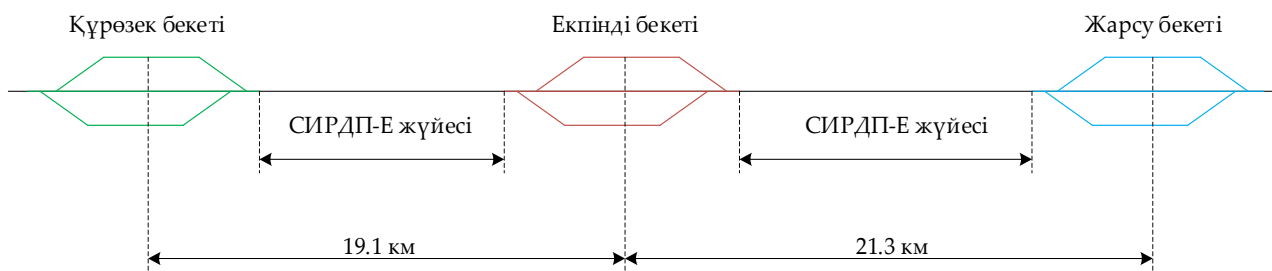


Сурет 3.15 – Градиент кедергісінің пайда болу тәртібі [64, б. 79]

Диссертациялық жұмыста зерттеліп жатқан Құрөзек-Жарсу телімін модельдеу барысында OpenTrack ортасында пойыз ұзындығы бойынша салмақты теңдей тарату әдісі таңдалған.

### 3.4 Зерттелетін темір жол желісін OpenTrack ортасында микроскопиялық моделдеу

Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық тәсілінің оңтайландырылған моделінің тиімділігін бағалау OpenTrack микроскопиялық модельдеу ортасының негізінде жүзеге асырылды. Зерттеу үшін Жетіген – Алтынкөл темір жол желісінде орналасқан және бекет осінен 40,4 км қашықтықтағы Құрөзек-Екпінді-Жарсу бекеттерінің арасындағы қолданыстағы темір жол телімі таңдалды. Зерттелетін телім құрылымы 3.16-суретте көрсетілген.



Сурет 3.16 – Зерттелетін темір жол телімінің құрылымы

Ескерту – «ҚТЖ» ҰК» АҚ мәліметтері негізінде автормен құрастырылған

Қазіргі уақытта бұл телімде радиоблоктау орталығы мен пойыз арасындағы басқарушы бұйрықтарды радио арна бойынша беру арқылы, максимал телімдік жылдамдығы 68 км/сағ, ал техникалық жылдамдығы 74 км/сағ болатын жүк пойыздарының қозғалысы ұйымдастырылатын жылжымалы блок-

телімді технологиялы СИРДП-Е координаталық интервалды реттеу жүйесі қолданылады.

OpenTrack микроскопиялық моделдеу ортасы бекітілген және жылжымалы блок-телімдерімен пойыз қозғалысын ұйымдастыруды модельдеуге мүмкіндік береді, алайда, осы зерттеуде интервалды реттеудің әрбір тәсілін талдау және бағалау мақсатында бекітілген және жылжымалы блок-телімдер үшін жеке модельдер құрылған.

Модельдеуге алғашқы мәндер ретінде локомотив параметрлері, пойыз категориялары, инфрақұрылым (жолдың жоғарғы құрылымы, аралық пен бекет бойынша максимал рұқсат етілген жылдамдық, жол көлбеуі, блок-телімдер ұзындығы, интервалды реттеу жүйесіне блок-телімдердің бөліну қағидасы, тартым түрі, негізгі және вариантты маршруттар және т.б.) және пойыз қозғалысының қолданыстағы кестесі пайдаланылды.

OpenTrack үздіксіз және дискретті модельдеу үрдістерін қолдана отырып арлас модельдеу принципін жүзеге асырады. Үздіксіз үрдіс пойыз қозғалысынан тұрады. OpenTrack көлік құралдарының қозғалыс теңдеуін (дифференциалды теңдеу) қолдана отырып, пойыз қозғалысын имитациялайды. Дискретті үрдістер қауіпсіздік қондырғылары жағдайының өзгеруі (мысалы, сигналдар күйі) немесе кешігулер сияқты жағдайлардан тұрады.

Пойыз қозғалысын есептеу үшін негіз Ньютонның екінші заңы болып табылады [64, б. 113]:

$$F = m \cdot a \quad (3.8)$$

Мұндағы:  $F$  – қозғалтқыштың тарту күші, Н;

$m$  – жылжымалы құрам салмағы, кг;

$a$  – жылжымалы құрам үдеуі, м/с<sup>2</sup>.

Пойыз жылдамдығы үдеуі үшін локомотив рельске тартым кедергісінен асатын күш беруі керек. Тартым күші мен тартым кедергісінің арасындағы айырмашылық артық тартым қуаты деп аталып, келесі формуламен анықталады:

$$F_Z = Z(v) - R_F(v, s) \quad (3.9)$$

Мұндағы:  $F_Z$  – тартым күшінің артық шамасы, Н;

$Z(v)$  – тартым күші, Н;

$R_F$  – үйкеліс кедергісі, Н;

$v$  – жылдамдық, м/с;

$s$  – жүріп өткен қашықтық, м.

Пойыз үдеуі (3.20) өрнекпен анықталады:

$$a = F_Z / m \cdot (1 + 0,01 \cdot \rho) \quad (3.10)$$

Мұндағы:  $F_Z$  – тартым күшінің артық шамасы, Н;

$a$  – үдеу, м/с<sup>2</sup>;

$m$  – масса, кг;

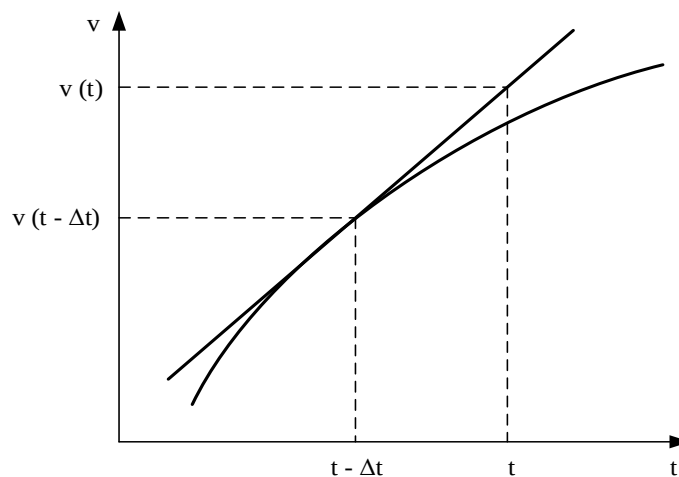
$\rho$  – мәні 1 тең болатын айналмалы масса үшін массалық коэффициент.

Кез-келген нүктеде пойыз үдеуінің мүмкін болатын максимал жылдамдық шамасы жолдағы жылдамдық шектеулеріне, локомотивтің максимал жылдамдығына және тіркелген вагондар салмағына тәуелді болады [64, б. 114]:

$$v(t) = v(t - \Delta t) + \Delta t \cdot \frac{dv}{dt}(t - \Delta t); v(t_0) = v_0 \quad (3.11)$$

Аналитикалық түрде дифференциалды қозғалыс теңдеуінің шешімін табу мүмкін емес болғандықтан пойыз қозғалысының теңдеуін шешу үшін сандық әдіс (Эйлер әдісі) қолданылады [82]. Эйлер әдісі модельдеу үшін дәл жуық шамалас мәндерді қамтамасыз етеді.

Эйлер әдісі берілген бастапқы нүктесі бар айнымалының өзгерісін есептеу жолымен жұмыс жасайды.  $t$  уақыт моментіндегі жылдамдықты анықтау үшін Эйлер әдісі 3.17-суретте ұсынылған.



Сурет 3.17 – Эйлер әдісі [82]

Әдіс, алдыңғы функционалды мәнді (бастапқы мән), алдыңғы туынды функцияны және тіркелген уақыттық қадамды пайдалана отырып әрбір функционалды мәнді бағалайды.

Қозғалыс теңдеуін қолдана отырып, пойыздың нақты жылдамдығы төменде келтірілген формуланы рұқсат етілген интегралдау шектерінің арасында біріктіру жолымен келесі теңдеумен есептеледі:

$$v = v(0) + \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \quad (3.12)$$

Сәйкесінше жүрілген пойыз жолы келесі теңдеуді қайта интегралдау арқылы есептеледі:

$$s = s(0) + \int_{t_1}^{t_2} v \, dt \quad (3.13)$$

OpenTrack бағдарламалау ортасында Күрөзек-Жарсу темір жол телімін

модельдеу үшін қолданылған параметрлер мен олардың шамалары 4.4-кестеде келтірілген.

Кесте 3.4 – Модельдеу үшін қолданылған негізгі параметрлер мен олардың мәндері

| №                                                                                              | Сипаттамалар мен параметрлер                                | Мәндері     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------|
| 1                                                                                              | Модельге қатысатын пойыздар саны                            | 2           |
| 2                                                                                              | Пойыздардың нөмірлері                                       | 3002, 3004  |
| 3                                                                                              | Пойыздар категориясы                                        | Жүк         |
| 4                                                                                              | Темір жол телімінің ұзындығы, км                            | 40,4        |
| 5                                                                                              | Темір жол теріміндегі бекеттер саны                         | 3           |
| 6                                                                                              | Тартым түрі                                                 | Тепловоздық |
| 7                                                                                              | Локомотивсіз жылжымалы құрам ұзындығы, м:<br>№3002<br>№3004 | 793<br>1211 |
| 8                                                                                              | Локомотив типі                                              | ТЭ33А       |
| 9                                                                                              | Локомотивтің максимал жылдамдығы, км/сағ                    | 120         |
| 10                                                                                             | Локомотивтің шанағы ұзындығы, м                             | 21          |
| 11                                                                                             | Локомотивтің салмағы, т                                     | 138         |
| 12                                                                                             | Локомотивтің максимал тартым күші, кН                       | 533         |
| Ескерту – Кесте OpenTrack бағдарламасы мен зерттелген материалға сәйкес автормен құрастырылған |                                                             |             |

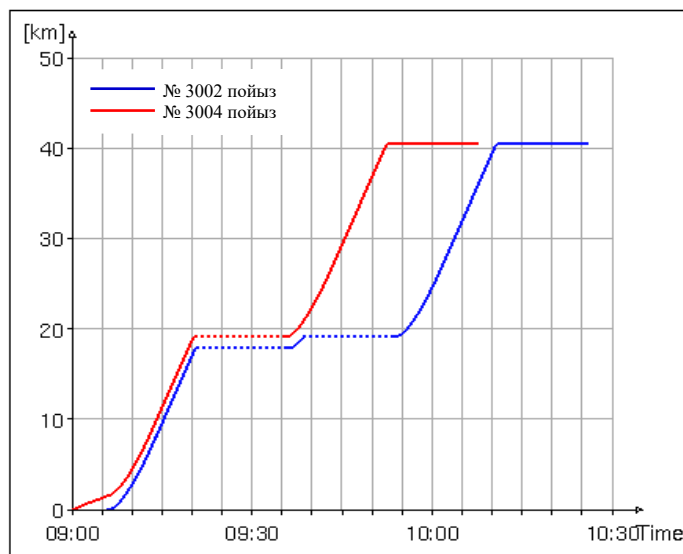
Модельдеу кезінде OpenTrack пойыздар мен сигналдардың орналасуын кескіндеуге мүмкіндік береді. Модельдің орындалуы кезінде пойыздар қозғалысы мен орнатылған маршрут «Edge» элементінің түсінің өзгеруімен бейнеленеді. Сонымен қатар, OpenTrack бағдарламасы пойыз қозғалысын график түрінде бағалайды.

Г қосымшасында OpenTrack ортасында әзірленген зерттелетін темір жол телімінің сұлбасы көрсетілген.

OpenTrack бағдарламасы жылжымалы блок-телімдерден (ЖБТ) және бекітілген блок-телімдерден (ББТ) тұратын темір жол желісін модельдеуге қауқарлы, алайда бұл екі сипаттаманы бір сәтте бір модельде қатар қолдануға мүмкіндік жоқ, сол себепті диссертациялық жұмыстың тапсырмасына сай СИРДП-Е жүйесінде осы екі технологияны интеграциялау артықшылықтарын көру үшін екі жеке модель құрылып, алынған нәтижелер диаграммалар түрінде салыстырылған.

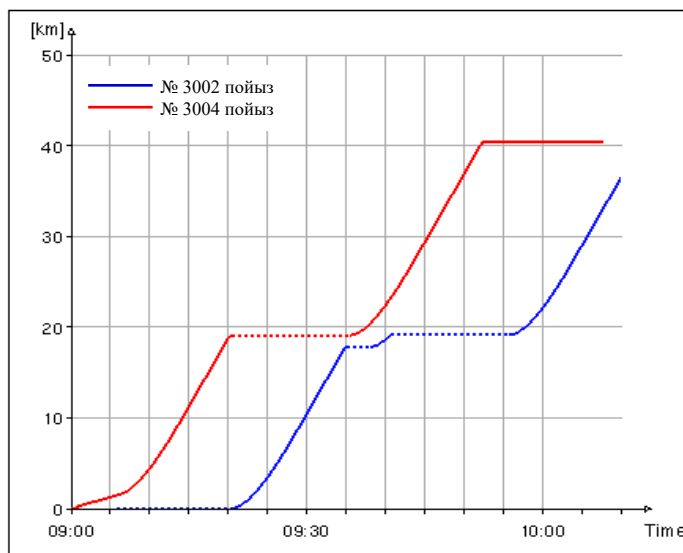
OpenTrack микроскопиялық модельдеу ортасында Жетіген-Алтынкөл темір жол телімінің Құрөзек-Екпінді-Жарсу бекеттерінің арасында жүретін № 3002 және №3004 жүк пойыздарының қозғалысын ұйымдастыруды модельдеу барысында ЖБТ және ББТ негізінде пойыздардың қозғалысын интервалды реттеудің координаталық тәсілін қолданумен және кіріс параметрлерінің критерийін сақтай отырып, әр түрлі параметрдегі тәуелділік графиктері түрінде сипатталған салыстырмалы нәтижелер алынған.

3.18-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздары үшін жүрілген жолдың уақытқа тәуелділік графиктері көрсетілген.



Сурет 3.18 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі жүрілген жолдың уақытқа тәуелді графигі

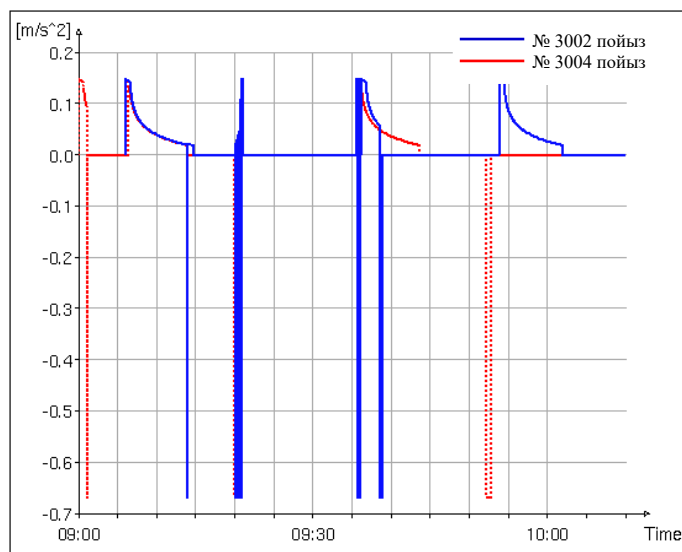
3.19-суретте ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздары үшін жүрілген жолдың уақытқа тәуелділік графиктері көрсетілген.



Сурет 3.19 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі жүрілген жолдың уақытқа тәуелді графигі

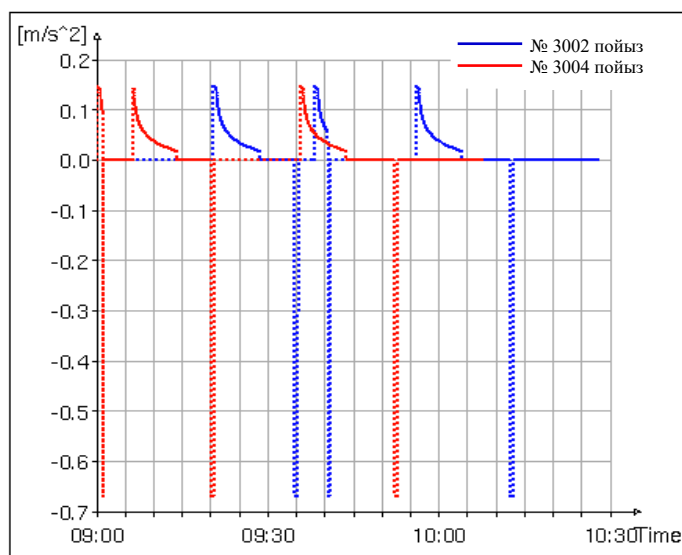
Қорытынды: Графиктерден ЖБТ пойыздар арасында уақыт интервалын азайтуға мүмкіндік беретінін көруге болады. № 3002 және № 3004 жүк пойыздары арасындағы интервал небәрі 5 минутты құрайды, ал ББТ пойыздар арасында айтарлықтай уақыт интервалының болатындығын көрсетті, яғни № 3002 пойыз қозғалысы 20 минуттан кейін ғана бастайды.

3.20-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының үдеулерінің уақытқа тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.20 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыз үдеуінің уақытқа тәуелді графиктері

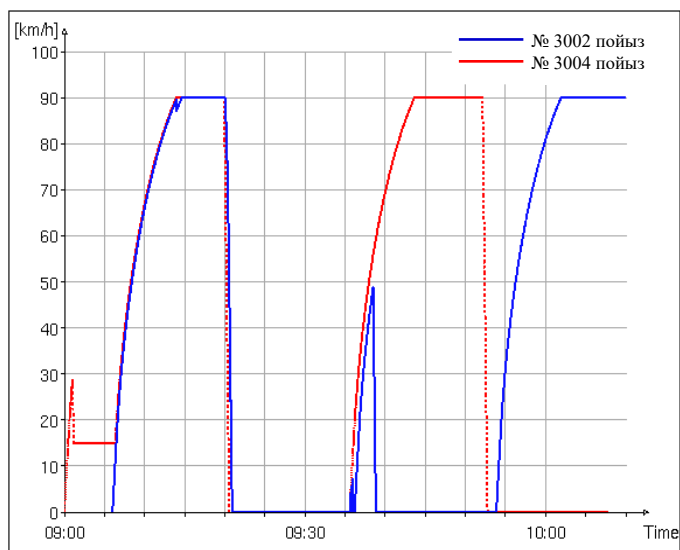
3.21-суретте ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының үдеулерінің уақытқа тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.21 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыз үдеуінің уақытқа тәуелді графиктері

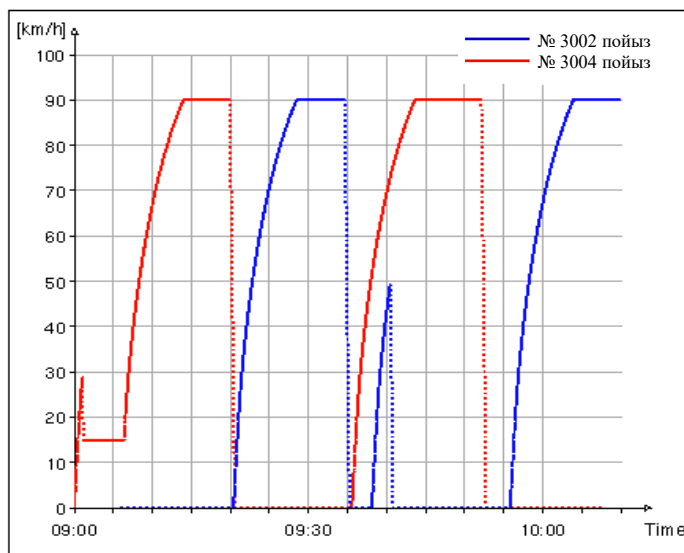
Қорытынды: Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу технологиясы ретінде ЖБТ және ББТ қолдану кезінде № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының үдеулері уақытқа тәуелді кейбір өзгерістерге ие, яғни ЖБТ кезінде № 3002 пойызының үдеуінің ББТ салыстырғанда уақыттың 9:20 мезетінде күрт өзгергендігін көруге болады.

