

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

6В07103 – Автоматтандыру және роботтандыру

Тұрлыбеков Ерназ Жеңісұлы

«Өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін талдау»

Дипломдық жұмысқа  
**ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБА**

6В07103-Автоматтандыру және роботтандыру


Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**  
Автоматтандыру және басқару  
кафедрасының меңгерушісі,  
физика-математика ғылымдарының  
кандидаты

 Алдияров Н.У.  
«10» 06 2023 ж.

Дипломдық жұмысқа  
**ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБА**

Тақырыбы «Өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін  
талдау»

6B07103 - «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығы

Орындаған:

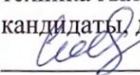
Тұрлыбеков Ерназ Жеңісұлы

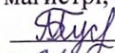
Рецензент:

Ғылыми жетекші:

техника ғылымдарының  
кандидаты, доцент

техника ғылымдарының  
магистрі, аға оқытушы

 Сагындыкова Ш.Н.

 Мүсілімов Қ.Б.

«01» 06 2023 ж

«31» 05 2023 ж.

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

6B07103 - «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығы

**БЕКІТЕМІН**

Автоматтандыру және басқару  
кафедрасының меңгерушісі,  
физика-математика ғылымдарының  
кандидаты

Алдияров Н.У.

«18» 06 2023 ж.



### Дипломдық жұмысты орындауға арналған ТАПСЫРМА

Білім алушы Тұрлыбеков Ерназ Жеңісұлы

Жобаның тақырыбы: «Өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін талдау»

Университет проректоры Б.А.Жаутиковтың «23» қараша 2022 ж. № «408-П/Ө» бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «12» 06 2023 ж.

Дипломдық жобада әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

а) кіріспе;

б) технологиялық бөлім, есептік бөлім.

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып): *функционалдық сұлба, құрылымдық сұлба.*




Жұмыс презентациясы 17 слайдтарда көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер 12 атаулардан тұрады.


Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, зерттеп дайындалатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Технологиялық бөлім	15.03.23	
Арнайы бөлім	15.05.23	

Аяқталған дипломдық жоба үшін, оған қатысты бөлімдердің жобасын көрсетумен, кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Технологиялық бөлім	Мүсілімов Қ.Б., техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы	20.03.23	
Есептік бөлім	Мүсілімов Қ.Б., техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы	22.05.23	
Норма бақылаушы	Жанабаева Ә.Ж., техника ғылымдарының магистрі, ассистент	30.05.23	

Ғылыми жетекшісі  Мүсілімов Қ.Б.

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы  Тұрлыбеков Е.Ж.

Күні « 26 » 12 2022 ж.

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ПІКІРІ**

Дипломдық жұмысқа

Тұрлыбеков Ерназ Жеңісұлы

6В07103 – Автоматтандыру және роботтандыру

**Тақырыбы:** Өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін талдау

Дипломдық жұмыстың нәтижесі реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімді тәсілін анықтау болып табылады.

Технологиялық бөлімде өнеркәсіпте жиі қолданылатын реттегіштерге көңіл бөлінген. Реттегіштердің жалпы және негізгі қасиеттері жазылды.

Еептік бөлімде реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің түрлері салыстырылып айырмашылықтары жазылған. Құрылымдық сұлбасы сызылып оның жалпы құрылысы бейнеленіп, сипатталған.

Дипломдық жоба Қазақстан Республикасының жоғарғы оқу орындарына қойылатын талаптарды қанағаттандырады.

Тұрлыбеков Е.Ж. дипломдық жұмысты орындау барысында өзінің еңбекқорлығын, тиянақтылығын көрсете білді, автоматтандыру үрдісі бойынша толықтай өз білімін көрсетіп, алдына қойылған тапсырмаларды уақытында орындап, оларды шеше білді.

Жалпы дипломдық жұмысты толық деп бағалап, оны орындаушы Тұрлыбеков Ерназ Жеңісұлы 6В07103 – «Автоматтандыру және роботтандыру» оқу бағдарламасы бойынша дипломдық жұмысты қорғауға және бакалавр академиялық дәрежесіне лайық деп санаймын.

**Ғылыми жетекші:**

Техника ғылымдарының  
магистрі, аға оқытушы

Мүсілімов Қ.Б.  
«31» 05 2023ж.

## СЫН-ПІКІР

Дипломдық жұмыс үшін

Тұрлыбеков Ерназ Жеңісұлы

6B07103 – Автоматтандыру және роботтандыру мамандығы

**Тақырыбы:** Өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін талдау

Орындалды: а) кіріспе 7 бетте

б) технологиялық бөлім 8 бетте, есептік бөлім 17 бетте

### Жұмысқа ескерту

Бұл дипломдық жұмыста өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін талдау болып табылады.

Технологиялық бөлімде өнеркәсіптік реттегіштердің түрлерінің жалпы және негізгі қасиеттері, параметрлері және реттегіштерді синтездеу әдістері, олардың айырмашылығы жазылды.

Дипломдық жұмыстың есептік бөлімінде жүйе құрылып, функционалды сұлбасы сызылып, қарастырылды. Осы бөлімде қамтылған әдістермен жұмыс жасалып өзара салыстырылды.

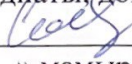
Matlab бағдарламасында Simulink пакетінде модель жиналып әдіс нәтижелері график түрінде алынды.

### Жобаны бағалау

Дипломдық жұмыста барлық мәселелер толық сипатталғанын есепке ала отырып, дипломдық жұмысты “95/А/өте жақсы”, деп бағалап, оны орындаушы Тұрлыбеков Ерназ Жеңісұлы 6B07103 – «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне сай деп санаймын.

### Сын-пікір беруші:

Ғ.Даукеев атындағы АЭЖБУ АжБ  
техника ғылымдарының  
кандидаты, доцент

 Сагындыкова Ш.Н.