3.22-суретте ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс жылдамдықтарының уақытқа тәуелді графиктері келтірілген.



Сурет 3.22 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыз жылдамдығының уақытқа тәуелді графиктері

3.23-суретте ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс жылдамдықтарының уақытқа тәуелді графиктері келтірілген.

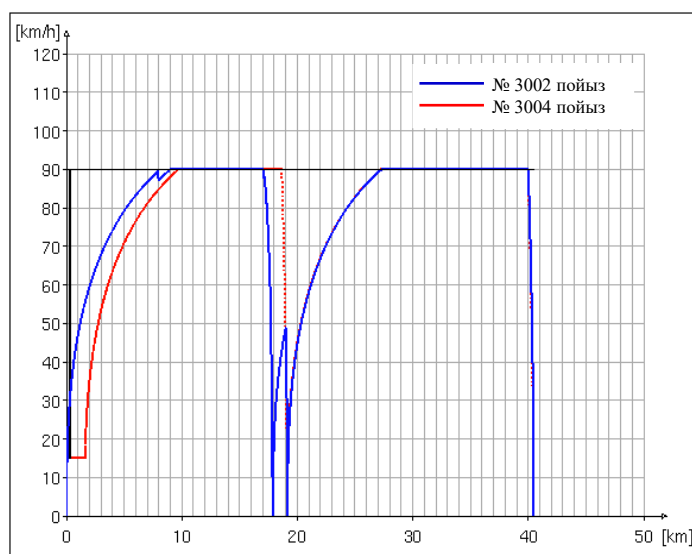


Сурет 3.23 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыз жылдамдығының уақытқа тәуелді графиктері

Қорытынды: ПҚИР технологиясы ретінде ЖЖБ қолдану кезінде пойыздар технология ерекшелігіне байланысты өте аз уақыт интервалымен қозғалса, ББТ кезінде № 3002 пойыз қозғалысын тек 9:20 минутта бастайды.

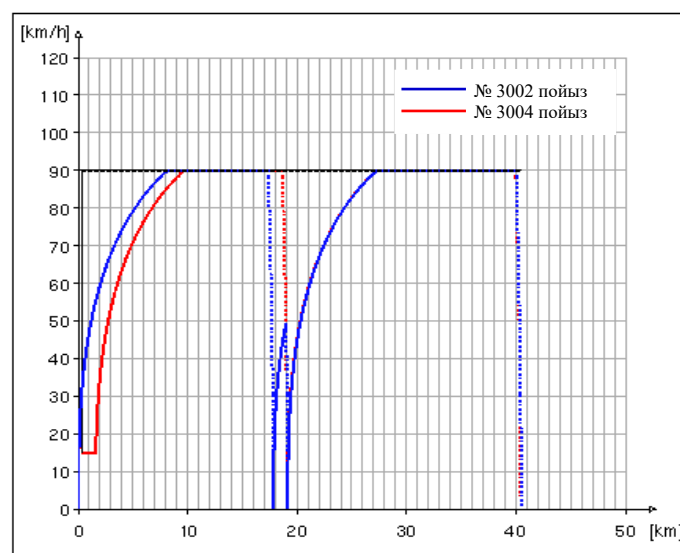


3.24-суретте ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс жылдамдықтарының жол ұзындығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.24 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыз жылдамдығының жол ұзындығына тәуелді графиктері

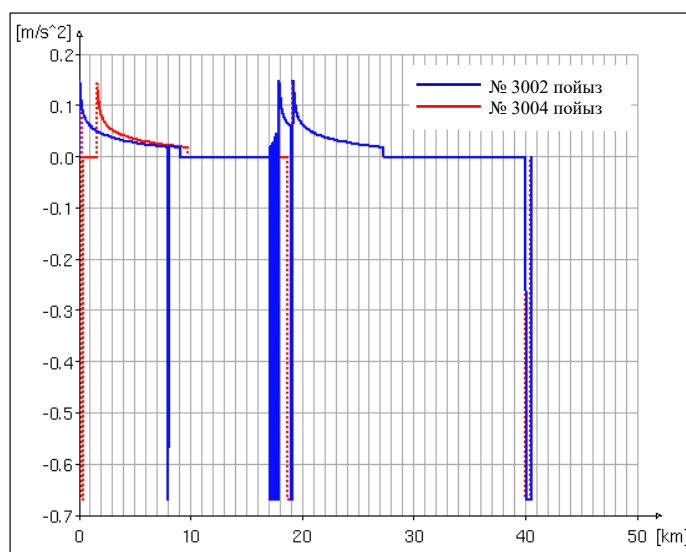
3.25-суретте ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс жылдамдықтарының жол ұзындығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.25 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыз жылдамдығының жол ұзындығына тәуелді графиктері

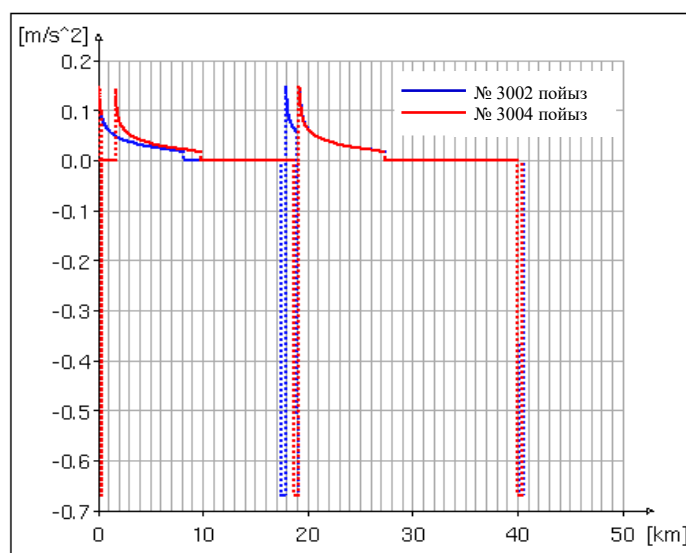
Қорытынды: ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ және ББТ қолдану кезінде № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының жылдамдықтарында жол ұзындығына тәуелді айырмашылық жоқ.

3.26-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының үдеуінің жол қашықтықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.26 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыз үдеуінің жол қашықтықтығына тәуелді графиктері

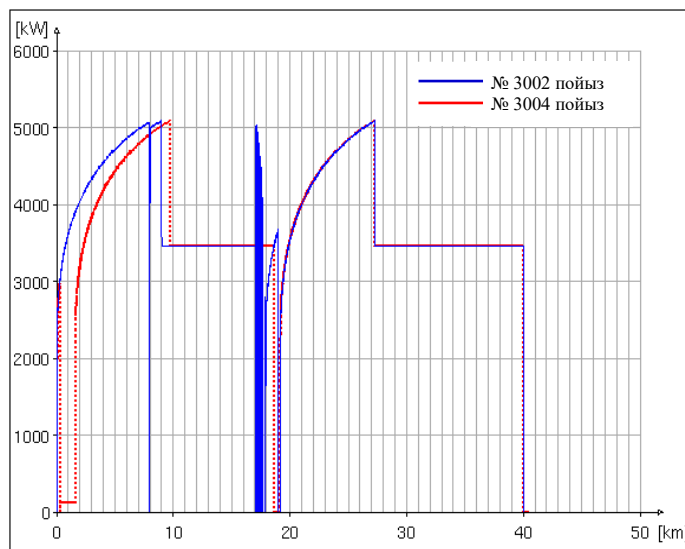
3.27-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының үдеуінің жол қашықтықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.27 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыз үдеуінің жол қашықтықтығына тәуелді графиктері

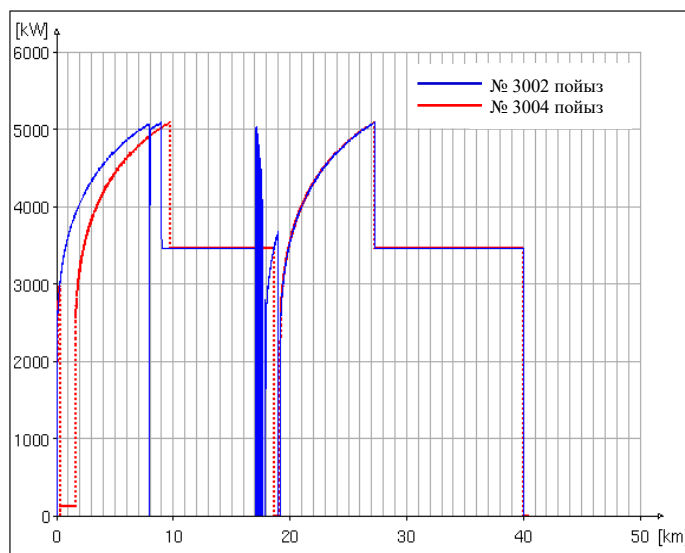
Қорытынды: ЖБТ және ББТ кезінде № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының үдеулері жүрілген жол қашықтықтығына тәуелді кейбір өзгерістерге ие, яғни ЖБТ кезінде № 3002 пойызының үдеуінің ББТ салыстырғанда жолдың 18 шақырымында күрт өзгергендігін көруге болады.

3.28-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының механикалық энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.28 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыздың механикалық энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

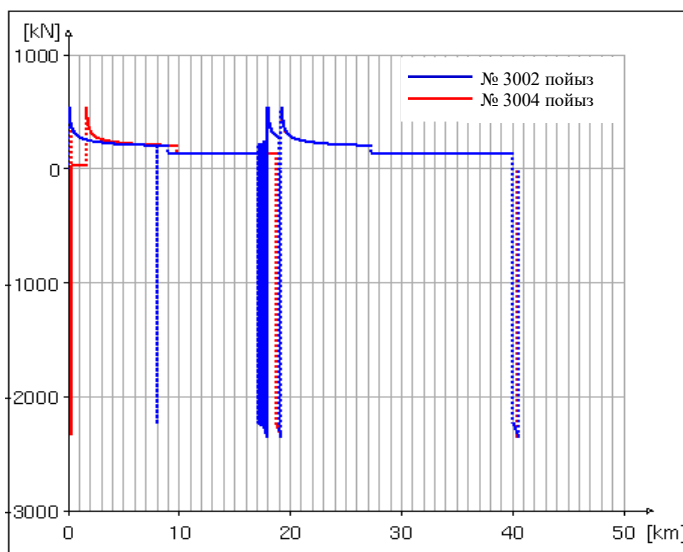
3.29-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының механикалық энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.29 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыздың механикалық энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

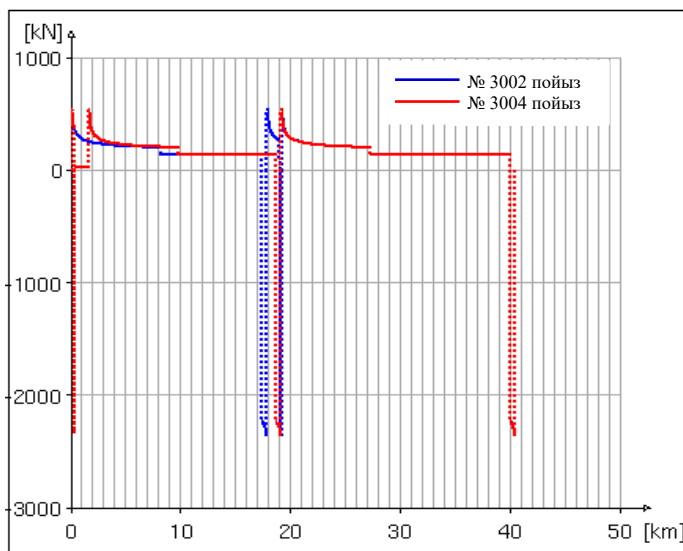
Қорытынды: ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ және ББТ қолдану кезінде пойыздар бірдей энергия тұтынады.

3.30-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының тартым күшінің жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.30 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыздың тартым күшінің жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

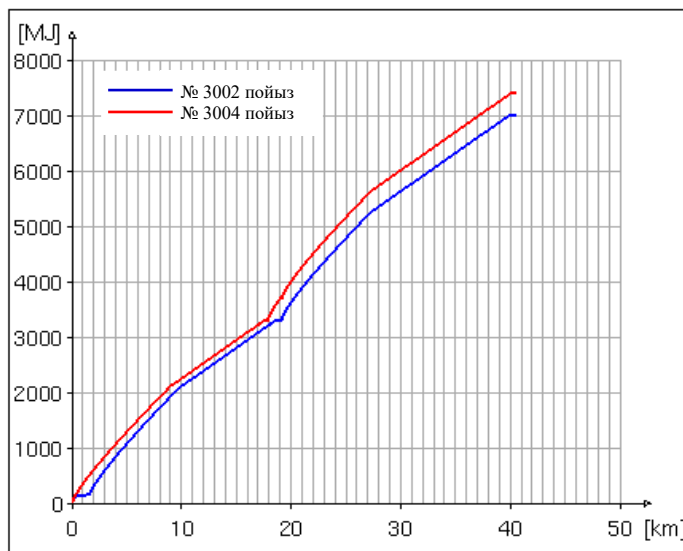
3.31-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының тартым күшінің жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.31 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыздың тартым күшінің жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

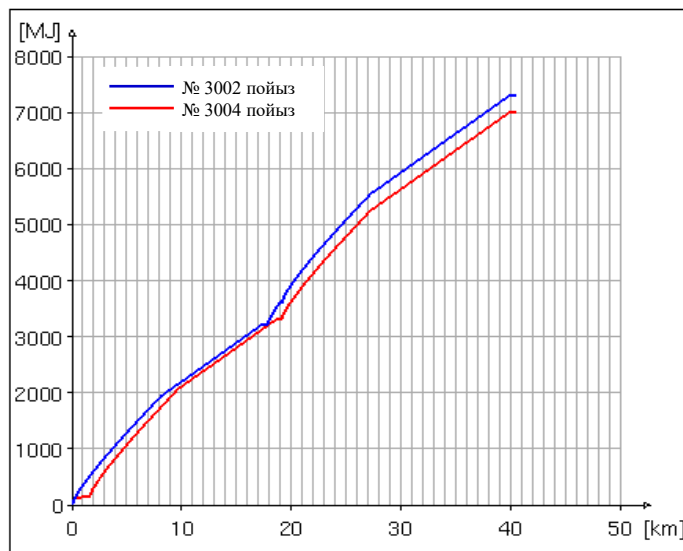
Қорытынды: Графиктер ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ және ББТ қолданған кезінде тартым күшінің № 3002 және № 3004 пойыздары үшін кейбір ерекшеліктердің бар екендігін көрсетті, яғни ЖБТ кезінде № 3002 пойыздың тартым күші жолдың 8 шақырымында өзгерген.

3.32-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының жұмсаған энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.32 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыздардың жұмсаған энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

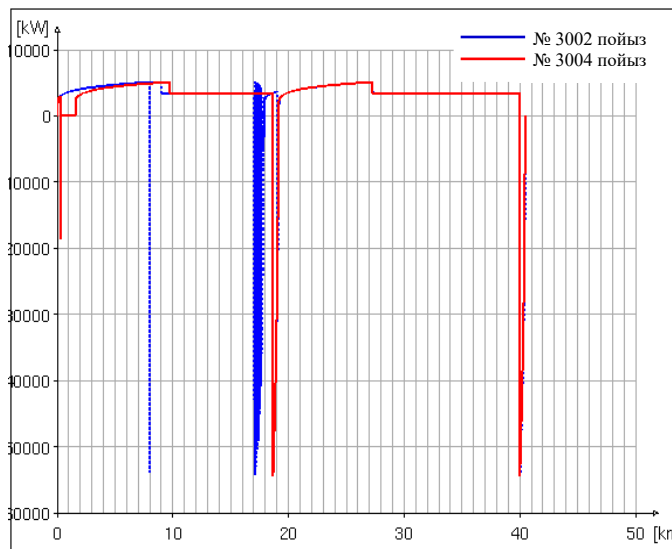
3.33-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының жұмсаған энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.33 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыздардың жұмсаған энергиясының жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

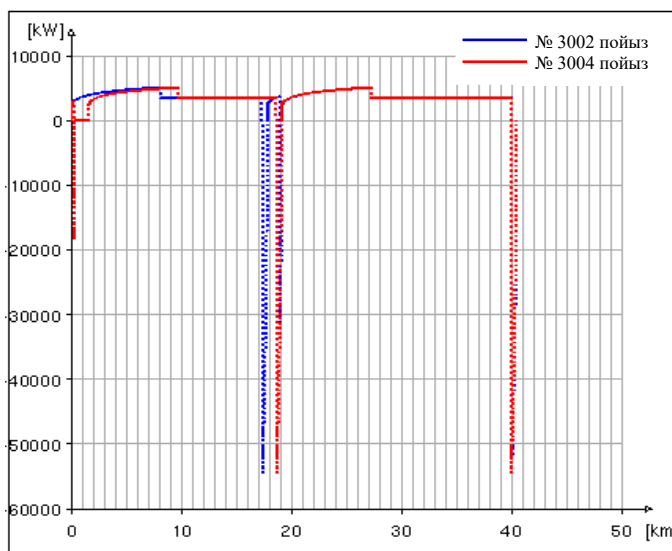
Қорытынды: ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ және ББТ қолданған кезінде пойыздар бірдей энергия жұмсайды.

3.34-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының механикалық энергиясының пойыздың жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.34 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыздардың механикалық энергиясының пойыздың жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

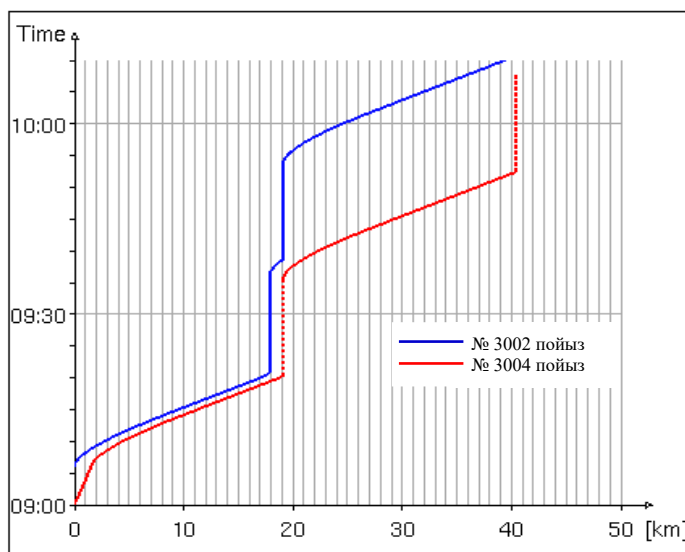
3.35-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының механикалық энергиясының пойыздың жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.35 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыздардың механикалық энергиясының пойыздың жүріп өтілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

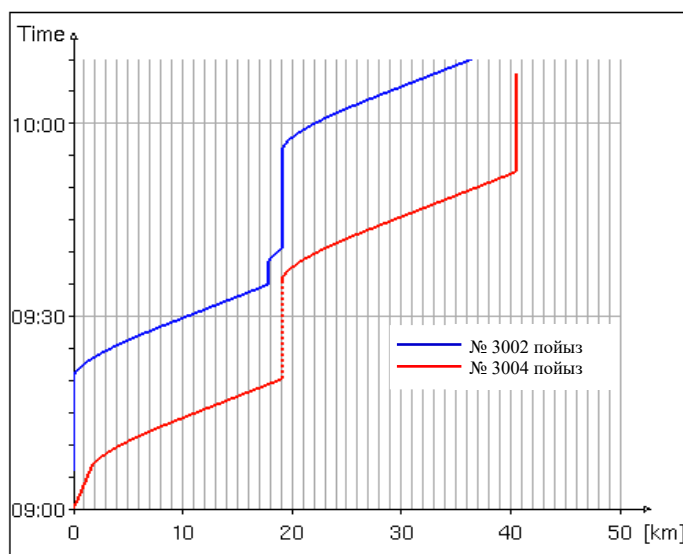
Қорытынды: ПҚИР технологиялары ретінде ЖБТ және ББТ қолдану кезінде пойыздар бірдей механикалық энергия жұмсайды.

3.36-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ЖБТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс уақытының жүрілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.



Сурет 3.36 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ЖБТ қолданған кездегі пойыздардың қозғалыс уақытының жүрілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

3.37-суретте ПҚИР технологиясы ретінде ББТ қолдану кезіндегі № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс уақытының жүрілген жол қашықтығына тәуелді графиктері көрсетілген.

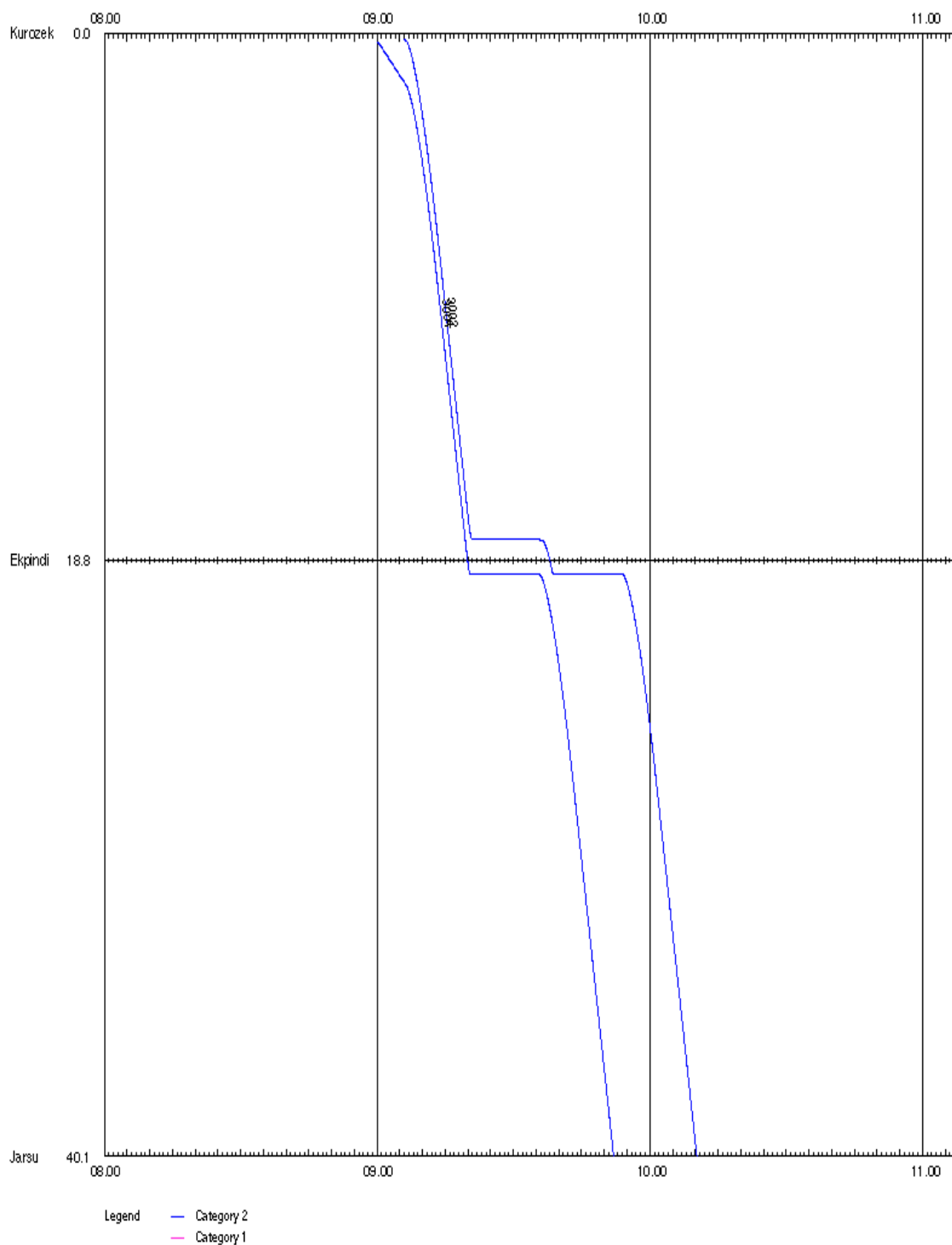


Сурет 3.37 – № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының ББТ қолданған кездегі пойыздардың қозғалыс уақытының жүрілген жол қашықтығына тәуелді графиктері

Қорытынды: ПҚИР технологиясы ретінде ББТ қолданған кезінде № 3002 пойыз қозғалысы тек 22 минутта ғана орындала бастады.

OpenTrack пойыздардың қозғалысын график түрінде бағалауды ұсынады. 3.38-суретте жылжымалы блок-телімдер әдісімен қозғалысты ұйымдастырудың Құрөзек-Жарсу темір жол желісі үшін модельденетін № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс графигі көрсетілген.

Kurozek - Jarsu



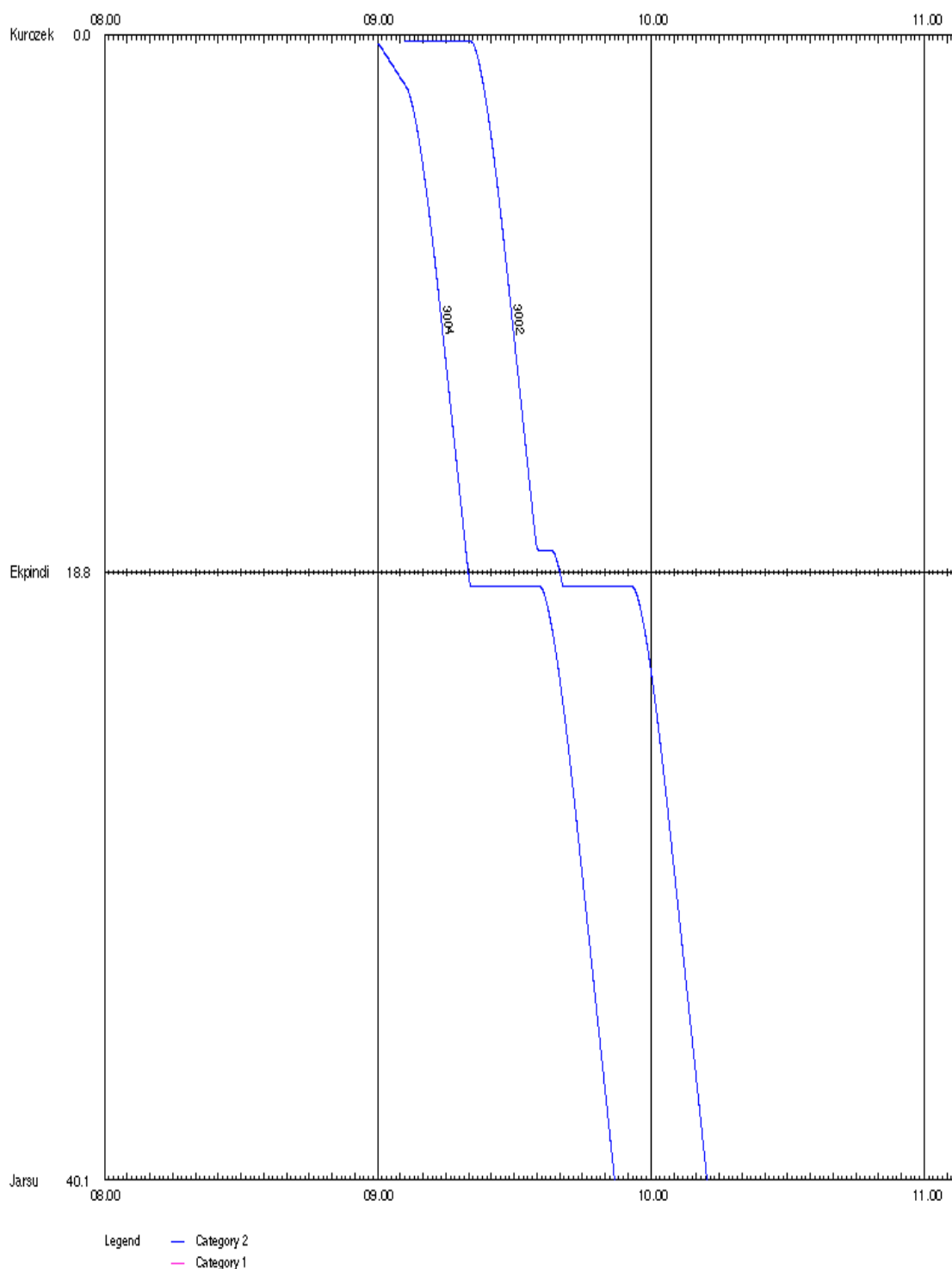
Сурет 3.38 – Жылжымалы блок-телімдерді қолдану кезіндегі пойыздардың қозғалыс графигі

Ескерту – Зерттелетін телім үшін OpenTrack негізінде автормен құрастырылған



3.39-суретте бекітілген блок-телімдер әдісімен қозғалысты ұйымдастырудың Күрөзек-Жарсу темір жол желісі үшін модельденетін № 3002 және № 3004 жүк пойыздарының қозғалыс графигі көрсетілген.

Kurozek - Jarsu



Сурет 3.39 – Тіркелген блок-телімдерді қолдану кезіндегі пойыздардың қозғалыс графигі

Ескерту – Зерттелетін телім үшін OpenTrack негізінде автормен құрастырылған

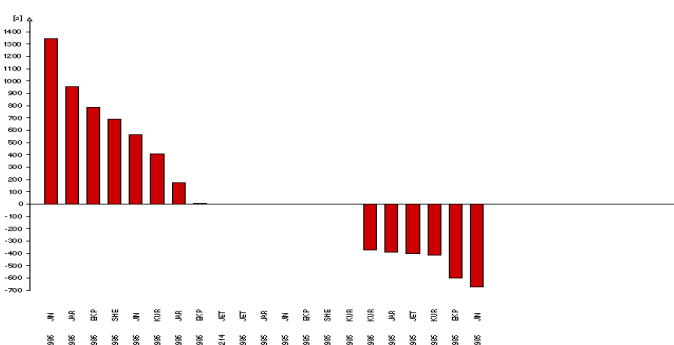
3.38-суретте келтірілген пойыздар қозғалысының кестесі бойынша жылжымалы блок-телімдер әдісімен қозғалысты ұйымдастыру кезінде пойыздар арасындағы аралықтың қысқаруын көруге болады. Пойыз аралық интервалдардың қысқаруымен телімнің өткізу қабілеті артады, отын үнемделеді, жүктерді жеткізу уақыты қысқарады. OpenTrack ортасында құрылатын пойыздар қозғалысының кестесі модельдеу барысында енгізілген инфрақұрылым, жылжымалы құрам және бекітілген пойыздардың қозғалыс кестесін ескерумен модельдеу нәтижесінде жасалынады.

Модель негізінде алынған қозғалыс кестесі бекітілген кестемен сәйкес келмейді, өйткені осы кестеде зерттелетін телімнің өткізу қабілеттілігі төмендеген аймақтар анықталады. Осы ақпараттың негізінде тиісті шаралар қолданылып, тасымалдау үрдісін жетілдіру шаралары жүзеге асырылады.

OpenTrack ортасында модельдеу нәтижелері ASCII мәтіндік файлдары ретінде сақталады және оларды мәтіндік редакторлар немесе MS-Excel сияқты электрондық кесте бағдарламалары арқылы өңдеуге болады.

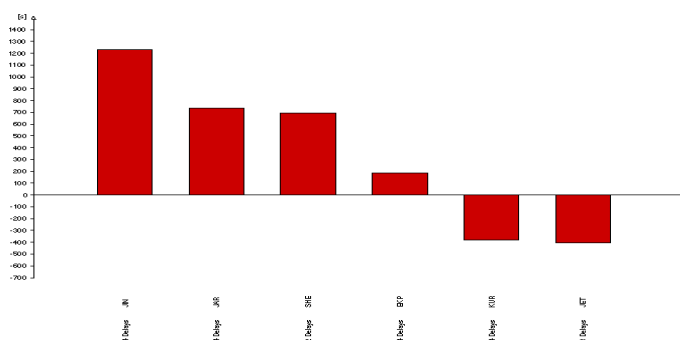
Зерттелетін телімді модельдеу нәтижесінде алынған әр түрлі тәуелділіктердің графиктері темір жол телімінде пойыздардың қозғалысын тиімді ұйымдастыру үшін пойыздың параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, OpenTrack ортасында модельдеу барысында телім бойынша пойыздардың қозғалысын ұйымдастыру кезінде пойыздардың кешігуін анықтайтын әртүрлі диаграммалар алынды (3.40-3.42-суреттер).



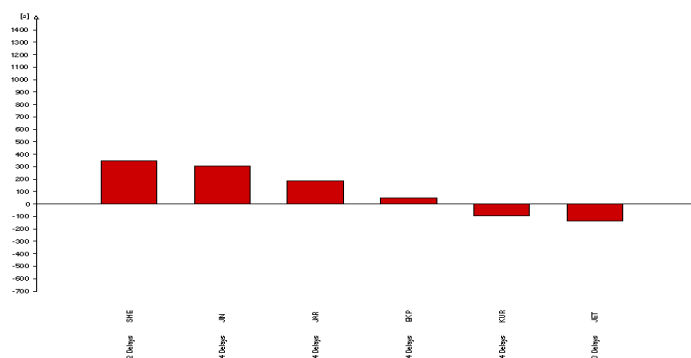
Сурет 3.40 – Барлық пойыздардың кешігу диаграммасы

Ескерту – Зерттелетін телім үшін OpenTrack негізінде автормен құрастырылған



Сурет 3.41 – Пойыздардың кешігуінің жалпы уақыты

Ескерту – Зерттелетін телім үшін OpenTrack негізінде автормен құрастырылған



Сурет 3.42 – Әрбір бекет бойынша кешігу уақыты

Ескерту – Зерттелетін телім үшін OpenTrack негізінде автормен құрастырылған

[83] сілтемесінде диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша OpenTrack ортасында әзірленген және зерттелген темір жол телімін модельдеу нәтижелерінің ASCII форматындағы мәтіндік файлдары сақталған.

### Бөлім бойынша қорытынды

Пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің бекітілген және жылжымалы блок-телімдер қолданған әдістерін бір ПҚИР жүйесінде жүзеге асыру темір жол телімінің өткізу қабілетін арттыруға мүмкіндік береді, өйткені кез-келген сәтте сенімді түрде екі әдістің бірімен пойыздардың қозғалысын кепілдендірілген интервалды реттеу ұсынылады.

Бұл бөлімде Қазақстан арқылы контейнерлік пойыздарды өткізу үшін қолданылатын маңызды Достық-Жезқазған-Илецк транзиттік дәлізінің AnyLogic ортасында имитациялық моделі әзірленді. Күтілетін нәтиже қозғалысты шектеу телімдерін анықтау болды және модельдеу барысында Жезқазған-Сексеуіл телімдері екендігі анықталып, телім бойынша пойыздардың қозғалыс жылдамдығының төмендеу себептері зерттелді.

Сонымен қатар, диссертациялық жұмыстың осы бөлімінде Қытайдан Еуропаға контейнерлік пойыздарды транзиттік өткізудің негізгі дәліздерінің бірі ретінде және жылжымалы блок-телімдер тұжырымдамасын іске асыратын пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесін пайдаланатын Жетіген-Алтынкөл телімінің өткізу қабілетін айқындау мақсатында OpenTrack микроскопиялық бағдарламалық өнімінің базасында темір жол телімінің компьютерлік моделі әзірленді. Модельдеу барысында ұзындығы 40 км болатын Құрөзек-Жарсу телімінде ЖБТ және ББТ технологиялары негізінде пойыздардың қозғалысы ұйымдастырылды. Зерттеу нәтижелерінде алынған әртүрлі тәуелділік кестелері мен модельденген пойыздардың қозғалыс кестелері диссертациялық жұмыста ұсынылатын пойыздар қозғалысын ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделінің тиімділігін көрсетті.

Бұл бөлімде келтірілген зерттеулердің нәтижелері [84], [85], [86], [87] жарияланған және 3.4 бөлімде келтірілген графиктер автордың зерттеулері нәтижесінде алынған.