«\_\_» мамыр 2023ж.



### Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Тұрлыбеков Е.Ж.

**Название:** Өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін талдау

**Координатор:** Сарсенбаев Н.С.

**Коэффициент подобия 1:** 0.00%

**Коэффициент подобия 2:** 0.00%

**Замена букв:** 5

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: \_\_\_ и Коэффициент подобия 2: \_\_\_\_\_. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«31» мая 2022 г.

Дата

  
Подпись Научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия  
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения заявляет, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Тұрлыбеков Е.Ж.

**Название:** Өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін есептеу әдістерінің тиімділігін талдау

**Координатор:** Сарсенбаев Н.С.

**Коэффициент подобия 1:** 0.00%

**Коэффициент подобия 2:** 0.00%

**Замена букв:** 5

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0


**Белые знаки:** 0

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем не допускаю работу к защите.


Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: \_\_\_ и Коэффициент подобия 2: \_\_\_. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«31» мая 2023 г.  
Дата

  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**  
Дипломный проект допускается к защите.

«31» мая 2023 г.  
Дата

  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения



## АНДАТПА

Бұл дипломдық жобада өнеркәсіптік реттегіштерді және оларды қолдану аясын талдау міндеті қарастырылады.

Бірінші тарауда өнеркәсіптік реттегіштердің негізгі түрлерінің сипаттамасы берілген. Реттегіштердің әр түрінің артықшылықтары мен кемшіліктері келтіріледі, сондай-ақ белгілі бір реттегіштің қай жерде қолданылатыны көрсетіледі.

Екінші тарауда барлық түрдегі реттегіштері бар математикалық модельдің есебі сипатталған. Реттегіштердің әрбір түрі бар жүйе үшін реттегіштердің әрбір түрі енгізетін өзгерістерді көрсететін өтпелі процесс құрылады. Әр графикке реттегіштің әсер ету сапасын анықтайтын сипаттама беріледі. Барлық реттегіштері бар жүйелерді құрғаннан кейін барлық жүйелерге салыстырмалы талдау жасалады және соның негізінде берілген жүйе үшін ең жақсы реттегіштер таңдалады.

Қорытындыда жүргізілген жұмыстардың қорытындысы шығарылады, реттегіштердің қандай да бір түрінің қолданылуы туралы қорытындылар жасалынды.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассматривается задача анализа промышленных регуляторов и сферы их применения.

Первая глава содержит описание основных видов промышленных регуляторов. Приводятся достоинства и недостатки каждого вида регуляторов, а также указывается, где именно применяется тот или иной регулятор.

Вторая глава описывает расчет математической модели с включенными в ее состав регуляторами всех видов. Для системы с каждым видом регуляторов строится переходной процесс, который отображает изменения, вносимые каждым видом регуляторов. К каждому графику приводится характеристика, определяющая качество воздействия регулятора. После построения систем со всеми регуляторами, производится сравнительный анализ всех систем, на основании которого выбираются лучшие регуляторы для заданной системы.

В заключении подводятся итог произведенных работ, делаются выводы о применимости того или иного вида регуляторов.

## ANNOTATION

In this thesis project, the task of analyzing industrial regulators and the scope of their application is considered.

The first chapter contains a description of the main types of industrial regulators. The advantages and disadvantages of each type of regulator are given, and it is also indicated where exactly one or another regulator is used.

The second chapter describes the calculation of a mathematical model with regulators of all kinds included in its composition. For a system with each type of regulators, a transition process is built that displays the changes made by each type of regulators. For each schedule, a characteristic is given that determines the quality of the regulator's impact. After building systems with all regulators, a comparative analysis of all systems is performed, on the basis of which the best regulators for a given system are selected.

In conclusion, the results of the work performed are summarized, conclusions are drawn about the applicability of one or another type of regulators.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1    Технологиялық бөлім	8
1.1  Өнеркәсіптік реттегіштер	8
1.2  П, ПИ, ПИД-реттегіштер	9
1.2.1 П-реттегіш	9
1.2.2 ПИ-реттегіш	9
1.2.3 ПД-реттегіш	10
1.2.4 ПИД-реттегіш	10
1.3  Басқару жүйесін құру	11
1.3.1 Жүйе сапасының жиілік критерийлері	13
1.3.2 Реттегіштерді синтездеу әдістері	13
1.3.3 Аналитикалық синтез	14
2    Есептік бөлім	17
2.1  Жүйе	17
2.2  Зиглер-Никольстың бірінші әдісі	19
2.3  Зиглер-Никольстың екінші әдісі	21
2.4  Кун Әдісі	24
2.5  Чин-Хронес-Ресвик Әдісі	27
2.6  Simulink ортасында автоматты түрде орнату	29
2.6.1 П-реттегішті автоматты түрде орнату	30
2.6.2 И-реттегішті автоматты түрде орнату	31
2.6.3 ПИ-реттегішті автоматты түрде орнату	33
2.6.4 ПД-реттегішті автоматты түрде орнату	34
2.6.5 ПИД-реттегішті автоматты түрде орнату	36
2.7  Спектрлік әдіс	37
2.8  Есептеу әдістерін салыстыру	39
Қорытынды	42
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	43

## КІРІСПЕ

Өндіріс жағдайында өнеркәсіптік реттегіштерді жаппай қолдану оларды конфигурациялаудың әртүрлі әдістерін қолдану қажеттілігіне әкеледі, өйткені осы немесе басқа реттегіштің ерекшелігіне және ол арналған жүйеге байланысты әр жағдайға сәйкес келетін әмбебап теңшеу әдісі жоқ. Реттегіштердің параметрлерін тиімді конфигурациялауды анықтау кез-келген өндірістегі өзекті мәселе болып табылады.