## 4 ЖЫЛЖЫМАЛЫ ҚҰРАМ СИПАТТАМАЛАРЫНЫҢ ПОЙЫЗДАР ҚОЗҒАЛЫСЫН ИНТЕРВАЛДЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТИІМДІЛІГІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

### 4.1 Локомотив электржетегін бейсызықты басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау

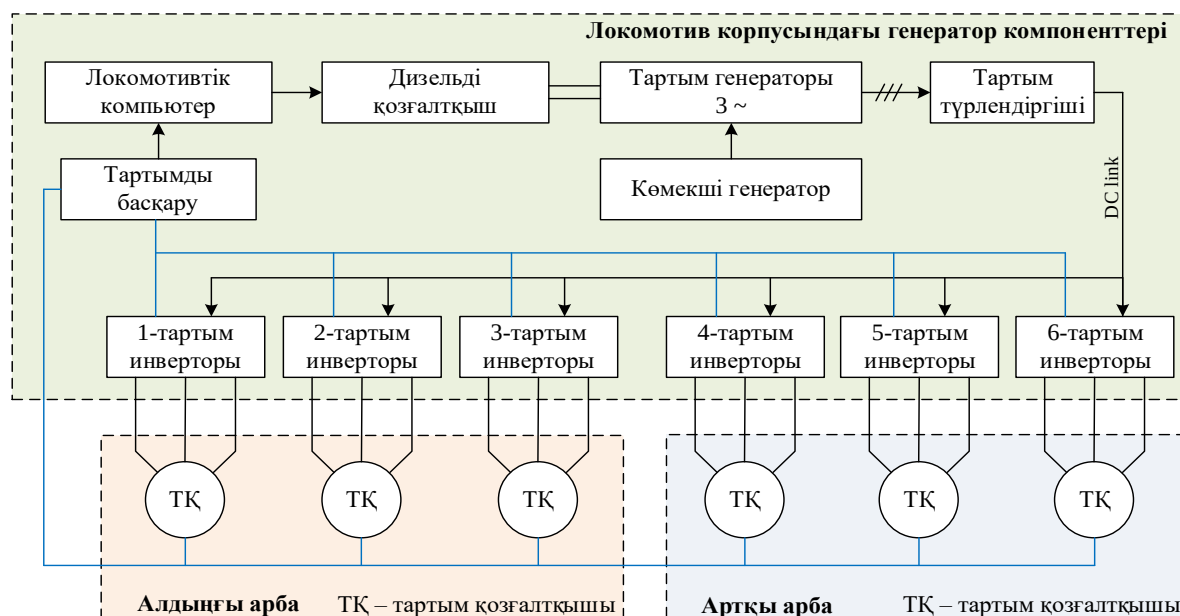
Диссертациялық жұмыстың үшінші бөлімінде OpenTrack микроскопиялық бағдарламалық ортасы қолданылып жүргізілген зерттеулерден моделдеу үрдісінде локомотив және оның параметрлерінің маңызды екендігін көруге болады. Олай болса осы бөлімде OpenTrack ортасындағы моделде қолданылған ТЭ33А локомотивінің тартым электржетегін зерттеу және оны басқару жүйесін жетілдіру сұрақтары қарастырылған.

ТЭ33А тепловозы GE Transportation компаниясының [88] Evolution ES44ACi локомотивтер сериясы негізінде әзірленген, тепловоздың сипаттамасы [89] ұсынылған.

ТЭ33А тепловозы Қазақстанның электрленбеген темір жол желілерінде жүк пойыздарының тартымы үшін пайдаланылады.

ТЭ33А тепловозы – локомотивтің тартым электрқозғалтқыштарын қоректендіретін дизель-генератор ретінде қызмет атқаратын жеке күштік қондырғысы бар локомотив болып табылады.

ТЭ33А тепловозының электр тартымының құрылымдық сұлбасы 4.1-суретте көрсетілген және бұл тепловоз дөңгелектік жұптарының тартымын жеке реттеу жүйесі бар АС – АС топологиясына жатады.

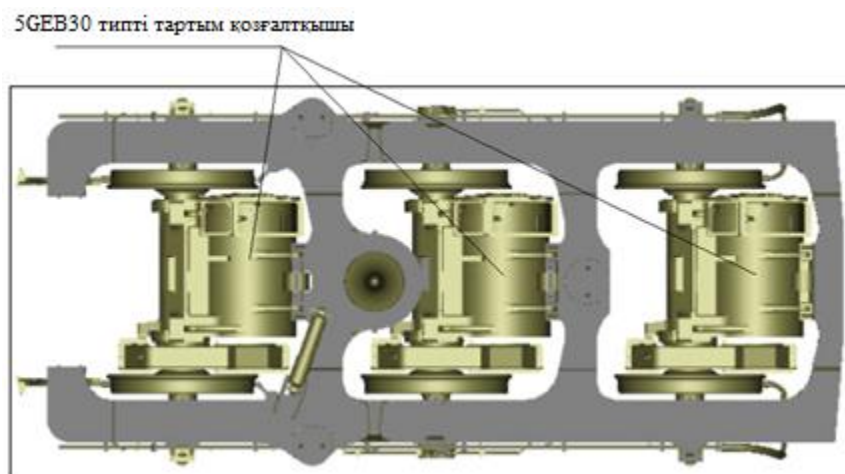


Сурет 4.1 – Дөңгелек жұптары жеке басқарылатын ТЭ33А тепловозының электр тартымының сұлбасы

Ескерту – Зерттелетін материал негізінде автормен құрастырылған

Құрылымы бойынша ТЭ33А локомотиві үш осы бар екі арбадан тұрады,

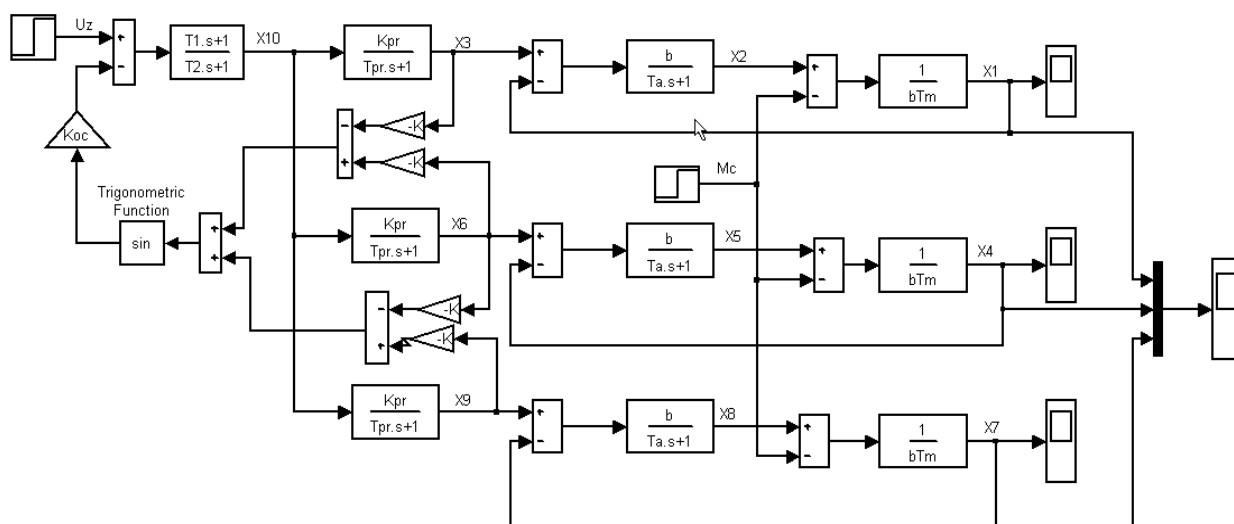
мұнда әрбір дөңгелек жұбында 5ГЕВ30 типті асинхронды тартым қозғалтқышы орналасқан (4.2-сурет).



Сурет 4.2 – ТЭ33А арбасында тартым қозғалтқыштарының орнатылуы

Сол себепті, ТЭ33А тепловозының айнымалы тоқтағы көпқозғалтқышты электржетегін бейсызықты басқару жүйесін жобалаудың бірінші кезекті мәселелерінің бірі басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау болып табылады. Бұл мәселе басқару жүйесінің орнықтылығын анықтаудың белгілі әдістермен шешілуі мүмкін [90, 91].

Бірақ, бұл мәселені MATLAB математикалық жүйесі арқылы сәтті шешуге болады және қозғалтқыштардың жылдамдықтары мен олардың келісуінің сапалы өтпелі үрдістерін қамтамасыз ететін ТЭ33А тепловозының көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің MATLAB ортасында әзірленген құрылымдық сұлбасы 4.3-суретте келтірілген.



Сурет 4.3 – Үздіксіз басқару жүйесі бар үш қозғалтқышты асинхронды электржетектің құрылымдық сұлбасы

Ескерту – MATLAB бағдарламасы негізінде автормен құрастырылған

4.3-суретте көрсетілген құрылымдық сұлба ТЭ33А тепловозының бір арбасы үшін құрылған, мұндағы әрбір қысқа тұйықталған роторлы асинхронды тартым қозғалтқышы (АҚ) жылдамдық бойынша кері байланыспен қамтылған  $W_1(s) = 1/(bTm)$  және  $W_2(s) = b/(T_a s + 1)$  беріліс функциялары бар сызықты құрылымдық сұлбадан [40, 41],  $W_3(s) = K_{PR}/(T_{PR} s + 1)$  беріліс функциясы бар жиілік түрлендіргішінен (ЖТ) және  $W_{10}(s) = (T_1 s + 1)/(T_2 s + 1)$  беріліс функциясы бар жылдамдық реттеуішінен тұрады. Қозғалтқыштардың жылдамдығын келістіру үрдісін қамтамасыз ету үшін әрбір ЖТ кернеу бойынша кері байланыстар енгізілген.  $(y = \sin(x))$  функциялы бейсызықты буын электржетектің жылдамдықтар мен моменттердің өтпелі үрдістерінің жеткілікті сапасын қамтамасыз етеді. Сұлбада келесідей белгілеулер қабылданған [92]:

$b$  – АҚ сызықтық механикалық сипаттамасының қаттылық модулі;

$Tm$  – электромеханикалық уақыт тұрақтысы;

$Ta$  – АҚ статоры мен ротор тізбегінің электромагнитті уақыт тұрақтысы;

$Kpr$  – жиілік түрлендіргішінің беріліс коэффициенті;

$Tpr$  – жиілік түрлендіргішін басқару тізбегінің уақыт тұрақтысы.

MATLAB жүйесі арқылы тепловоздың көпқозғалтқышты электржетегін басқарудың бейсызықты жүйесінің орнықтылығын анықтау үшін 4.3-суреттегі құрылымдық сұлбаның беріліс функциялары негізінде символдық түрдегі алгебралық теңдеуді алу қажет. Онда символдық түрдегі алгебралық теңдеу келесідей түрде болады:

$$\begin{aligned} X_1 - W_1 X_2 &= 0, \\ X_1 + (1/W_2) X_2 - X_3 &= 0, \\ X_3 - W_3 X_{10} &= 0, \\ X_4 + (1/W_5) X_5 - X_6 &= 0, \\ X_6 - W_6 X_{10} &= 0, \\ X_7 - W_7 X_8 &= 0, \\ X_7 + (1/W_8) X_8 - X_9 &= 0, \\ X_9 - W_9 X_{10} &= 0, \end{aligned} \tag{4.1}$$

Мұндағы  $W_i$  – асинхронды қозғалтқыштардың және жиілік түрлендіргіштерінің беріліс функциялары;

$X_1, X_4, X_7$  – асинхронды қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдықтары;

$X_2, X_5, X_8$  – асинхронды қозғалтқыштардың электромагниттік моменттері;

$X_3, X_6, X_9$  – жиілік түрлендіргіштерінің шығысындағы кернеу.

Жылдамдық реттеуіші мен көпқозғалтқышты электржетектің арасындағы символдық түрдегі байланыс теңдеуін  $y = \sin(x)$  бейсызықты буынын Тейлор дәрежелік қатарының екі мүшесімен  $(x - (1/6) \cdot x^3)$  [44] алмастыруды ескере отырып, келесі түрде жазуға болады:

$$(1/w_{10}) \cdot x_{10} = U - k_{oc} \cdot \text{sign}((k_2 x_9 - k_1 x_3) - (k_2 x_9 - k_1 x_3)^3) \quad (4.2)$$

Басқару жүйесінің орнықтылық мәселесін MATLAB арқылы шешу ыңғайлы болу үшін (4.2) теңдеуді төмендегідей түрде көрсетеміз:

$$(1/w_{10}) \cdot x_{10} + k_{oc} \cdot \text{sign}((k_2 x_9 - k_1 x_3) - q \cdot (k_2 x_9 - k_1 x_3)^3) - U = 0 \quad (4.3)$$

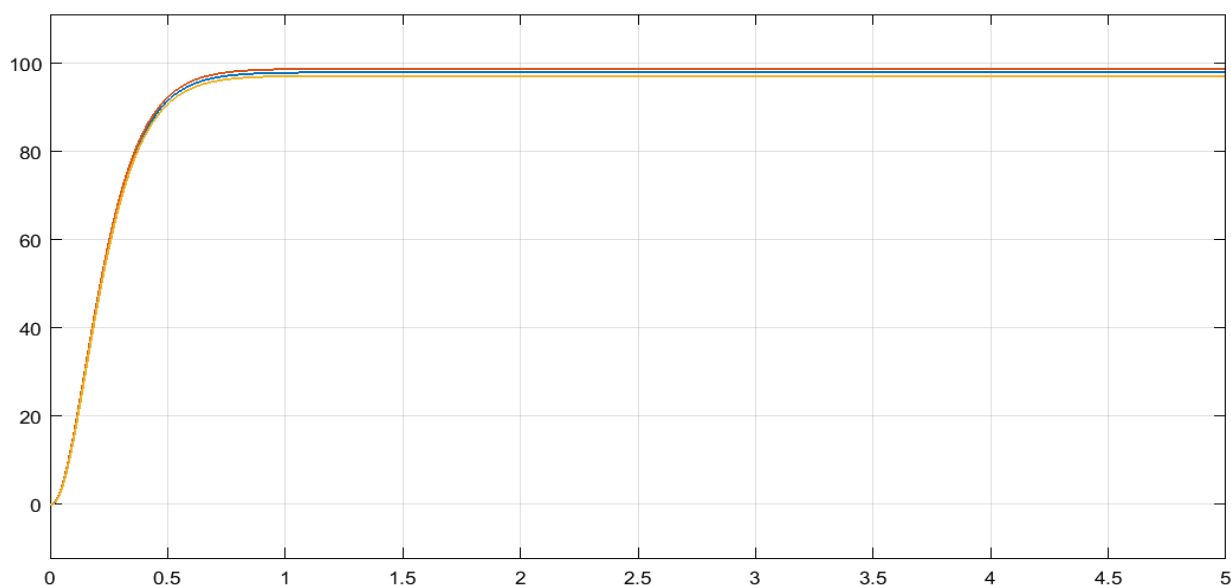
Мұндағы  $k_2, k_1$  – коэффициенттер;  
 $k_{oc}$  – кері байланыс коэффициенті;  
 $q$  – Тейлор дәрежелік қатарының екінші мүшесінің коэффициенті,  $q = 0.166$ ;

$x_{10}$  – жылдамдық реттеуішінің шығысындағы кернеу.

ТЭ33А тепловозының тартым қозғалтқыштарының келісімді айналуының өтпелі үрдісі 4.4-суретте келтірілген.

(4.2) және (4.3) теңдеулерін қолдана отырып, тепловоз электржетегін басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау бағдарламасы В1 қосымшасында келтірілген.

В1 қосымшасындағы бағдарламаның 2-қатарына W1-ден W10-ға дейінгі символдық объектілер (беріліс функциясының символдары) енгізілген. Бағдарламаның 3-12 қатарларында (4.2) символдық теңдеулер жүйесі мен (4.3) теңдеуі енгізілген.



Сурет 4.4 – Тартым қозғалтқыштарының келісімді айналуының өтпелі үрдісі

Ескерту – Зерттеу нәтижелеріне сәйкес MATLAB негізінде алынған

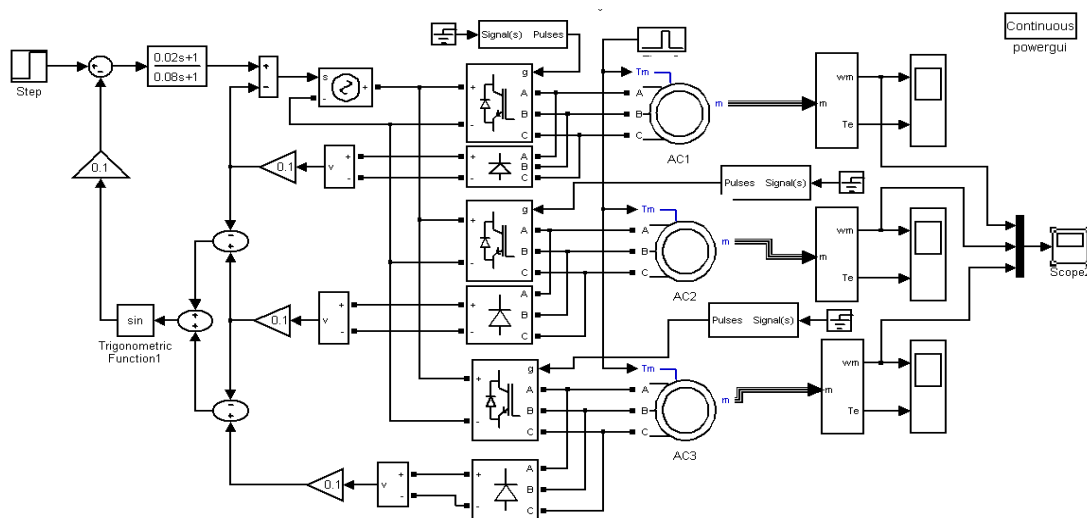
Теңдеулер жүйесін символдық түрде шешу беріліс функциясының әрбір айнымалысын есептейтін MATLAB solve (бағдарлама қатары – 14) функциясымен жүзеге асырылады. Бағдарламаның 15, 16 және 17 қатарларында қозғалтқыш параметрлері мен басқару жүйесінің коэффициенттері көрсетілген. 18-22 қатарлар аралығында 4.3-суреттегі құрылымдық сұлбаның беріліс функциялары көрсетілген. В2 қосымшасында жүйенің беріліс функциясы мен сипаттамалық теңдеудің түбірлері келтірілген.

Жүйенің беріліс функциясының сипаттамалық теңдеуінің түбірі оны есептеу нәтижесінде теріс мәнге ие болды, демек жүйе орнықты [93, 94]. Жүйенің орнықтылығы қозғалтқыштардың статикалық моменті  $M_C = 0$  мәнінде анықталған.

Алайда, жүйенің орнықтылығын анықтайтын бағдарлама жүйе орнықтылығын  $M_C \neq 0$  кезінде де анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда орнықтылықты анықтау бағдарламасы В4 қосымшасында көрсетілген түрде болады.

Жүйенің беріс функциясы және тепловоз электржетегі қозғалтқышының статикалық кезеңін есепке алғандағы беріс функциясының сипаттамалық түбірі В3 қосымшасында ұсынылған. В3 қосымшасында теріс заттық бөлігімен жүйенің беріліс функциясының сипаттамалық түбірлері келтірілген, ол өз кезегінде ТЭ33А тепловозының көп қозғалтқышты электржетегін басқару жүйесінің орнықтылығын дәлелдейді.

В1 және В3 қосымшаларында келтірілген беріліс функцияларының алымы туындылар саны бойынша әр түрлі екенін ескеру қажет. Беруші әсерлер тұрақты емес  $U \neq const$  шарттарында басқару сұрақтарын шешу кезінде жүйе динамикасының теңдеулерінде статикалық моментті ескеру қажет болады. ТЭ33А тепловозының автоматтандырылған электржетегі қозғалтқыштарының жылдамдықтарының орнықтылығы мен келісуін тексеру виртуалды модель арқылы жүзеге асырылған. 4.5-суретте MATLAB жүйесінің SimPowerSystems кітапханасындағы блоктарды қолдана отырып әзірленген ТЭ33А тепловозы электржетегінің моделі көрсетілген.