Бұл дипломдық жобаның мақсаты ең дәл және тиімді әдісті анықтау үшін өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін таңдаудың әртүрлі әдістерінің тиімділігін салыстыру болып табылады.

Бірінші тарауда өнеркәсіптік реттегіштер, олардың түрлері, қолдану аясы және айырмашылықтары сипатталады. ПИД-реттегішінің ерекшеліктері, сондай-ақ оның әр түрінің артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталады.

Екінші тарауда Зиглер-Никольс әдісі, Кун әдісі, Чин-Хронес-Ресвик әдісі, сондай-ақ MATLAB ортасындағы параметрлерді автоматты түрде таңдау сияқты әртүрлі әдістермен берілген жүйе үшін реттегіштер орнатылады.

Қорытындыда алынған негізгі нәтижелер келтіріледі, атқарылған жұмыстың қорытындысы шығарылады.

# 1 Технологиялық бөлім

## 1.1 Өнеркәсіптік реттегіштер

Автоматты Реттеу Жүйелері (АРЖ) синтезі мен талдауының күрделі мәселесі объектінің және реттегіштің жиынтығын қамтамасыз ету болып табылады, онда Автоматты Реттеу Жүйелері (АРЖ) тұтастай алғанда реттеудің қажетті тұрақтылығы мен сапасын қамтамасыз етеді. Өрт сөндіру бөлімінің қызметкері үшін зерттелетін материалдың маңыздылығы мен дұрыс жобаланған автоматты реттеу жүйесі объектінің қасиеттерін ескере отырып, дұрыс жасалғандығын растайды, таңдалған реттеуші технологиялық процестің өрт қауіпсіздігін арттырады.

Жалпы автоматты реттеу жүйелеріне ұқсас, автоматты реттегіштерді әртүрлі критерийлер бойынша жіктеуге болады.

Реттелетін шаманың сипатына байланысты температура, қысым, ағын жылдамдығы, айналу жылдамдығы, деңгей және т.б. реттегіштер ажыратылады.

Қолданылатын энергия түрі бойынша: пневматикалық, электрлік, гидравликалық.

Қолданылатын принципке байланысты реттегіштер ауытқу (қате) реттегіштер, бұзылу реттегіштері және аралас реттегіштер болып бөлінеді.

Сезімтал элементтің реттеуші органға әсер ету әдісіне байланысты реттегіштер тікелей және жанама әсер етуі мүмкін.

Тікелей әрекет реттегіштері реттеуші органды жүйенің сезімтал элементі тікелей жылжытатын реттегіштер деп аталады. Мұндай жүйелерде қосымша энергия көздері жоқ.

Жанама әрекетті реттегіш басқару сигналын күшейтуге мүмкіндік беретін құрылғыларды қамтитын реттегіш деп аталады.

Тапсырманың түріне байланысты реттегіштер тұрақтандырғыш, бағдарламалық жасақтама, бақылау болып бөлінеді.

Реттеу заңы бойынша автоматты үздіксіз басқару элементтері келесіге бөлінеді:

- 1) пропорционалды немесе статикалық реттегіштер (П-реттегіштер);
- 2) интегралды немесе астатикалық реттегіштер (және-реттегіштер);
- 3) пропорционалды интегралды немесе изодромды реттегіштер (ПИ-реттегіштер);
- 4) пропорционалды-дифференциалды реттегіштер немесе алдын ала пропорционалды реттегіштер (ПД-реттегіштер);
- 5) пропорционалды-интегралды-дифференциалды реттегіштер немесе алдын ала изодромды реттегіштер (ПИД-реттегіштері) [1].

## 1.2 П, ПИ, ПИД-реттегіштер

### 1.2.1 П-реттегіш

П-реттегіш – бұл пропорционалдық коэффициенттің идеалды күшейтуімен сипатталатын құрылғы:

$$W_p(S) = K_p \quad (1)$$

Пропорционалды компонент реттелетін шаманың белгілі бір уақытта байқалатын берілген мәннен ауытқуына қарсы шығатын сигнал шығарады. Ол неғұрлым үлкен болса ауытқу да соғұрлым көп болады. Егер кіріс сигналы белгіленген болса, онда шығыс нөлге тең болады.

Алайда, тек пропорционалды реттегішті қолданған кезде реттелетін шаманың мәні ешқашан берілген мәнге тұрақталмайды. Статикалық қате деп аталатын нәрсе, ол реттелетін шаманың ауытқуына тең және дәл осы мәнде шығыс шамасын тұрақтандыратын шығыс сигналын қамтамасыз етеді.

Кіріс пен шығыс арасындағы пропорционалдылық коэффициенті (пайда) неғұрлым көп болса, статикалық қате соғұрлым аз болады, алайда пайда тым көп болған кезде автоматты тербелістер басталуы мүмкін, ал коэффициент одан әрі жоғарылаған сайын жүйе тұрақтылығын жоғалтуы мүмкін.

Реттегіштің бұл түрі өтпелі және тұрақты режимдердегі қажетті сапа көрсеткіштеріне сигналдың динамикалық түрлендірулеріне жүгінбестен жүйенің күшейту коэффициентін қарапайым реттеу арқылы қол жеткізуге болатын кезде қолданылады [2].

### 1.2.2 ПИ-реттегіш

Бұл реттегіш жүйенің дәлдігін тұрақты режимде жақсарту үшін қолданылады. ПИ-реттегішінің беріліс функциясы келесі түрге ие:

$$W_{PI}(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I S}\right) = K_p + \frac{K_I}{S} \quad (2)$$

мұндағы  $T_I$ -интегралдау уақытының тұрақтысы,  
 $K_I$ -интегралдау коэффициенті.