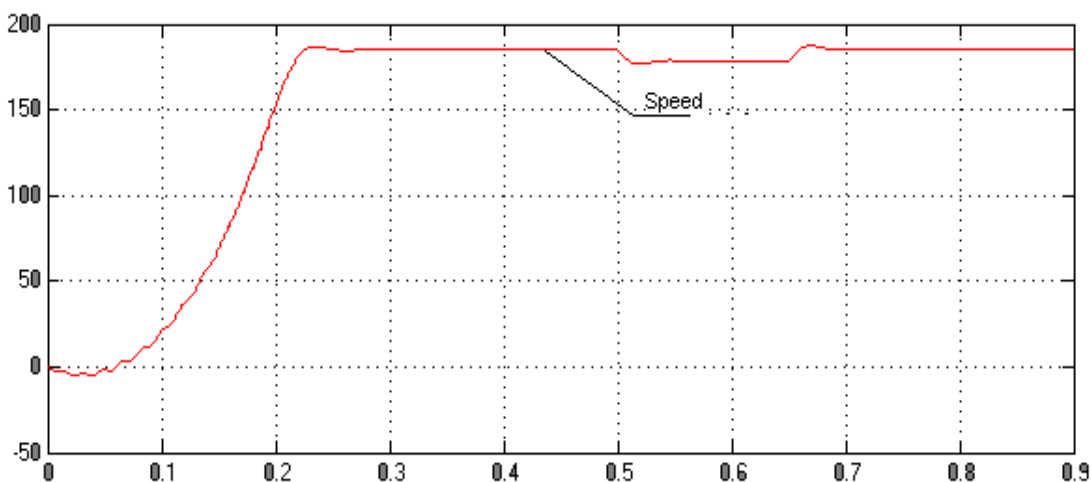


Сурет 4.5 – ТЭ33А тепловозының көпқозғалтқышты электржетегінің виртуалды моделі



4.5-суреттегі виртуалды модель қысқа тұйықталған роторлы (ТЭ33А тепловозының бір арбасында орналасқан үш қозғалтқыш) асинхронды қозғалтқыштардан тұрады. Қозғалтқыштарды қоректендіру дербес инвертор көмегімен орындалған. Барлық инверторларға басқарылатын қорек көзінен кернеу беріледі. Жылдамдықты реттеуіш ретінде инерциялы-интегралдаушы динамикалық буын пайдаланылады. Қозғалтқыштардың жылдамдықтарының сәйкестігін қамтамасыз ету үшін кернеу бойынша кері байланыстар енгізілген. Электржетектердің виртуалды моделінде кернеу бойынша кері байланыс датчиктері ретінде вольтметрлер қолданылады.

Электржетектің асинхронды қозғалтқыштарының жылдамдықтарының өтпелі үрдістері 4.6-суретте көрсетілген. 4.6-суреттен көрініп тұрғандай жылдамдық графиктері жылдамдықтың өтпелі үрдісінің бір қисығымен бейнеленген. Бұдан басқа, жылдамдықтардың өтпелі үрдісінің графигі бойынша автоматтандырылған асинхронды электрқозғалтқыштың қозғалысы орнықты екендігі туралы шешім жасалынды. Жүктеме болған кезде жылдамдықтың төмендеуі келісімді түрде жүзеге асады.



Сурет 4.6 – ТЭ33А тепловоз электржетегінің тартым қозғалтқыштарының жылдамдықтарының өтпелі үрдістері

Электржетектің тартым қозғалтқыштарының өтпелі үрдістерінің жылдамдықтарының графиктері түріндегі және кері заттық бөлігімен қозғалтқыштың статикалық моменттерін ескерумен және ескерусіз жүйенің беріліс функциясының сипаттамалық теңдеулерінің түбірлерін есептеу нәтижелері құрылған модельдің дұрыстығын дәлелдейді.

## 4.2 Локомотивтің асинхронды электржетегін автоматты реттеу жүйесінің параметрлерін синтездеу

Электрқозғалтқыштарды пайдалану кезінде электрлік машиналардың механикалық сипаттамаларын реттеу мәселесі туындайтыны белгілі.

ЭЕМ қолданумен асинхронды электржетекті автоматты реттеу жүйесін (АРЖ) жобалаудың қажет мәселелерінің бірі АРЖ параметрлерін, яғни бейсызықты реттеу жүйелерін синтездеу болып табылады. Үлкен қуаттағы

асинхронды қозғалтқыштың АРЖ құру барысында жылдамдық датчиктерін қолдану көп жағдайда мүмкін бола бермейді [48].

ТЭЗ3А тепловозында асинхронды үш фазалы қысқа тұйықталған электрлік машиналар қолданылған. Электрлік машиналардың бұл типі құрылымы бойынша анағұрлым қарапайым, өңделуі арзан, пайдалануда ең сенімді, қызмет көрсету мен жөндеуде үлкен шығынды қажет етпейді, қуат бірлігіндегі салмағы минималды және ПӘК жоғары [95].

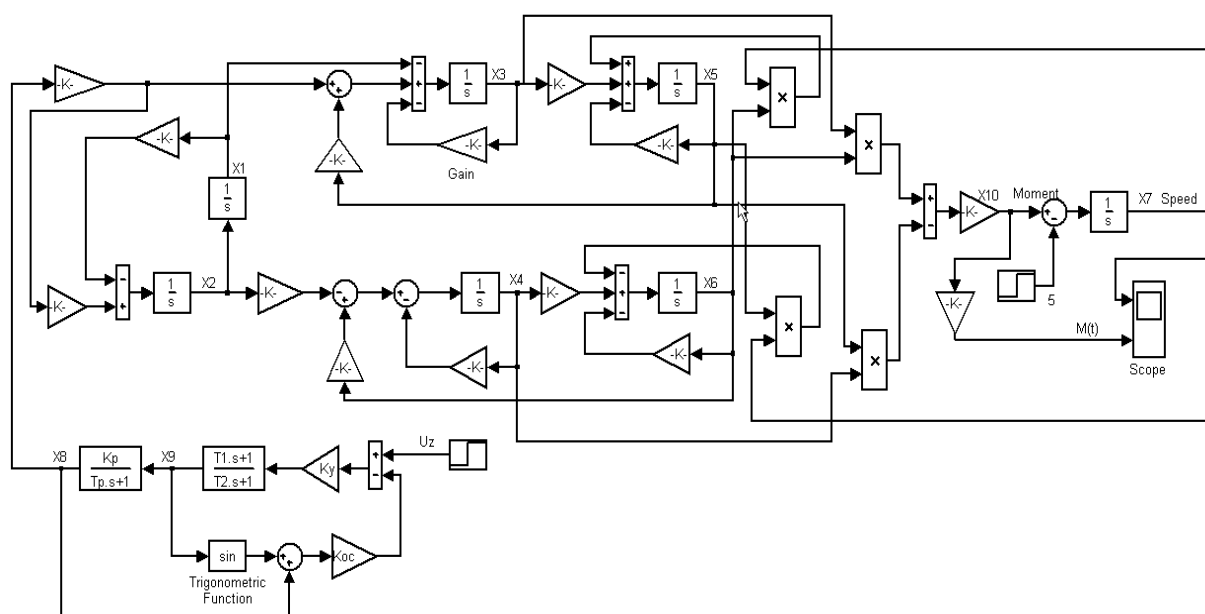
Қысқа тұйықталған роторлы қозғалтқыштың іске қосу сипаттамасы тұрақты жиілік кезінде жылдамдықтың максимал мәніне дейін артуы жағдайында бірқалыпты моментті қамтамасыз етеді.

4.1-кестеде ТЭЗ3А сериялы тепловоздың тартым электрқозғалтқышының негізгі техникалық сипаттамалары көрсетілген [79, б. 61].

Кесте 4.1 – 5ГЕВ30 тартым электрқозғалтқышының негізгі техникалық сипаттамалары

| № | Сипаты                                      | Мәні                 |
|---|---------------------------------------------|----------------------|
| 1 | Қуаты                                       | $\approx 480$ кВт    |
| 2 | Кернеуі                                     | $\approx 900/1200$ В |
| 3 | Ток күші                                    | $\approx 516/362$ А  |
| 4 | Тұрақты қуат кезіндегі айналу жиілігі       | 490/2460 айн/мин     |
| 5 | Пайдалы әсер коэффициенті                   | 91/93,5%             |
| 6 | Қуат коэффициенті ( $\cos \phi$ )           | 91/93,5%             |
| 7 | Фазалардың жалғануы                         | Жұлдызша (Y)         |
| 8 | Ұзақ режимді жұмыс кезіндегі валдағы момент | $\approx 8037,5$ Нм  |
| 9 | Массасы                                     | 2268 кг              |

Simulink-MATLAB ортасында қозғалтқыш статорының кернеуін реттеумен асинхронды электржетектің АРЖ параметрлерін синтездеу мәселесін қарастырамыз. Модельдің құрылымдық сұлбасы 4.7-суретте көрсетілген.



Сурет 4.7 – Асинхронды қозғалтқыш моделінің құрылымдық сұлбасы

Асинхронды қозғалтқыш статорының кернеуін АРЖ моделі екі динамикалық буынмен көрсетілген:

–  $X_8 = U_{ТПН}$  шығыс кернеулі [96] және  $X_9 = U_K$  шығысы бар түзетуші инерциялық буыннан тұратын кернеуді тиристорлық түрлендіру (КТТ) буыны;

– АРЖ кері байланысындағы бейсызықты статикалық буын.

Электржетекті АРЖ параметрлерін синтездеу мәселесін шешу үшін асинхронды электржетектің динамика теңдеуін қолданамыз (4.4):

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_1 x_8 - a_1^2 x_1; \\ \frac{dx_3}{dt} &= x_8 - a_1 x_1 - a_2 x_3 + a_3 x_5; \\ \frac{dx_4}{dt} &= -x_2 - a_2 x_4 + a_3 x_6; \\ \frac{dx_5}{dt} &= -a_4 x_5 + a_5 x_3 + x_6 \cdot x_7; \\ \frac{dx_6}{dt} &= -a_4 x_6 + a_5 x_4 - x_5 \cdot x_7; \\ \frac{dx_7}{dt} &= a_6 * (x_3 \cdot x_6 - x_4 \cdot x_5); \\ \frac{dx_8}{dt} &= (k_P/T_P)x_9 - (1/T_P)x_8; \\ \frac{dx_9}{dt} &= ((k_Z \cdot k_Y)/T_1) \cdot U_Z - ((k_Z \cdot k_Y \cdot k_{OS})/T_1) \cdot x_8 \cdot \text{sign}(x_9) - (1/T_1) \cdot x_9.\end{aligned}\tag{4.4}$$

Мұндағы  $x_1, x_2$  – қозғалтқыш статорының кернеу проекциясы;

$x_3, x_4, x_5, x_6$  – қозғалтқыш статорының ағыны;

$x_7$  – асинхронды қозғалтқыш валының бұрыштық жылдамдығы;

$x_9$  – АРЖ түзетуші буынының айнымалысы.

(4.4) теңдеулер жүйесі АРЖ дифференциалдық теңдеулерінің бейсызықты жүйесі. В6 қосымшасында келтірілген синтездеу бағдарламасы MATLAB алгоритмдік тілінде құрылған.

Бағдарламада параметрлерді синтездеу мәселелерін шешудің келесідей әдістері қолданылды:

–  $V = x_i^2$  ( $i = 1, 9$ ) Ляпуновтың туынды функциясын анықтауды

минимизациялау үшін сканерлеу әдісі [97];

– қозғалтқыштың жылдамдығы мен моментінің өтпелі үрдістерін есептеу үшін Рунге-Кутте дифференциалды теңдеулерді шешу әдісі [98].

Асинхронды электржетектің АРЖ параметрлерін синтездеу мәселелерін есептеу процедурасы келесідей:

1. MATLAB ортасында құрылған бағдарламаның 6-шы қатарында алғашқы мәндер енгізіледі.

2. *for* операторынан кейін (7-қатар) келесілер енгізіледі (9-13 аралығындағы бағдарлама қатарлары): төменгі ( $a_i$ ) және жоғарғы ( $b_i$ ) шекараларды ескерумен  $k_p, k_z, k_y, k_{os}, T_1$  зерттелетін параметрлерінің кездейсоқ сандық мәндері және сканерлеу әдісінің алғашқы мәндері. 14-қатардан 45-қатарға дейін бағдарлама қатарларында сканерлеудің сандық әдісі (Ляпунов функциясының туындысын минимизациялау бағдарламаның 31-39 қатарлары) жүзеге асырылады.

3. Әрбір айнымалы бойынша таңбасы анықталған функцияның  $V$  (Ляпунов функциясы) ішінара туындысын есептеу және оның толық туындысының минимумын анықтау (бағдарламаның 20-26 қатарлары).

4. Бағдарламаның 65-75-қатарларында өтпелі үрдістер динамикасының дифференциалдық теңдеулерінің айнымалыларының сандық мәндері есептелінеді.

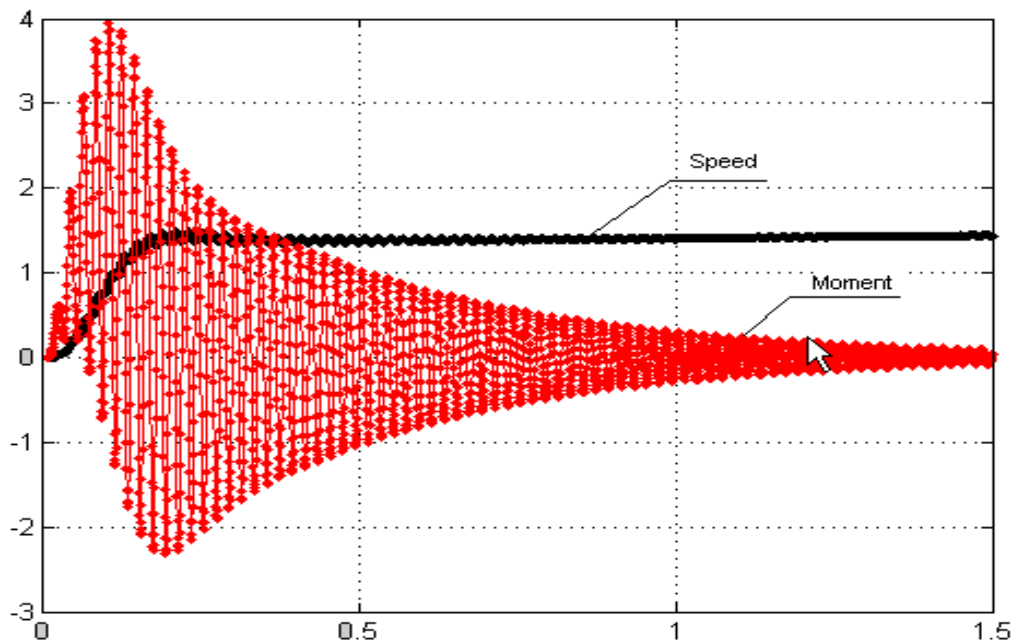
5. АРЖ ізделетін параметрлерінің сандық мәндерін және қозғалтқыштың өтпелі үрдісінің дифференциалдық теңдеуінің санағы аяқталған кезде асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы мен моментінің өтпелі үрдістерінің графиктерін экранға шығару.

Бұдан басқа, момент графигін алу үшін синтез бағдарламасында дифференциалды теңдеу жүйесіне  $dx_{10}/dt$  қозғалтқыштың электромагнитті моменті туындысының қосымша қатары енгізілген. Синтез бағдарламасын есептеу барысында алынған автоматты реттеу жүйесінің параметрлерінің сандық мәндері 4.2-кестеде, ал өтпелі үрдістің графиктері 4.8-суретте көрсетілген:

Кесте 4.2 – Сандық мәндердің синтезі нәтижелері

| №                                                                   | Параметрлер | Мәндер  |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|---------|
| 1                                                                   | $K_p$       | 10,4592 |
| 2                                                                   | $K_y$       | 7,8961  |
| 3                                                                   | $k_{os}$    | 0,1792  |
| 4                                                                   | $T_1$       | 0,2508  |
| 5                                                                   | $T_2$       | 0,4303  |
| Ескерту – Кесте зерттелген материалға сәйкес автормен құрастырылған |             |         |

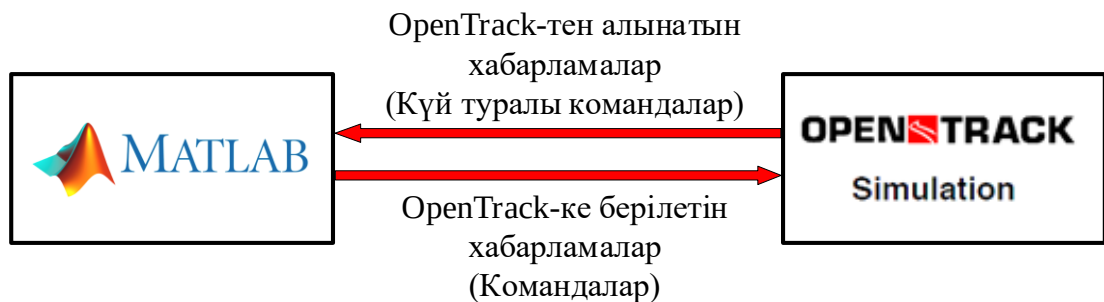
Синтез бағдарламасы нәтижесінде алынған  $k_p, k_z, k_y, k_{os}, T$  параметрлері асинхронды электржетекті автоматты реттеу жүйесінің орнықтылығын қамтамасыз етеді, ол жылдамдықтың өтпелі үрдісінің графигімен және асинхронды қозғалтқыш моментімен мақұлданды.



Сурет 4.8 – Тартым қозғалтқышының өтпелі үрдістерінің графигі

### 4.3 Моделдеу нәтижелерін интеграциялау мүмкіндіктері

Диссертациялық жұмыстың бұл бөлімінде алынған моделдеу нәтижелерін 4.9-суретке сәйкес OpenTrack ортасын API (Application Programming Interface) интерфейсі арқылы MATLAB ортасымен байланыстыру мүмкіндігі бар.



Сурет 4.9 – OpenTrack және MATLAB бағдарламаларының API арқылы байланысу тәртібі [99]

Әр түрлі екі бағдарламалық өнімдер көмегімен алынған (бұл жағдайда OpenTrack және MATLAB) моделдеу нәтижелерін API интерфейсі арқылы бір-біріне беру, зерттеу мәселесін одан әрі тереңдетіп, жаңа нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

OpenTrack ортасынан берілетін хабарламаларға бекетке пойыздардың келуі, жөнелтілуі және олардың статустары жатады. Ал OpenTrack ортасына қабылданатын хабарламаларға телімдегі пойыз жылдамдығының артуын, қозғалыс кестесінің өзгеруін, диспетчерлердің шешімдерін жатқызуға болады.

Төменде API интерфейсін HTTP хаттамасы бойынша SOAP (Simple Object

Access Protocol) көмегімен ұйымдастыру кодының мысалы келтірілген [99].

POST /otd HTTP/1.1

Host: localhost

SOAPAction:

Connection: close

Content-Type: text/xml; charset=us-ascii

Content-Length: 238

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<SOAP-ENV:Envelope xmlns:SOAPENV="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">

<SOAP-ENV:Body>

! <trainDeparture trainID="IC4001" stationID="BD" time="36520" />

</SOAP-ENV:Body>

</SOAP-ENV:Envelope>

Диссертациялық зерттеу аясында бағдарламаларды интеграциялаудың мұндай шешімдері қазіргі таңда «Railway Simulation» зертханасындағы OpenTrack бағдарламасының API бойынша лицензиясының болмауына орай кейінгі зерттеулерде қарастырылмақ.

### **Бөлім бойынша қорытынды**

1. Диссертациялық жұмыс тақырыбын кешенді зерттеу мақсатында MATLAB моделдеу ортасын қолдану арқылы локомотив электржетегін бейсызықты басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау моделі әзірленіп, нәтижесінде тартым қозғалтқыштарының жылдамдықтарының және моменттерінің келісілген режимдерін алуға мүмкіндік беретін өтпелі үрдістерінің сипаттамасы алынды.