ПИД-реттегішін реттеу екі кезеңде жүреді:

1) алдымен пропорционалды компонент реттелетін шаманы берілген мәнге тез жақындатады және реттеу қатесінің негізгі бөлігін қалдық статикалық қатеге дейін азайтады.

2) содан кейін интегралды компонент бұл қатені берілген шығыс мәніне дейін өтейді. Қайта реттеуді болдырмау үшін интегралды компонент баяу жұмыс істейді.

Реттегіште пропорционалды компоненттің болуы реттеу қатесінің пайда болуына жылдам жауап береді яғни ол жоғары өнімді болады. Изодром деп аталатын интегралды компонентке байланысты және реттегіштің өзі изодромды, ПИ-реттегіші реттеудің жоғары дәлдігін береді.

### 1.2.3 ПД-реттегіш

ПД-реттегішінің беріліс функциясы келесі түрге ие:

$$W_{PD}(S) = K_p(1 + T_D s) = K_p + K_D s \quad (3)$$

мұндағы  $T_D$ -дифференциалдау уақытының тұрақтысы,  
 $K_D$ -дифференциалдау коэффициенті.

Пропорционалды-дифференциалды реттегіш жүйенің жылдамдығын арттыру үшін қолданылады. Туынды бойынша реттеу тәуелсіз мәнге ие емес, өйткені тұрақты күйде қателік туындысы нөлге тең және басқару тоқтатылады. Алайда, бұл өтпелі кезеңдерде үлкен рөл атқарады, өйткені ол қатенің өсу немесе төмендеу тенденциясын ескеруге мүмкіндік береді. Нәтижесінде жүйенің реакция жылдамдығы артады, өнімділік жоғарылайды, динамикадағы қате азаяды.

Сонымен қатар, пропорционалды дифференциалды реттегіштер екі бейтарап байланысы бар немесе бір бейтарап және бір тұрақсыз байланысы бар реттелетін жүйелерді тұрақтандыруға жарамды. Реттеу тізбегінің жалпы күшейту коэффициентінің жоғарылауы статикалық қателердің азаюына әкеледі [3].

### 1.2.4 ПИД-реттегіш

ПИД-реттегіші өтпелі процестің түрін де, тұрақты режимдегі дәлдікті де жақсарту қажет болған кезде басқару жүйелерінде қолданылады. Классикалық ПИД-реттегішінің беріліс функциясы келесідей:

$$W_{PID}(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right) = K_p + \frac{T_I}{s} + K_D s \quad (4)$$

ПИД-реттегіштерінің бірнеше түрлі формалары бар. Техникалық жүйелерде қолданылатын ең танымал:

1) классикалық немесе іске асырылмайтын ең танымал және кең таралған, оның берілу функциясы жоғарыда келтірілген.

2) пневматикалық құрылғылары бар жүйелерде ПИД-реттегіштерді қолдану нәтижесінде туындаған дәйекті. Беру функциясы формуламен сипатталады:

$$W_{PID}(S) = K_p (\alpha + T_D s) \left(1 + \frac{1}{\alpha T_I s}\right), T_I \geq T_D, \alpha = \frac{1 \pm \sqrt{1 - \frac{4T_D}{T_I}}}{2} > 0 \quad (5)$$

3) сүзгісі бар ПИД-реттегіші [4]. Реттегіштердің классикалық және дәйекті формалары таза дифференциацияны қамтиды, бұл жоғары жиілікте іске асырумен және үлкен күшейтумен байланысты бірқатар мәселелерді тудыруы мүмкін, қосымша сүзгілер жиі қолданылады, екі кіші форманы ажыратуға болады:

а) дифференциалды компонент сүзгісі бар ПИД-реттегіші:

$$W_{PID}(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{1 + \frac{T_D}{N} s}\right), N = 2 \dots 20 \quad (6)$$

б) кіріс сүзгісі бар ПИД-реттегіші:

$$W_{PID}(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right) \frac{1}{(T_f + 1)^n} \quad (7)$$

мұндағы  $T_f$ -сүзгі тұрақтысы, n-әдетте n = 1 таңдалатын сүзгі дәрежесі.

### 1.3 Басқару жүйесін құру

Тығыздау процесінде асфальтбетон қоспасының тығыздау дәрежесі бойынша жабдықты басқаруды қамтамасыз ету қажет. Асфальт төсеушінің жұмыс процесінің ерекшелігі-тығыздау жабдығының режимдерін орнатуды машинист-оператор қолда бар басқару органдарын қолдана отырып, әдістемелік ұсынымдардың ақпараттық деректері негізінде жүзеге асырады. Бұл оңтайлы тығыздау дәрежесін қамтамасыз ету үшін тығыздалған ортаның кернеулі-деформацияланған күйінің ағымдағы күйін жедел ескеруге мүмкіндік бермейтін параметрлердің субъективті параметрі болып табылады.

Жол-құрылыс материалдарын тығыздау процесін автоматты басқару жүйесін қалыптастыру асфальт төсеушінің жұмыс процесінің динамикасы туралы ақпаратқа негізделуі тиіс. Бұл дегеніміз, автоматты басқару жүйесі (АБЖ) ақпаратты тез қабылдауы керек және қажет болған жағдайда асфальтбетон

қоспасының тығыздау коэффициентін сапалы реттеу параметрлеріне әсер етуі керек.