2. MATLAB моделдеу ортасында асинхронды қозғалтқыш моделінің құрылымдық сұлбасы, автоматты реттеу жүйесінің дифференциалдық теңдеулері әзірленіп, локомотивтің асинхронды электржетегін автоматты реттеу жүйесінің параметрлерін синтезі қарастырылды, синтез бағдарламасы нәтижесінде алынған  $k_p, k_z, k_y, k_{os}, T$  параметрлері автоматты реттеу жүйесінің орнықтылығын қамтамасыз ететіндігі өтпелі үрдіс графиктерімен дәлелденді.

3. MATLAB моделдеу ортасында алынған зерттеу нәтижелерін OpenTrack моделдеу ортасына беру және одан қабылдау принциптерін жүзеге асыру үшін API интерфейсі нәтижесінде интеграциялау мүмкіндіктері баяндалды.

4. Бұл бөлімде келтірілген зерттеулердің нәтижелері [100], [101] жарияланған.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмысты орындау барысында келесі нәтижелерге қол жеткізілді:

1. Диссертациялық жұмыстың бірінші бөлімінде әлем бойынша қолданыстағы пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаттық жүйелеріне талдау жасалынып, «ҚТЖ» ҰК» АҚ темір жол желісіндегі пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің қолданыстағы жүйелерінің қазіргі жағдайы зерттелді. Сонымен қатар «ҚТЖ» ҰК» АҚ магистраль темір жол желілерінде СИРДП-Е пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесін пайдалану тәжірибесі талданып, жүйенің негізгі құрамдас бөлігі ретінде байланыс аппаратурасының құрамын жаңғырту мақсатында жүргізілген зерттеу нәтижелері сипатталды, пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйелерінде орын алатын байланыс жүйелерінің себептері келтірілді.

2. Диссертациялық жұмыстың екінші бөлімінде байланыс арналарында ақаулар болған кезде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық принциптерін жалғастыра отырып, телімнің өткізу қабілетін арттыру мақсатында жүйенің байланыс арнасын DAS технологиясы негізінде резервтеудің техникалық шешімі әзірленіп, DAS технологиясын темір жол инфрақұрылымымен байланысу жағдайлары қарастырылды. Сонымен қатар пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің координаталық жүйесінің ұсынылып отырған оңтайлы және қауіпсіз моделінің дұрыстығын тексеру үшін MATLAB ортасында модель құрылып, моделдеу нәтижелері байланыс арналарын резервтеу, солардың ішінде талшықты-оптикалық байланыс жолының сыртқы шуылдарға орнықты екендігін көрсетіп, жылжымалы құрам жылдамдығының ең үлкен шамасын алуға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

3. Диссертациялық жұмыстың үшінші бөлімінде пойыздар қозғалысын интервалды реттеудің бекітілген және жылжымалы блок-телімдер қолданған әдістерін бір ПҚИР жүйесінде жүзеге асыру темір жол телімінің өткізу қабілетін арттыруға мүмкіндік береді, өйткені кез-келген сәтте сенімді түрде екі әдістің бірімен пойыздардың қозғалысын кепілдендірілген интервалды реттеуге мүмкіндік болады. Қазақстан арқылы контейнерлік пойыздарды өткізу үшін қолданылатын тағы бір маңызды Достық-Жезқазған-Илецк транзиттік дәлізінің имитациялық моделі әзірленді. Күтілетін нәтиже қозғалысты шектеу телімдерін анықтау болды және модельдеу барысында Жезқазған-Сексеуіл телімдері екендігі анықталып, телім бойынша пойыздардың қозғалыс жылдамдығының төмендеу себептері ПҚИРКЖ тәуелді екендігі анықталды. Сонымен қатар, жылжымалы блок-телімдер тұжырымдамасын іске асыруға негізделген ПҚИРКЖ енгізілген Жетіген-Алтынкөл телімінің өткізу қабілетін айқындау мақсатында OpenTrack микроскопиялық бағдарламалық өнімінің базасында темір жол телімінің компьютерлік моделі әзірленді. Модельдеу барысында ұзындығы 40 км болатын Құрөзек-Жарсу телімінде ЖБТ және ББТ технологиялары негізінде пойыздардың қозғалысы ұйымдастырылды. Зерттеу нәтижелерінде алынған әртүрлі тәуелділік кестелері мен модельденген

пойыздардың қозғалыс кестелері диссертациялық жұмыста ұсынылатын пойыздар қозғалысын ұйымдастырудың оңтайлы және қауіпсіз моделінің дұрыстығын көрсетті.

4. Диссертациялық жұмыстың төртінші бөлімінде жұмыс тақырыбын кешенді зерттеу мақсатында MATLAB моделдеу ортасын қолдану арқылы локомотив электржетегін бейсызықты басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау моделі әзірленіп, нәтижесінде тартым қозғалтқыштарының жылдамдықтарының және моменттерінің келісілген режимдерін алуға мүмкіндік беретін өтпелі үрдістерінің сипаттамасы алынды.

MATLAB моделдеу ортасында асинхронды қозғалтқыш моделінің құрылымдық сұлбасы, АРЖ дифференциалдық теңдеулері әзірленіп, локомотивтің асинхронды электржетегін автоматты реттеу жүйесінің параметрлерін синтезі қарастырылды, синтез бағдарламасы нәтижесінде алынған  $k_p$ ,  $k_z$ ,  $k_y$ ,  $k_{os}$ ,  $T$  параметрлері автоматты реттеу жүйесінің орнықтылығын қамтамасыз ететіндігі өтпелі үрдіс графиктерімен дәлелденді.

MATLAB моделдеу ортасында алынған зерттеу нәтижелерін OpenTrack моделдеу ортасына беру және одан қабылдау принциптерін жүзеге асыру үшін API интерфейсі нәтижесінде интеграциялау мүмкіндіктері баяндалды.

Диссертациялық жұмыс негізінде №7983 пайдалы модельге патент, №9213, №30873 куәліктер алынды. Сонымен қатар зерттеу нәтижелерін «Frauscher Sensortechnik GmbH» ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық әзірлемелерінде, Мұхаметжан Тынышбаев атындағы АЛТ университеті «Көлік қызметтері және бизнес» кафедрасының оқу үрдісінде, «Транстелеком» АҚ, «ТрансКом» ЖШС стратегиялық даму жоспарларын өңдеуде, «ALSTOM KAZAKHSTAN» ЖШС жылжымалы құрамдар мен пойыздар қозғалысын басқару жүйелерін әзірлеу, локализациялау, жетілдіру және пайдалануда енгізулер мен қолданулар ұсынылған.

Диссертациялық зерттеулер нәтижелері бойынша монография шығарылған [102].



## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕККӨЗДЕР ТІЗІМІ

1. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың «Әділетті Қазақстанның экономикалық бағдары» атты Қазақстан халқына Жолдауы. [https://www.akorda.kz/kz/memleket-basshysynyn-kazakstan-halkyna-zholdauy-2023-zhylgy-1-kyrkuyek\\_1330008](https://www.akorda.kz/kz/memleket-basshysynyn-kazakstan-halkyna-zholdauy-2023-zhylgy-1-kyrkuyek_1330008). 01.09.2023.
2. Қазақстанның көліктік-логистикалық кешенін 2030 жылға дейін дамытудың кешенді жоспарын қалыптастыру бойынша талдау шолу және тұжырымдамалық ұсыныстар. <https://www.kazlogistics.kz/upload/iblock/b80/b805fa8a84a59bfc09eb0923f04bf15c.pdf>. 01.02.2020.
3. Қазақстан Республикасының 2029 жылға дейін теміржол көлігін дамыту тұжырымдамасы. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/G24IK000224>. 27.06.2024.
4. Schnieder L. Communications-based train control (CBTC). – Springer Berlin Heidelberg, 2021.
5. Communications-Based Train Control (CBTC) // RailSystem. – <https://railsystem.net/communications-based-train-control-cbtc/>. 20.01.2025.
6. Lv, J. [et al.] Chinese train control system principles // IRSE News. – 2016. – Vol. 9, № 225. – P. 4.
7. Ефремов А. ATACS – японская система управления движением поездов по радиоканалу // Железные дороги мира. – 2017. – №1. – С. 56-60.
8. Miyaguchi N. [et al.] The radio-based train control system ATACS // WIT Trans Built Environ. – 2014. – Vol. 155, – P. 175-183.
9. Pachl J. Railway signalling principles. – Braunschweig: Technische Universität Braunschweig. 2020. – P. 1-83.
10. PTC System Information <https://railroads.dot.gov/train-control/ptc/ptc-system-information>. 20.01.2025.
11. Ададуров А.С., Попов П.А. Общие принципы работы системы ITARUS-ATC // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – №7. – С. 9-11.
12. Теег Г. Системы автоматизации и телемеханики на железных дорогах мира: учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, – 2010. – 475 с.
13. Bombardier, Worldwide projects. <https://clck.ru/34LVg9>. 10.01.2025.
14. UNISIG SUBSET 026. System requirement specification, Issue 2.3.0, Chapter 3.
15. Stanley, P., Hagelin, G., Heijnen, F., Löfstedt, K., Pore, J., Suwe, K.-H. and Zoetard, P.: ETCS for Engineers. Eurail press, 2011.
16. Жиіліктер белдеулерін, радиожііліктерді (радиожіілік арналарын) иелікке беру, радиоэлектрондық құралдар мен жоғары жиілікті құрылғыларды пайдалану, сондай-ақ азаматтық мақсаттағы радиоэлектрондық құралдардың электромагниттік үйлесімділігін есептеуді жүргізу қағидаларын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Инвестициялар және даму министрінің м.а. 2015 жылғы 21 қаңтардағы № 34 бұйрығы.
17. ETCS over TETRA for Kazakhstan railways. <https://clck.ru/34LVfC>. 12.01.2025.

18. Ефремов А. КЖТ расширяют масштабы внедрения радиоблокировки с подвижными блок-участками СИРДП-Е // Железные дороги мира. – 2015 – № 10 – С. 62-64.
19. Deployment Statistics <https://www.ertms.net/facts-figures/deployment-statistics/>. 14.01.2025.
20. Ефремов А. Ю. Цифровизация Штутгартского железнодорожного узла // Железные дороги мира. – 2020. – №. 7. – С. 62-67.
21. Озеров А.В. Мировые тренды развития систем управления движением поездов // Наука и технологии железных дорог. Выпуск 4 (24). – С. 10-14.
22. Высокоскоростной наземный транспорт по странам [https://ru.wikipedia.org/wiki/Высокоскоростной наземный транспорт по страна](https://ru.wikipedia.org/wiki/Высокоскоростной_наземный_транспорт_по_странам#cite_note-16)м#cite\_note-16. 15.01.2025.
23. Yulong He, Wei Tao, Changgen Mei. High-Speed Railways: Environmental Impact and Pollution Prevention and Control 1<sup>st</sup> Edition. Elsevier. March 8, 2023. P. 226.
24. Транспорт. Динамические ряды <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-transport/dynamic-tables/>. 18.01.2025.
25. Концепция модернизации и производства систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Қазақстан темір жолы, Transtelecom, КазАТК им. М. Тынышпаева, Алматы, 2018.
26. Furness N. et al. ERTMS level 3: the game-changer // IRSE News. – 2017. – Vol. 232. – P. 2-9.
27. Knutsen D., Olsson N. O. E., Fu J. ERTMS/ETCS level 3: Development, assumptions, and what it means for the future // Journal of Intelligent and Connected Vehicles. – 2023.
28. Wiesmeyr C. et al. Real-time train tracking from distributed acoustic sensing data // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – №. 2. – P. 448.
29. Vidovic I., Marschnig S. FOSphAT–Fiber optic sensing for permanent and holistic assessment of track // 12th World Congress on Railway Research: Railway Research to Enhance the Customer Experience. – 2019.
30. Kowarik S. et al. Fiber optic train monitoring with distributed acoustic sensing: Conventional and neural network data analysis // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – №. 2. – P. 450.
31. Arkenov B., Orunbekov M., Vlasenko S. Adaptation of train traffic control systems to the railway operational requirements in countries of former Soviet Union // Вестник КазАТК, №2, 2019. P.118-123.
32. Wojcik W., Orunbekov M., Toygozhinova A., Seitbekova A. Difficulties in the implementation of moving block in Kazakhstan // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY. Vol. 96, № 9, 2020. P. 129-132.
33. Орунбеков М.Б., Сүлейменова Г.А. Анализ координатных систем интервального регулирования движения поездов // Вестник КазАТК, №1, 2023. С. 307-314.
34. Никитин А.Б. и др. Система управления движением поездов. – 2012.

35. Попов П.А. Совершенствование методов и алгоритмов управления в системах интервального регулирования движения поездов с использованием радиоканала : дис. – Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ, 2014.
36. Лисенков В.М. и др. Системы управления движением поездов на перегонах: учебник для вузов ж.-д. транспорта: в 3 ч. Ч. 2 под ред. В.М. Лисенкова //М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009. – 160 с.
37. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. – М., 2010 – 124 с.
38. Боровикова М.С. Управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : учебник / М. С. Боровикова. - Москва : ФГБУ ДПО «Учебно методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 552 с.
39. Одометр. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. 18.01.2025.
40. Distributed Acoustic/Vibration Sensing (DAS/DVS). <https://clck.ru/34LVhH>. 18.01.2025.
41. Liu S. et al. Advances in phase-sensitive optical time-domain reflectometry //Opto-Electronic Advances. – 2022. – Vol. 5. – №. 3. – P. 200078-1-200078-28.
42. Кислов К.В., Гравиров В.В. Распределенное акустическое зондирование: новый инструмент или новая парадигма // Сейсмические приборы. – 2022. – Т. 58. – №. 2. – С. 5.
43. Степанов К.В. и др. Перспективы использования распределенных волоконнооптических датчиков на железнодорожном транспорте //Автоматика, связь, информатика. – 2019. – №. 9. – С. 11-13.
44. Cedilnik G., Hunt R., Lees G. Advances in Train and Rail Monitoring with DAS // 26th International Conference on Optical Fiber Sensors. OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2018), paper ThE35.
45. Lämmerhirt A. et al. Fiber optic sensing for Railways – Ready to use?! //Signalling+Datacommunication. – 2022. – Vol. 114. – P. 60-69.
46. Журнал для клиентов Frauscher Ultimate Rail. 02.2018.
47. Railway monitoring and train tracking <https://www.apsensing.com/application/rail-monitoring>. 02.02.2025.
48. Безопасность объектов транспортной инфраструктуры <https://t8-sensor.ru/transportation>. 02.02.2025.
49. Оптоволоконная CVF-OTDR система мониторинга области расположения железнодорожных путей, предназначенная для обнаружения камнепадов и оползней <https://flagman-geo.com/solutions/optovolokonnaya-sistema-monitoringa-oblasti-raspolozheniya-zheleznodorozhnyh-putey-dlya-obnaruzheniya-kamnepadov-i-opolzney>. 02.02.2025.
50. Волоконно-оптические линии передачи железнодорожного транспорта - 410607-ТМП (ШП-66-06).
51. Amir M. Kaynia, Joonsang Park, Karin Norén-Cosgriff. Effect of track defects on vibration from high speed train. X International Conference on Structural Dynamics, EUROLYN 2017. Procedia Engineering 199. P. 2681-2686.

52. Callet S. et al. The use of a “model-based design” approach on an ERTMS Level 2 ground system //Formal Methods Applied to Industrial Complex Systems. – 2014. – P. 165-190.
53. Nitsch A. et al. Model-based Systems Engineering with Matlab/Simulink in the Railway Sector //MBMV. – 2015. – P. 125-134.
54. Basile D. et al. Modelling and analysing ERTMS L3 moving block railway signalling with Simulink and Uppaal SMC //Formal Methods for Industrial Critical Systems: 24th International Conference, FMICS 2019, Amsterdam, The Netherlands, August 30–31, 2019, Proceedings 24. – Springer International Publishing, – 2019. – P. 1-21.
55. Орунбеков М.Б. Пойыздар қозғалысын интервалды реттеу әдістері // Материалы XLII Международной научно-практической конференции КазАТК им. М. Тынышпаева на тему «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», Том 3. 2018. С. 21-25.
56. Орунбеков М.Б., Биттеев Ш.Б. Возможности применения технологии DAS для обеспечения безопасности движения поездов // Вестник технических наук Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар, №4, 2019. С. 100-108.
57. Сарбаев С.Ш., Орунбеков М.Б., Рамиева М.С. Перспективы применения и внедрения технологии DAS в системах железнодорожной автоматики и телемеханики // Вестник КазАТК, №1, 2019. С. 152-160.
58. Орунбеков М.Б. Варианты использования Comsol Multiphysics в задачах исследования системы управления на транспорте. Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. 26-27 января 2021 г. СамГУПС, Самара. С. 182-186.
59. Кубланов М. С. Проверка адекватности математических моделей //Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2015. – №. 211 (1). – С. 29-36.
60. Феоктистов А.Г., Корсуков А.С., Дядькин Ю.А. Инструментальные средства имитационного моделирования предметно-ориентированных распределенных вычислительных систем //Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – №. 4. – С. 30-60.
61. <https://www.trapezgroup.com.au/solutions/planning-and-scheduling-rail>. 02.02.2025.
62. Rosberg T., Thorslund B. Simulated and real train driving in a lineside automatic train protection (ATP) system environment //Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2020. – Vol. 16. – P. 100205.
63. Y. Wang and X. Zhang, "Research on transport capacity of urban rail transit based on RailSys", Proc. Int. Conf. Elect. Inf. Technol. Rail Transp. (EITRT), vol. 2, pp. 235-241, Feb. 2014.
64. Huerlimann, Daniel and Andrew Nash, OpenTrack – Simulation of Railway Networks, User Manual Version 1.9, ETH Zurich, Institute for Transportation Planning and Systems, June 2017, P. 205.
65. <https://berkeleysimulation.com/index.php>. 10.02.2025.

66. AnyLogic: имитационное моделирование для бизнеса <https://www.anylogic.ru/>. 10.02.2025.

67. Аналитический доклад. Евразийская экономическая комиссия «О выявлении недостатков, связанных с организацией движения поездов, в части согласования перевозок и оформления перевозок грузов, в том числе с применением безбумажных технологий». Москва, 2019 г.

68 Китай-Европа (прямое жд) <https://www.interrail.ru/ContainerTrains/ChinaEurop>. 13.02.2025.

69. Siwek R., Horak J. Multiagent modeling of individual transport behaviour in the Ostrava city // International Conference on Traffic and Transport Engineering (ICTTE 2018), – P. 59-66.

70. Агентное моделирование – инструмент имитационного моделирования AnyLogic. <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/agent-based-modeling/>. 13.02.2025.

71. Bruce E. Thinking in Java. – Prentice Hall, 4 edition. – 2010. – P. 1057.

72. Vignali V., Cuppi F., Lantieri C., Dimola N., Galasso T., Rapagnà, L. A methodology for the design of sections block length on ETCS L2 railway networks // Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2019. P. 100160.

73. Nachtigall P., Šíroký J., Tischer E. Assessing the efficiency of increasing the track speed in the line section Rokycany–Plzeň hl. n. // Sustainability. 2020. – Vol. 12, – P. 7415.

74. Siroky, J., Nachtigall, P., Tischer, E., Gasparik, J. Simulation of Railway Lines with a Simplified Interlocking System // Sustainability. 2021. – Vol. 13, – P. 1394.