Жүйеге қойылатын негізгі талаптарға мыналар жатады:

- 1) қажетті тығыздау коэффициентін қамтамасыз ету;
- 2) жұмыс процесінде жүйені қайта реттеудің болмауы;
- 3) АБЖ-мен жұмыс істеу кезінде орнатудың қарапайымдылығы;

ПИД-реттегіші бар жабық жүйеде реттеу сапасын бағалау үшін әдетте кадамдық кіріс әсері және өтпелі процестің пішінін сипаттау үшін бірқатар критерийлер қолданылады:

максимум  $e_{\text{Max}}$  реттеу қателері және қате осы максимумға жететін  $T_{\text{max}}$  уақыт моменті;

$d$  ыдырау декреті-бірінші максимумның екіншісіне қатынасы,  $D = 4$  және одан жоғары типтік мән статикалық қате  $E$ -тепе-теңдік, яғни тұрақты немесе статикалық жүйе режиміндегі тұрақты қате;

реттеу (немесе орнату) уақыты  $T_P$  берілген  $\Delta$  қатесі бар-бұл реттеу қатесі берілген  $\Delta$  мәнінен аспайтын уақыт, әдетте 5%;

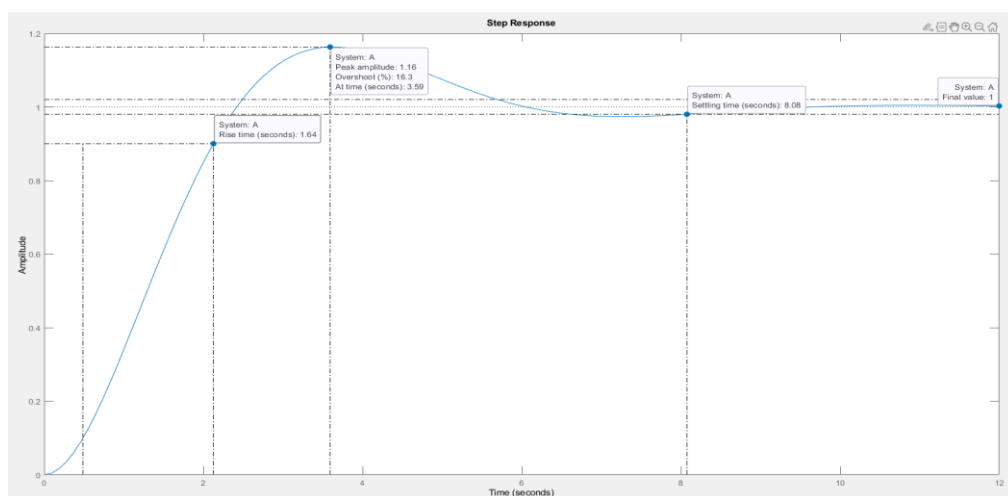
$\sigma$  шамадан тыс реттеу – бұл бірінші шығарылымның айнымалының белгіленген мәнінен асып кетуі, әдетте белгіленген мәнің пайызымен көрсетіледі;

өсу уақыты  $t_n$ -бұл Шығыс айнымалысы өзінің тұрақты мәнінің 10-нан 90% - на дейін өсетін уақыт аралығы;

әлсіреген тербеліс кезеңі  $T$  (қатаң айтқанда, әлсіреген тербелістер периодты емес, сондықтан бұл жерде период өтпелі сипаттаманың көршілес екі максимумы арасындағы қашықтықты білдіреді).

Басқару жүйелері үшін сынақ сигналы ретінде секіру функциясы емес, сызықтық өсу сигналы жиі қолданылады, өйткені электромеханикалық жүйелерде әдетте шығыс шамасының өсу жылдамдығы шектеулі.

Берілген критерийлер бағамның өзгеруіне де, сыртқы бұзылулар мен өлшеу шуларының әсеріне де жауап сапасын бағалау үшін қолданылады.



1.1 - сурет – Өтпелі сипаттама бойынша сапа көрсеткіштерін анықтау



1.1-суретте өтпелі процестің сапа көрсеткіштерінің анықтамасы көрсетілген. Мұнда өсу уақыты, реттеу уақыты, қайта реттеу және тұрақты мән көрсетілген.

### 1.3.1 Жүйе сапасының жиілік критерийлері

Жиілік аймағында әдетте жабық жүйенің логарифмдік амплитудалық және жиілік сипаттамаларының (ЛАЖС) графиктерінен алынған келесі критерийлер қолданылады:

Өткізу жолағы – ЛАС (Логарифмдік амплитуда сипаттамалары) қисығы  $L(0)$  нөлдік жиіліктегі мәніне қатысты 3 дБ-ден аспайтын жиілік жолағы;

тербеліс  $M$ -максималды (шың) мәнінің ЛАС (Логарифмдік амплитуда сипаттамалары) нөлдік жиіліктегі оның мәніне қатынасы  $L(0)$ , яғни тұрақты режимде типтік мәндер болып табылады  $M = 1,5...1,6$ ;

жүйенің резонанстық жиілігі-ЛАС (Логарифмдік амплитуда сипаттамалары) максимумға жететін жиілік  $L_{max} = L(\omega_r)$ .

Нақты реттегіштердегі жиілік критерийлері сызықтық емес (әдетте "шектеу" типті сызықтық емес) және интегралды қанықтыру әсерін жою алгоритмдеріне байланысты уақыт критерийлерімен ерекше байланысты болмауы мүмкін [5]. Дегенмен, жиілік пен уақыт аймақтарындағы критерийлер арасында шамамен келесі тәуелділіктерді орнатуға болады:  $T_n\omega - 3\text{дБ} \approx 2$ ;

1) тұйық жүйенің беріліс сипаттамасының максималды жиілігі қадамдық кіріс әсеріне жауаптың әлсіреген тербеліс кезеңіне шамамен сәйкес келеді;

2) тербелістер неғұрлым баяу сөнсе, соғұрлым тербеліс көрсеткіші  $M$ .

### 1.3.2 Реттегіштерді синтездеу әдістері

Бүгінгі таңда реттегіштерді синтездеудің қолданыстағы әдістерін келесі топтарға бөлуге болады:

1) интуитивті орнату. Реттеу әдісі басқару мақсатына жеткенше ПИД-реттегішінің параметрлерін бір-біріне тәуелсіз "түйсігі" бойынша өзгертуді қамтиды.

2) сипаттамалық әдістер. Бұл әдістер практикалық тәжірибе негізінде пайда болды (Зиглер-Никольс әдістері сияқты) және ашық тізбектегі сынақтан алынған мәліметтер бойынша реттегішті орнатуды білдіреді.

3) аналитикалық әдістер (алгебралық синтез). ПИД-реттегішінің параметрлері объект моделі мен басқару мақсаты арасындағы аналитикалық немесе алгебралық тәуелділіктерден есептеледі (мысалы, ішкі модель әдісі және ламбда орнату). Әдетте, аналитикалық әдістер қарапайым формулалар береді және оларды адаптивті жүйелерде қолдануға болады, алайда аналитикалық түрде басқару мақсаты және басқару объектісінің жеткілікті дәл моделі қажет.

4) жиілік әдістері. Басқару объектісінің жиілік сипаттамалары ПИД-реттегішін реттеу үшін қолданылады. Әдетте, бұл әдістер ресурстарды қажет етеді және робастикалық ПИД-реттегіштерін синтездеу үшін қолданылады.

5) оңтайлы синтез. Бұл әдістерді оңтайлы басқарудың ерекше түрі ретінде қарастыруға болады, мұнда ПИД-реттегішінің коэффициенттері сандық оңтайландыру әдістері, компьютерлік эвристика немесе эволюциялық алгоритмдер арқылы анықталады. Әдетте, оңтайландыру айтарлықтай ресурстарды қажет етеді және уақыт аймағында жүзеге асырылады.

Бұл жіктеу толық және шектеулі емес. Тәжірибеде қолданылатын кейбір әдістер бірнеше топтарға жатады.

Реттеу техникасы жаңа тәсілдер мен әдістердің жеткілікті санын жинақтағанына қарамастан, автоматты реттегіштерді жобалау және олардың автоматты басқаруға қойылатын нақты талаптарды қанағаттандыратын параметрлерін анықтау одан әрі байыпты пысықтауды қажет етеді. Техниканың заманауи деңгейі мен практика талаптарын ескере отырып, мәселені шешудің негізгі бағыты реттегіштерді есептеу әдістерін түбегейлі жетілдіру, сондай-ақ бейімделетін реттеу жүйелерін құру болып табылады.

Реттегіштерді қолмен немесе автоматты түрде жобалаудың белгілі бір әдістерін таңдау критерийлері шамалы өзгереді. Көп жағдайда бұл әдістер аналогтық және дискретті реттеу жүйелері үшін қолданылады. Сонымен қатар, жобаның нақты процеске жеткілікті сәйкестігін қамтамасыз ету маңызды деп саналады, ал реттеу жүйесіндегі динамикалық процестердің параметрлері мен сипатын енгізу процесінде технологиялық объектіде проблемаларсыз нақтылауға қол жеткізіледі. Реттегіштерді теңшеу әдісін таңдауда олардың дизайн тәжірибесінде қолданудың қарапайымдылығына және модельдеу кезінде еңбекқорлыққа үлкен мән беріледі.

Төменде ПИД-реттегішінің параметрлерін реттеудің ең танымал әдістері мен әдістерінің қысқаша сипаттамасы берілген: жиілік аймағындағы аналитикалық синтез (жиілік әдісі), Зиглер-Никольс, Кун әдістері, сипаттамалық әдістер, қолмен реттеу әдісі және оңтайлы синтез әдісі [6].

### 1.3.3 Аналитикалық синтез

Жиілік аймағындағы аналитикалық синтез немесе жиілікті синтездеу әдісі- бұл ашық күйдегі басқару жүйесінің жиілік сипаттамаларын қолданатын және негізделген әдіс Найквист критерийлері. Бұл әдіс уақыт сипаттамалары туралы нақты баға бермейді, бірақ жүйенің тұрақты режимдегі әрекеті (басс аймағы), тұрақтылық қорлары және жүйенің өткізу қабілеттілігі туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді [7].

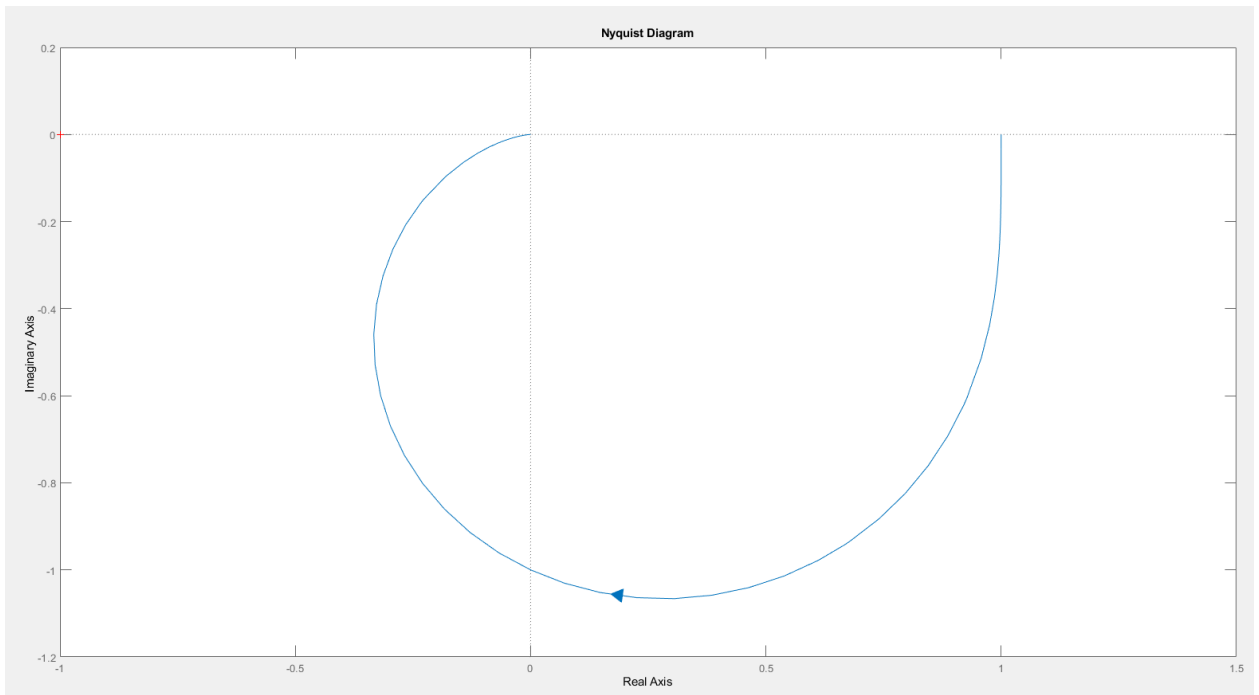
Біз классикалық ПИД-реттегішін синтездеу үшін теңдеулер аламыз. оның берілу функциясы (4) формуласымен ұсынылған.