75. Tischer E., Nachtigall P., Šíroký J. The use of simulation modelling for determining the capacity of railway lines in the Czech conditions // Open Engineering. – 2020. – Vol. 10, – №. 1. – P. 224-231.

76. Ljubaj I., Mlinarić T.J. The possibility of utilising maximum capacity of the double-track railway by using innovative traffic organisation // Transportation Research Procedia, – 2019. – Vol. 40, – P. 346-353.

77. Schöbel A., Aksentijevic J., Stefan M., Blieberger J. Optimization of rail traffic flow using Kronecker algebra during maintenance on infrastructure // In Transportation Research Procedia, 2017. – P. 545-552.

78. Abdullayev S., Tokmurzina N., Bakyt G. The Determination of Admissible Speed of Locomotives on the Railway Tracks of the Republic of Kazakhstan // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11(1), – P. 61-68.

79. Куанышев Б.М., Абдуллаев С.С., Бақыт Ғ.Б. Тепловоз ТЭ33А производства АО «Локомотив құрастыру зауыты». Устройство, назначение узлов и агрегатов: Учебное пособие / Б.М. Куанышев, С.С. Абдуллаев, Ғ.Б. Бақыт. – Алматы: КазАТК, 2015. – 257 с.

80. Правила эксплуатации электровозов серии KZ4A. <https://ktzh-gp.kz/upload/iblock/b09/fxqsgadnabwpzu%20lbwszyjyuvgtzjacofaeyhfc%20ugdrrvdlhfiaegjcbejvesvgh%20bhmaorcjxg%20KZ4A.pdf>. 08.02.2025.

81. Volcic M. Energy-efficient optimization of railway operation: an algorithm based on Kronecker algebra : дис. – Technische Universität Wien, 2014.

82. Эйлер Л. Интегральное исчисление. Том 1 // М.: ГИ Физматлит, 1956. – 415 с.
83. OpenTrack ортасында модельдеу нәтижелерінің ASCII мәтіндік файлдары [https://drive.google.com/drive/folders/1yi1LIn\\_Rw372zaV5EfWiM51R-M5MzXJo?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/drive/folders/1yi1LIn_Rw372zaV5EfWiM51R-M5MzXJo?usp=drive_link)
84. Орунбеков М.Б. Анализ результатов исследования с применением среды моделирования OpenTrack // Материалы I Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика». – Алматы: Академия логистики и транспорта, 2021. Том 1. – С. 43-45.
85. Orunbekov M., Shults V., Suleimenova G., Sarbayev S., Seitbekova A. Development of an imitation model of container transportation by railway area of Dostyk-Zhezqazghan-Iletsk // Journal of applied engineering science. – 2021. – №3. – P. 676-680.
86. Бекжанова С.Е., Орунбеков М.Б., Сүлейменова Г.А. Имитационное моделирование железнодорожной линии с координатной системой интервального регулирования // Вестник КазАТК. – 2023. – №3. – С. 146-156.
87. Орунбеков М.Б. Оценка методов интервального регулирования движения поездов на основе моделирования в среде OpenTrack // Вестник КазАТК. – 2023. – №4. – С. 68-78.
88. GE., GE Transportation Celebrates First Evolution® Series Locomotive Assembled in Kazakhstan Plant. <https://clck.ru/34KT7H>. 10.02.2025.
89. GE ES44AC. [https://trains-and-locomotives.fandom.com/wiki/GE\\_ES44AC](https://trains-and-locomotives.fandom.com/wiki/GE_ES44AC). 12.02.2025.
90. Popov E.P. The Dynamics of Automatic Control Systems. 1st Edn., – Oxford: Pergamon Press, 1961. – P. 776.
91. Netushil A. Theory of Automatic Control. – Moscow: Mir Publishers, 1973. – P. 808.
92. André Veltman, W.J. Duco Pulle, R.W. De Doncker. Fundamentals of Electrical Drives. Second Edition. Power Systems. – Switzerland: Springer Nature. 2016. P. 356.
93. Golnaraghi, F., Kuo, B. Automatic Control Systems / F. Golnaraghi, B. Kuo. – Hoboken (N.J.) : John Wiley & Sons, 2009.
94. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of automatic control systems. – Profession: Saint Petersburg, Russia, 2003. – P. 752.
95. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
96. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
97. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Издательство «Химия», 1975. – 576 с.
98. Скворцов Л.М. Численное решение обыкновенных дифференциальных и дифференциально-алгебраических уравнений. Изд. 2. – М.: ДМК Пресс, 2022 – 236 с.

99. OpenTrack. [http://www.opentrack.at/opentrack/opentrack\\_e/api/opentrack\\_api\\_e.html](http://www.opentrack.at/opentrack/opentrack_e/api/opentrack_api_e.html). 20.02.2025.

100. Сарбаев С.Ш., Орунбеков М.Б. Синтез параметров системы автоматического регулирования асинхронного электропривода с регулированием напряжения статора двигателя // Вестник КазНУ. – 2020. №2. – С. 250-256.

101. Maxat B. Orunbekov., Margarita B. Imandosova., Gulfariza A. Suleimenova., Vladimir A. Shults., Ainagul M. Seitbekova. Computing the Stability of a Nonlinear Control System of a Locomotive Multi-Motor Electric Drive // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2019. – Vol. 12, № 12, – P. 3107-3113.

102. Координатные системы интервального регулирования движения поездов: монография/ Орунбеков М.Б. – Алматы: Издательский дом, 2024. – 112 с.



## ҚОСЫМША А

Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша зияткерлік меншік объектілері



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ      РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ  
PATENT**

№ 7983

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2023/0123.2

(22) 07.02.2023

(45) 21.04.2023

(54) Бақылаудың координаттық әдісімен пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесі  
Система интервального регулирования движения поездов с координатным методом контроля  
System for interval control of train traffic with coordinate control method

(73) «Логистика және көлік академиясы» акционерлік қоғамы (KZ)  
Акционерное общество «Академия логистики и транспорта» (KZ)  
«Academy of Logistics and Transport» Joint-Stock Company (KZ)

|                                        |                                        |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| (72) Орунбеков Максат Бағыбаевич (KZ)  | Orunbekov Maksat Bagybaevich (KZ)      |
| Сүлейменова Гүлфариза Абатбекқызы (KZ) | Suleimenova Gulfariza Abatbekkyzy (KZ) |
| Шукаманов Жанибек Ерикович (KZ)        | Shukamanov Zhanibek Erikovich (KZ)     |
| Қасым Руслан Токтасынұлы (KZ)          | Kassym Ruslan Toktasynuly (KZ)         |
| Сейтбекова Айнагуль Манарбековна (KZ)  | Seitbekova Ainagul Manarbekovna (KZ)   |



ЭЦҚ кол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Е. Оспанов  
Е. Оспанов  
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of RSE «National institute of intellectual property»



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР  
ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

№ 9213 от «9» апреля 2020 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):  
**ОРУНБЕКОВ МАКСАТ БАГЫБАЕВИЧ, СУЛЕЙМЕНОВА ГҮЛФАРИЗА АБАТБЕККЫЗЫ,  
ШУКАМАНОВ ЖАНИБЕК ЕРИКОВИЧ**

Вид объекта авторского права: **произведение науки**

Название объекта: **Модель координатной системы интервального регулирования движения поездов с расширенными функциональными возможностями на базе технологии DAS**

Дата создания объекта: **14.01.2020**



Құжат түпнұсқалығын <http://www.kazpatent.kz/ru> сайтының  
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады. <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz)  
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Куантыров Е.С.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР  
ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

№ 30873 от «6» декабря 2022 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):  
**ОРУНБЕКОВ МАКСАТ БАГЫБАЕВИЧ, СУЛЕЙМЕНОВА ГУЛФАРИЗА АБАТБЕКҚЫЗЫ**

Вид объекта авторского права: **произведение науки**

Название объекта: **МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ**

Дата создания объекта: **02.12.2022**



Құжат тұлғасына <http://www.kazpatent.kz/ru> сайтының  
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады. <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://kazpatent.kz)  
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Е. Оспанов



## ҚОСЫМША Б

### Диссертациялық жұмыс нәтижелерін енгізу актілері



Track more with less.

Uwe Guenther  
+7 778 712 15 99  
+43 676 840 609350  
Uwe.guenther@kz.frauscher.com

#### АКТ

о внедрении результатов докторской диссертационной работы  
Орунбекова Максата Багыбаевича на тему:  
«Разработка оптимально-безопасной модели организации движения  
поездов при координатном способе регулирования»

Настоящим Актом удостоверяется, что результаты диссертационного исследования докторанта Орунбекова М.Б. на тему «Разработка оптимально-безопасной модели организации движения поездов при координатном способе регулирования» обладают актуальностью и представляют практический интерес и были использованы в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках ООО «Фраушер Сенсортехник Г.М.Б.Х» с целью расширения функциональных возможностей координатной системы интервального регулирования на железнодорожном транспорте и гарантированного обеспечения безопасности движения поездов, а также для улучшения показателей работы систем счета осей на базе технологии DAS (Distributed Acoustic Sensing).

Директор Представительства  
ООО «Фраушер Сенсортехник  
Г.М.Б.Х» в Казахстане

  
**FRAUSCHER** Uwe Günther  
Frauscher Sensortechnik GmbH  
Gusenbstraße 1 | 4774 St. Marienkirchen  
Austria | Tel. +43 7711 2920-0 | Fax -25  
www.frauscher.com

## АКТ О ВНЕДРЕНИИ

### результатов диссертационной работы

Орунбекова Максата Багыбаевича на тему:

«Разработка оптимально-безопасной модели организации движения поездов при координатном способе регулирования»

АО «Транстелеком» как один из крупнейших операторов связи в Республике Казахстан, специализирующая на предоставлении широкого спектра телекоммуникационных услуг, цифровизации и системной интеграции в области ИТ, связи, автоматизации и энергетики, в том числе для железнодорожной отрасли, подтверждает наличие трассы волоконно-оптического кабеля вдоль исследуемого участка железной дороги Жетиген-Алтынколь и в нем свободных волокон для реализации системы распределенного акустического зондирования (Distributed Acoustic Sensing) по определению местоположения подвижного состава, что подтверждается актуальность исследований и результаты диссертационных исследований Орунбекова М.Б. могут быть использованы для совершенствования эксплуатируемых систем интервального регулирования движения поездов с координатным методом контроля.

Заместитель Председателя Правления  
по операционной деятельности



М. Ахметов

согласовано:  
Бизнес-партнер 1 уровня  
«Услуги и решения для  
железнодорожной отрасли»

А. Магзумов

## АКТ

о внедрении результатов научных исследований в рамках докторской диссертационной работы Орунбекова Максата Багыбаевича на тему: «Разработка оптимально-безопасной модели организации движения поездов при координатном способе регулирования».

Настоящий Акт о внедрении свидетельствует, что диссертационная работа выполнена на актуальную тему, а научные результаты исследования докторанта Орунбекова М.Б., а именно, по оптимизацию системы управления тяговыми электроприводами локомотива и координатной системы интервального регулирования движения поездов представляют практический интерес **ALSTOM KAZAKHSTAN** как технологический лидер в разработке инновационных и устойчивых транспортных решений по подвижному составу, системы сигнализации, централизации и блокировки, в том числе бортовых аппаратур координатной системы интервального регулирования локомотивов могут быть использованы на этапах разработки, локализации и эксплуатации подвижного состава и систем управления движением поездов на магистральной сети железной дороги Республики Казахстан.

Руководитель  
Проектов по сигнализации  
Западная и Центральная Азия



Асхат Абенов

**«ТрансКом»**  
Жауапкершілігі шектеулі  
серіктестігі

A25D7M2, Қазақстан  
Республикасы, Алматы қаласы,  
Достық даңғылы 291/32

# ТрансКом

Товарищество с  
ограниченной  
ответственностью  
**«ТрансКом»**

E: info-tc@erg.kz

A25D7M2, Республика  
Казахстан, город Алматы,  
проспект Достык 291/32

## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результаты исследований на тему «Разработка оптимально-безопасной модели организации движения поездов при координатном способе регулирования» и разработка имитационной модели в области оптимизации движения поездов по участку Жетиген-Алтынколь, изложенные в диссертационной работе Орунбекова Максата Багыбаевича, представленной на соискание ученой степени доктора философии по специальности 6D090100 – «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта» являются практически значимыми с экономической точки зрения для ТОО «ТрансКом», и могут быть использованы при разработке стратегических планов развития компании.

**Директор департамента  
по перевозочной деятельности**



**Жуматаев А.Ж.**



КазАПО



KAZLOGISTICS





БЕКІТЕМІН

Мұхаметжан Тынышбаев

атындағы АЛТ университетінің

Ғылым және халықаралық

ұлтымақтастық

бойынша проректоры

Ш.М. Кобдикова

«01» 2025 ж.

**«Пойыздар қозғалысын реттеуді координаталық тәсілмен ұйымдастырудың  
оңтайлы және қауіпсіз моделін жасау» тақырыбында орындалған Орунбеков  
Максат Бағыбаевичтің диссертациялық жұмысының нәтижелерін**

### ЕНГІЗУ АКТІСІ

6D090100 – «Тасымалдауды, қозғалысты ұйымдастыру және көлікті пайдалану» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған Орунбеков Максат Бағыбаевичтің диссертациялық жұмысында баяндалған координатты әдіспен пойыздардың қозғалысын ұйымдастырудың жаңа әдісі, радиоблоктау орталығы мен локомотивтің арасындағы байланыс арналарының моделі, гибриді принципке негізделген пойыздар қозғалысын интервалды реттеу жүйесін компьютерлік модельдеу нәтижелері Мұхаметжан Тынышбаев атындағы АЛТ университетінің «Көлік қызметтері және бизнес» кафедрасының «Темір жол техникалық станцияларының жұмысын модельдеу» және «Интеллектуалды көлік жүйелері» пәндерінің дәрістік және тәжірибелік сабақтарының оқу материалдарына енгізілді.

«Логистика және бизнес»  
институтының директоры

Мусаева Г.С.

«Көлік қызметтері және бизнес»  
кафедрасының меңгерушісі

Мусалиева Р.Д.

## ҚОСЫМША В

### MATLAB ортасындағы бағдарламалар листингі

#### ҚОСЫМША В1

Локомотивтің тартым қозғалтқышының орнықтылығын анықтау бағдарламасы

```
1  function ustoi
2  syms w1 w2 w3 w4 w5 w6 w7 w8 w9 w10
3  f1=sym('(1/w1)*x1-x2');
4  f2=sym('(x1+(1/w2)*x2-x3)');
5  f3=sym('(1/w3)*x3-x10');
6  f4=sym('(1/w4)*x4-x5');
7  f5=sym('x4+(1/w5)*x5-x6');
8  f6=sym('(1/w6)*x6-x10');
9  f7=sym('(1/w7)*x7-x8');
10 f8=sym('x7+(1/w8)*x8-x9');
11 f9=sym('(1/w9)*x9-x10');
12 f10=sym('kos*sign((k2*x9-k1*x3)-q*(k2*x9-k1*x3)^3)+
        +(1/w10)*x10-U');
13 [x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10]=...
14     solve(f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7,f8,f9,f10);
15 b=25; Tm=0.2; a1=1/(b*Tm); Ta=0.005;
16 Kp=10; Tp=0.001; T1=0.02; T2=0.08;
17 q=0.166; kos=0.1; k1=0.1; k2=0.1; U=10;
18 w1=tf([a1],[1 0]); w2=tf([b],[Ta 1]);
19 w3=tf([Kp],[Tp 1]); w4=tf([a1],[1 0]);
20 w5=tf([b],[Ta 1]); w6=tf([Kp],[Tp 1]);
21 w7=tf([a1],[1 0]); w8=tf([b],[Ta 1]);
22 w9=tf([Kp],[Tp 1]); w10=tf([T1 1],[T2 1]);
23 R1=eval(x1); Wc=mineral(R1)
24 p=pole(Wc)
25 end
```



## ҚОСЫМША В2

Беріліс функциясы және сипаттамалық теңдеудің түбірлері

Transfer function:

$$\frac{2.475e006s+1.237e006}{s^4 + 1033 s^3 + 3.285e004 s^2 + 3.512e005 s + 1.25e006}$$

p=

$$1.0e003*$$

$$-1.0000$$

$$-0.0125$$

$$-0.0100+0.00001$$

$$-0.0100-0.00001$$

>>

## ҚОСЫМША В3

Статикалық момент ескерілген, беріліс функциясы және сипаттамалық теңдеудің түбірлері

Transfer function:

$$\frac{10 s^3 + 1.032e004 s^2 + 2.803e006 s + 1.263e008}{s^4 + 1032 s^3 + 3.285e004 s^2 + 3.512e005 s + 1.25e006}$$

p=

$$1.0e003*$$

$$-1.0000$$

$$-0.0125$$

$$-0.0100+0.00001$$

$$-0.0100-0.00001$$

>>

## ҚОСЫМША В4

Статикалық моментті ескере отырып, басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау бағдарламасы

```
1  function ustoi_stat
2  syms w1 w2 w3 w4 w5 w6 w7 w8 w9 w10
3  f1=sym('(1/w1)*x1-x2=Mc');
4  f2=sym('(x1+(1/w2)*x2-x3)');
5  f3=sym('(1/w3)*x3-x10');
6  f4=sym('(1/w4)*x4-x5=Mc');
7  f5=sym('(x4+(1/w5)*x5-x6)');
8  f6=sym('(1/w6)*x6-x10');
9  f7=sym('(1/w7)*x7-x8=Mc');
10 f8=sym('(x7+(1/w8)*x8-x9)');
11 f9=sym('(1/w9)*x9-x10');
12 f10=sym('kos*sign((k2*x9-k1*x3)-q*(k2*x9-k1*x3)^3)+
          +(1/w10)*x10-U');
13 [x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10]=...
14     solve(f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7,f8,f9,f10);
15 b=25; Tm=0.2; a1=1/(b*Tm); Ta=0.005;
16 Kp=10; Tp=0.001; T1=0.02; T2=0.08;
17 q=0.166; kos=0.1; k1=0.1; k2=0.1; U=10; Mc=50;
18 w1=tf([a1],[1 0]); w2=tf([b],[Ta 1]);
19 w3=tf([Kp],[Tp 1]); w4=tf([a1],[1 0]);
20 w5=tf([b],[Ta 1]); w6=tf([Kp],[Tp 1]);
21 w7=tf([a1],[1 0]); w8=tf([b],[Ta 1]);
22 w9=tf([Kp],[Tp 1]); w10=tf([T1 1],[T2 1]);
23 R1=eval(x1); Wc=mineral(R1)
24 p=pole(Wc)
25 end
```