Түзетілген ашық жүйеге арналған Найквист диаграммасы  $\omega_{p1}(j\omega_{cp1})$  кесу жиілігінде  $\omega_{cp1}$   $\gamma$  нүктесінен өтеді – фазалық қор [8].

Немесе басқаша:

$$W_{p1}(j\omega_{cp1}) = PW_{PID}(j\omega_{cp1}) \times W_p j\omega_{cp1} = e^{j(-180^\circ + \gamma_1)} \quad (8)$$

мұндағы  $\omega_p(j\omega_{cp1})$  – түзетілмеген ашық жүйенің беріліс функциясы,  
 $W_{pid}(j\omega_{cp1})$  – классикалық ПИД-реттегішінің беріліс функциясы.



1.2 - сурет – Найквист критерийі

1.2-суретте жүйенің тұрақтылығын көрсететін Найквист критерийі көрсетілген.

Функцияның аргументін белгілеу арқылы  $W_{PID}(j\omega_{cp1})$  арқылы  $\theta$ , және формула бойынша (8) шығады:

$$\theta = PW_{PID}(j\omega_{cp1}) = -180^\circ + \gamma_1 - \arg(W_p j\omega_{cp1}) \frac{180^\circ}{\pi} \quad (9)$$

Алдыңғы екі формуладан алынған:

$$K_p + j(K_D\omega_{cp1} - \frac{K_1}{\omega_{cp1}}) = |W_{PID}(j\omega_{cp1})| \times (\cos \theta + j \sin \theta) \quad (10)$$

Бұл неден шығады:

$$|W_{PID}\omega_{cp1}| = \frac{1}{|W_p\omega_{cp1}|} \quad (11)$$

(11) ескере отырып, (10) теңдеудегі нақты бөліктерді теңестіру нәтиже береді:

$$K_P = \frac{\cos \theta}{|W_P j \omega_{cp1}|} \quad (12)$$

Ойдан шығарылған бөліктерді теңестіру нәтиже береді:

$$K_D \omega_{cp1} - \frac{K_1}{\omega_{cp1}} = \frac{\sin \theta}{|W_P j \omega_{cp1}|} \quad (13)$$

Белгілі  $\omega_{cp1}$  кезінде теңдеу негізінде  $K_P$  коэффициенті есептеледі. Содан кейін, мысалы,  $K_1$  коэффициентін (тұрақты режимдегі жүйенің сапасына қойылатын талаптарға сүйене отырып) Орнатып,  $K_D$ -ге қатысты теңдеуді шешуге болады және керісінше.

Егер түзетілген жүйенің кесу жиілігі  $\omega_{cp1}$ . бастапқыда белгісіз, содан кейін оны реттеу уақытын белгілей отырып, арақатынас бойынша таңдауға болады  $T_P$ .

$$\omega_{cp1} = \frac{8}{|t_P t g_{\gamma 1}|} \quad (14)$$

Алайда, бұл қатынас тек екінші ретті типтік жүйелер үшін дәл. Жоғары деңгейлі жүйелер үшін ол тек жуықтау ретінде қызмет ете алады және өте дөрекі.

$\Omega_{cp1}$  жиілігінде реттегіш жасаған фазалық ауысым оң немесе теріс болуы мүмкін, ал функция модулі бірліктен үлкен немесе кіші болуы мүмкін. Сондықтан  $\omega_{cp1}$  жиілігін таңдаудағы жалғыз шектеу  $\omega_{cp1}$  (9) формуласы бойынша  $\theta$  бұрышының абсолютті мәні  $90^\circ$  - тан аз болуы керек.

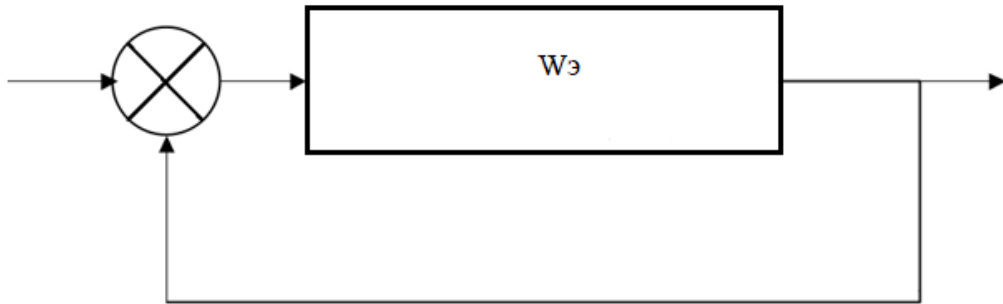
(12) және (13) теңдеулер жалпы сипатқа ие және ПИД реттегішінің кез келген модификациясын синтездеуге қолданылады. Мысалы,  $K_1 = 0$  болады деп сену  $P_D$  реттегіші, және нәтижесінде:

$$K_D = \frac{\sin \theta}{\omega_{cp1} \times |W_P \omega_{cp1}|} \quad (15)$$

## 2 Есептік бөлім

### 2.1 Жүйе

Жүйенің мысалы ретінде келесі үшінші ретті беру функциясы қолданылады. Ол асфальтбетон қозғалтқыш білігінің айналу жиілігін реттеу жүйесінің қозғалтқышын сипаттайды.