## ҚОСЫМША В5

### Асинхронды қозғалтқыш статорындағы кернеуді оңтайлы басқаруды есептеу бағдарламасының листингі

```
1  function boundproblem
2      meshinit = linspace(0, 2, 10);
3      yinit = [0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0 0 0 0 0]
4      initsol = bvpinit (meshinit, yinit);
5      options = bvpset ('RelTol', 1.0e-05, 'AbsTol', 1.0e-06);
6      sol = bvp4c (@rside, @bound, initsol, options);
7      plot(sol.x, sol.y(5, :)*10, 'k.')
8  grid on
9  function f = rside (x, y)
10     c=1000; a1=0.2; a2=548.4; a3=548.4; a4=20; a5=80000;
11     a6=1000; a7=0.4; a8=1.96; a9=1568.6; a10=9.96; a11=0.98;
12     f = [a1*y(2); a2*y(3)-a3*y(1)-a4*y(2); a5*atan(y(4))-
13     a6*y(3);...
14         a7*((1/c)*(a7*y(9)+y(10)))+a8*y(5)-
15     a9*atan(y(4))+a10*y(3)-a11*y(4);...
16         (1/c)*(a7*y(9)+y(10)); y(1)+a3*y(7)+a10*y(9); y(2)-
17     a1*y(6)+a4*y(7);...
18         y(3)-a2*y(7)+a6*y(8)-a10*y(9); y(4)-
        (a5/(1+y(4)^2))*y(8)+...
        (a9/(1+y(4)^2))*y(9)+a11*y(9); y(5)-a8*y(9)];
    function g = bound(ya, yb)
    g = [ya(1)-1; ya(2); ya(3); ya(4); ya(5); yb(6); yb(7)
    ;yb(8); yb(9); yb(10)]
```

## ҚОСЫМША В6

### MATLAB алгоритмдік тіліндегі синтез бағдарламасы

```
1 function sintes
2 clc
3 global kp; global s2; global ky; global s4;
4 global kos; global s6; global T1; global s8;
5 global T2; global s10
6 n=9; r=0; s1=0; s3=0; s5=0; s7=0; s9=0; m=100;
7     for i=1:m
8         h=0.5; g1=1e6;
9         a1=1; b1=20; a2=0; b2=5; a3=0; b3=0.5;
10        a4=0; b4=1; a5=0; b5=0.8;
11        kp=a1+(b1-a1)*rand; ky=a2+(b2-a2)*rand*3;
12        kos=a3+(b3-a3)*rand^2; T1=(b4-a4)rand^3;
13        T2=a5+(b5-a5)*rand;
14        X(9)=0; while x(9)<=1 x(8)=0; while x(8)<=1
15        X(7)=0; while x(7)<=1 x(6)=0; while x(6)<=1
16        X(5)=0; while x(5)<=1 x(4)=0; while x(4)<=1
17        X(3)=0; while x(3)<=1 x(2)=0; while x(2)<=1
18        X(1)=0; while x(1)<=1
19        h1=0.1; i=1;
20        while i<=n u(i)=x(i)+h1; v(i)=x(i)-h1; j=1;
21        while j<=n if j~=i u(j)=x(j); v(j)=x(j); end
22            j=j+1; end
23        k=1; p1=0; p2=0; while k<=n l=k; while l<=n a(k,l)=1;
24            p1=p1+a(k,l)*u(k)*u(l); p2=p2+a(k,l)*v(k)*v(l);
25            l=l+1; end; k=k+1; end; c(i)=(p1-p2)/2)/h1;
26            i=i+1; end
27        a1=314;a2=100.56;a3=96.9;a4=75.87;a5=74.25;Tp=0.033;
28        a6=3242.48;a7=kp/Tp;a9=((T1*ky*kos)/T2+1);
```

```

29     a10=((T1*ky*kos)/T2); a11=((ky*kos)/T2);
30     a12=((ky*kos)/T2); a13=1/T2;
31     f=c(1)*x(2)+c(2)*(a1*x(8)-(a1^2)*x(1))+...
32     c(3)*(x(8)-a1*x(1)-a2*x(3)+a3*x(5))+...
33     c(4)*(-x(2)-a2*x(4)+a3*x(6))+...
34     c(5)*(-a4*x(5)+a5*x(3)+x(6)*x(7))+...
35     c(6)*(-a4*x(6)+a5*x(4)+x(5)*x(7))+...
36     c(7)*(a6*x(3)*x(6)-x(4)*x(5))+...
37     c(8)*(a7*x(9)-(1/Tp)*x(8))+...
38     c(9)*((a10/a9)*cos(x(9))-(a11/a9)*x(8)-...
39     (a12/a9)*sin(x(9))-(a13/a9)*x(9));
40     if f<=q1 q1=f; end
41     x(1)=x(1)+h; end; x(2)=x(2)+h; end;
42     x(3)=x(3)+h; end; x(4)=x(4)+h; end;
43     x(5)=x(5)+h; end; x(6)=x(6)+h; end;
44     x(7)=x(7)+h; end; x(8)=x(8)+h; end;
45     x(9)=x(9)+h; end; r=r+1;
46     s1=s1+kp; s2=sqrt((s1/m)^2);
47     s3=s3+ky; s4=sqrt((s3/m)^2);
48     s5=s5+kos; s6=sqrt((s5/m)^2);
49     s7=s7+T1; s8=sqrt((s7/m)^2);
50     s9=s9+T2; s10=sqrt((s9/m)^2);
51     if r>=m; break; end; end
52     kp=s2; ky=s4; kos=s6; T1=s8; T2=s10;
53     disp('kp='); disp(kp); disp('ky='); disp(ky);
54     disp('kos='); disp(kos); disp('T1='); disp(T1);
55     disp('T2='); disp(T2);
56     x0=[0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
57     [T,X]=ode45(@system,[0 1.5],x0);
58     plot(T,X(:,7)*30, 'k.-',T,X(:,10)*70, 'r.-')
59     grid

```

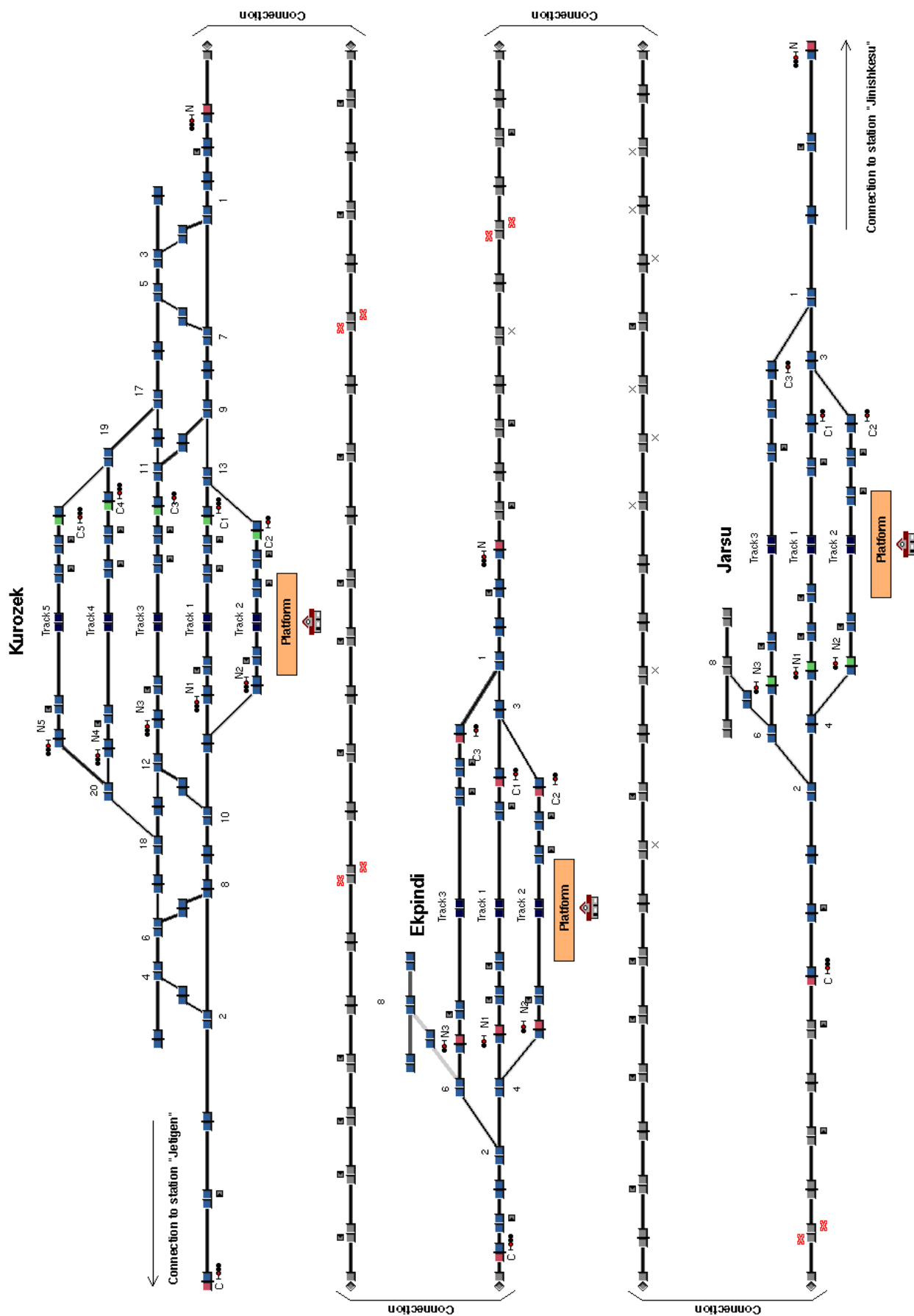
```

60  function dx=system(t,x)
61  dx=zeros(10,1); a1=314; a2=100.56; a3=96.9;
62  a4=75.87; a5=74.25; a6=3242.48; Tp=0.033; a7=kp/Tp;
63  a8=1/Tp; a9=((T1*ky*cos)/T2+1); a10=((T1*ky*kos)/T2);
64  a11=((ky*kos)/T2); a12=((ky*cos)/T2); a13=1/T2; Uz=20;
65  dx(1)=x(2); dx(2)=a1*x(8)-(a1^2)*x(1);
66  dx(3)=x(8)-a1*x(1)-a2*x(3)+a3*x(5);
67  dx(4)=-x(2)-a2*x(4)+a3*x(6);
68  dx(5)=-a4*x(5)+a5*x(3)+x(6)*x(7);
69  dx(6)=-a4*x(6)+a5*x(4)-x(5)*x(7);
70  dx(7)=a6*(x(3)*x(6)-x(4)*x(5));
71  dx(8)=a7*x(9)-a8*x(8);
72  dx(9)=((ky/T2)/a9)*Uz-(a10/a9)*cos(x(9))-(a11/a9)*x(8)...
73      (a12/a9)*sin(x(9))-(a13/a9)*x(9);
74  dx(10)=175.08*...
75      ((x(6)*dx(3)+x(3)*dx(6))-x(5)*dx(4)-x(4)*dx(5));
76  end
77  end

```

## ҚОСЫМША Г

OpenTrack ортасында құрылған Құрөзек-Жарсу темір жол телімінің моделі





## ҚОСЫМША Д

### OpenTrack ортасында кіріс мәндерді енгізу нәтижелері

#### Локомотив параметрлерін енгізу терезесі

Engines

Engine: TE33A 1 / 2

Engine Name: TE33A

Engine Description:

Load [t]: 138.000 Resistance Factor: 3.30

Adh. Load [t]: 138.000 Rot. mass Factor: 1.06

Length [m]: 21 Balise Telegram ☒

Speed max. [km/h]: 187 Loop Telegram ☒

Tractive Effort max. [kN]: 533 Radio Telegram ☒

Rack Traction ☐

ZVI-Diagrams No

Diagram 1 1

System

- Universal Electric
- Thermic
- Thermoelectric
- AC: 15 kV 16 2/3 Hz

Diagram Color:

Export Import Dupl. Del. Add

☒ Show Adhesion [%] bad: 80 normal: 125 good: 150

Loss Function: Edit

Selected Point:

v [km/h]: Z [kN]: P [MW]: linear

Visual Rectangle:

Speed max. [km/h]: 120 Scale

Tractive Effort max. [kN]: 533 Min. [kN]: -200 Autoscale

Del. Engine New Engine

Set Data Save Depot New Depot Open Depot

#### Пойыздардың және секциялардың параметрлерін енгізу терезелері

Trains - Edit

Train Name: 3002 Default

Description:

Type: Freight / Cargo Train

Category: Category 2

Engines

| Pos. | Name  | Load [t] | Len. [m] |
|------|-------|----------|----------|
| 1    | TE33A | 138.000  | 21       |

Σ Load [t]: 138.000 Σ Len. [m]: 21

Trailers

| Pos. | Name      | Load [t] | Len. [m] |
|------|-----------|----------|----------|
| 2    | Trailer 1 | 3200.000 | 793      |

Σ Load [t]: 3200.000 Σ Len. [m]: 793

Resistance Equation

Rolling: Strahl / Southoff Formula

A: B: C: Unit: N

☐ Starting Res. [N/t]: below Speed [km/h]:

Gradient: Distributed Mass per Train

Curve: Formula 1520 mm (Trains) [%]: 100.0

Acceleration (Train related Settings)

Max. Acceleration [m/s²]: 3.00 ☐ Max. Drawbar Force [kN]:

Acc. Delay [s]: 0 ☐ Min. Time to hold Speed [s]:

Acc. Delay at Stop [s]: 0

Deceleration

Deceleration Function: UIC Formula

| From [km/h] | To [km/h] | Dec. [m/s²] | Dec. St. [m/s²] |
|-------------|-----------|-------------|-----------------|
| 0           | v max.    | -0.60       |                 |

Braked Weight Percentage (BWP) [%]: 100

a = -(C1+C2\*BWP) C1: 0.069 C2: 0.0060 Result [m/s²]: -0.669

☐ Use Dynamic Braking above [km/h]:

☐ Correct Deceleration on Gradients [m/s²/2%]

Min. Dec. [m/s²]: Max. [m/s²]:

ETCS Dec. Delay [s]: 0.0 above [km/h]: 0.0

Cancel OK

Trains - Edit

Train Name: 3004 Default

Description:

Type: Freight / Cargo Train

Category: Category 2

Engines

| Pos. | Name  | Load [t] | Len. [m] |
|------|-------|----------|----------|
| 1    | TE33A | 138.000  | 21       |

Σ Load [t]: 138.000 Σ Len. [m]: 21

Trailers

| Pos. | Name      | Load [t] | Len. [m] |
|------|-----------|----------|----------|
| 2    | Trailer 1 | 3200.000 | 1211     |

Σ Load [t]: 3200.000 Σ Len. [m]: 1211

Resistance Equation

Rolling: Strahl / Southoff Formula

A: B: C: Unit: N

☐ Starting Res. [N/t]: below Speed [km/h]:

Gradient: Distributed Mass per Train

Curve: Formula 1520 mm (Trains) [%]: 100.0

Acceleration (Train related Settings)

Max. Acceleration [m/s²]: 3.00 ☐ Max. Drawbar Force [kN]:

Acc. Delay [s]: 0 ☐ Min. Time to hold Speed [s]:

Acc. Delay at Stop [s]: 0

Deceleration

Deceleration Function: UIC Formula

| From [km/h] | To [km/h] | Dec. [m/s²] | Dec. St. [m/s²] |
|-------------|-----------|-------------|-----------------|
| 0           | v max.    | -0.60       |                 |

Braked Weight Percentage (BWP) [%]: 100

a = -(C1+C2\*BWP) C1: 0.069 C2: 0.0060 Result [m/s²]: -0.669

☐ Use Dynamic Braking above [km/h]:

☐ Correct Deceleration on Gradients [m/s²/2%]

Min. Dec. [m/s²]: Max. [m/s²]:

ETCS Dec. Delay [s]: 0.0 above [km/h]: 0.0

Cancel OK

Inspector - Edge

Track

Len.: Cal. [m] 157

Len. Σ : [m] 157

Radius: [m] none

Gradient: [%] 0.00

no Tunnel

Radio (ETCS)

Overlap / Slip ☐

Rack Rail ☐

Power Supply:

Link: Del. New ---

Speed [km/h]

| Type        | 1->2 | 1<-2 |
|-------------|------|------|
| Cargo Train | 90   | 90   |
| Pass. Train | 100  | 100  |
| HS. Train   | 150  | 150  |

☒ Same Speed Copy

General

Line Name:

Track Name:

Edge Name:

Vertex Kilometre Points

From: To:

Misc.

Res.: Free State Swap

ID: 472 Element: 893

Set Data

## Пойыздар категориясы параметрлерін таңдау терезесі

**Train Categories**

Category Name: **Category 2**

Category 1

---

**Dispatching**

| Delay [s] | Priority |
|-----------|----------|
| 0.0       | 1        |

Look ahead Distance [m]: 0

Look ahead Time [s]: 0.0

Selection of alt. Routes: offensive

---

**Initial Delay**

☐ Use Initial Delay

Distribution: negative exponential

| Mean [s] | Max. [s] | Perc. [%] |
|----------|----------|-----------|
| 0.0      | 0.0      | 0.0       |

---

**Station Dwell and Delays**

Add Delays to: Dept. Time

☐ Use max. Station Delay [s]:

Used Station Delays [%]: 100.0

Dwell Time Variation Early Trains: 0 [s] Delay [s]: <= -1

Dwell Time Variation Delayed Trains: 0 [s] Delay [s]: >= 1

Dept. Process Time [s]: 0.0

---

**Misc.**

Driving on Sight Speed [km/h]: 40.0

☒ Use Power On/Off Signals

Power On Process Time [s]: 0

---

**Performance**

☐ Use Square of Perf. for Acc. and Dec.

☐ Use Performance Distribution (on Time)

| From  | To [%] | Perc. [%] |
|-------|--------|-----------|
| 100.0 | 100.0  | 100.0     |

---

☐ Use Performance Distribution (delayed)

| From  | To [%] | Perc. [%] |
|-------|--------|-----------|
| 100.0 | 100.0  | 100.0     |

---

**Timetable Defaults**

☒ Stop at every Station [s]: 900

Timing Stations: as def. in Station DB

Min. Connection Time: 00:07:00

Use Track Names: No

---

**Category Delay Settings**

Small Delay [s]: >= 1 Default

Medium Delay [s]: >= 60 Default

Large Delay [s]: >= 300 Default

---

**Colors**

Category Color:  

Background Color:  

Sort Delete Dupl. New OK

## Пойыздардың маршруттарын енгізу терезесі

**Courses / Services**

| Use | ID   | Desc. | Comm. | Kind |
|-----|------|-------|-------|------|
| ✓   | 3002 |       |       |      |
| ✓   | 3004 |       |       |      |

Itineraries: I:KUR\_[384]-JAR\_[723] 1

Description:

Comment:

Kind:

Train: 3004

Train Category: Category 2

Train Speedtype: Cargo Train

Route Reservation / Release: Moving

Timetable: First Departure: 09:00:00 at KUR

Perf. (on Time) [%]: 100

Perf. (delayed) [%]: 100

Entry Speed [km/h]: 0.0

Output Offset [m]: 0

Used: 2 Active: 2 Selected: 1

Sort by: ID Num.

Inv. Unuse Use

Select: all

Search ID

Delete Update Sets Analyze Duplicate Edit New

**Courses / Services - Edit**

Course ID: 3004

Description:

Comment:

Kind:

| Itinerary             | Priority |
|-----------------------|----------|
| I:JAR_[698]-KUR_[366] |          |
| I:JAR_[716]-KUR_[252] |          |
| I:KUR_[236]-JAR_[723] |          |
| I:KUR_[384]-JAR_[723] | 1        |

Search

Train: 3004

Speedtype: Cargo Train

Route Reservation / Release: Moving

Route Additional Reservation Time [s]: 0.0

Route Additional Release Time [s]: 0.0

Performance (on Time) [%]: 100

Performance (delayed) [%]: 100

Entry Speed [km/h]: 0

Output Offset [m]: 0

Cancel Reset Itin. OK