2.1 - сурет – Құрылымдық сұлба

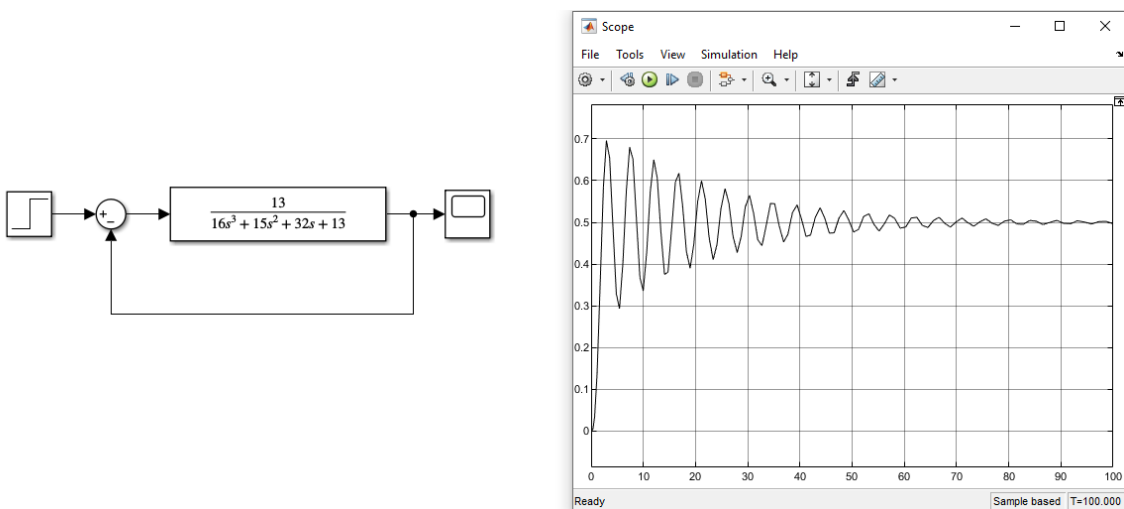
2.1 - суретте жүйенің құрылымдық сұлбасы көрсетілген.

Бұл схема келесі беру функциясымен сипатталады.

Жүйенің мысалы ретінде келесі үшінші ретті беру функциясы қолданылады:

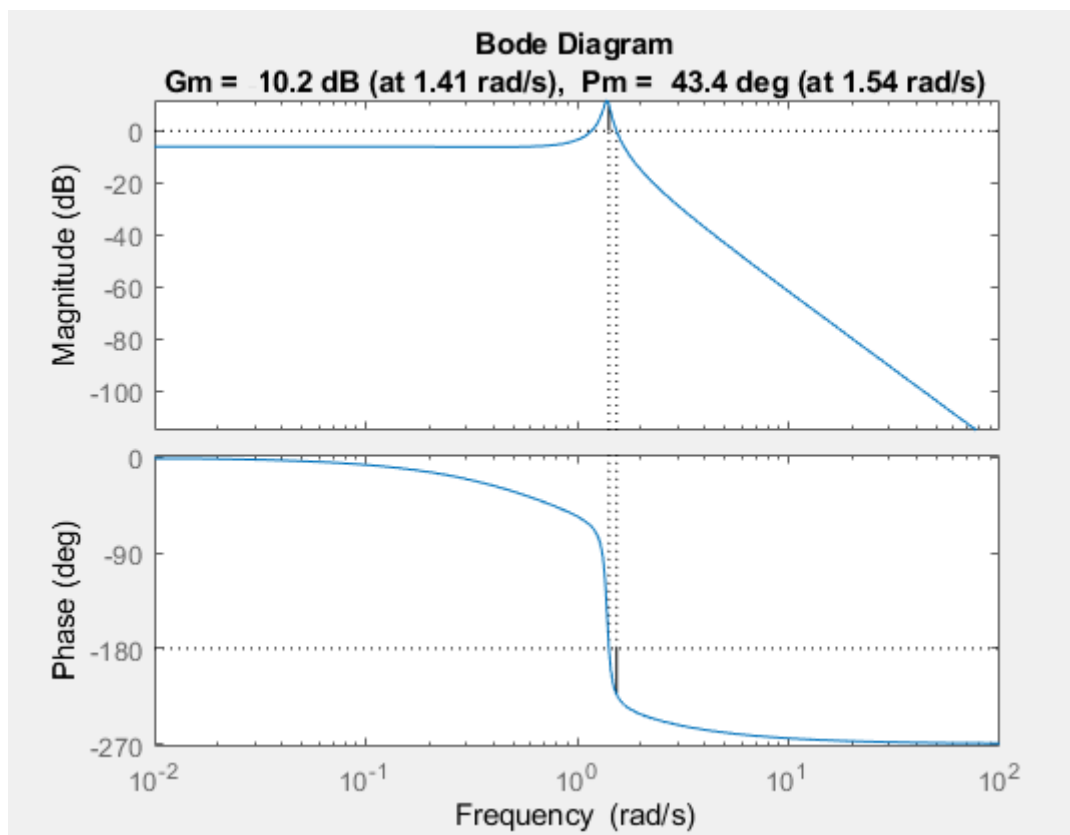
$$W(S) = \frac{12}{16S^3 + 15S^2 + 32S + 13}$$

Оның жабық өтпелі процесін құру қажет.



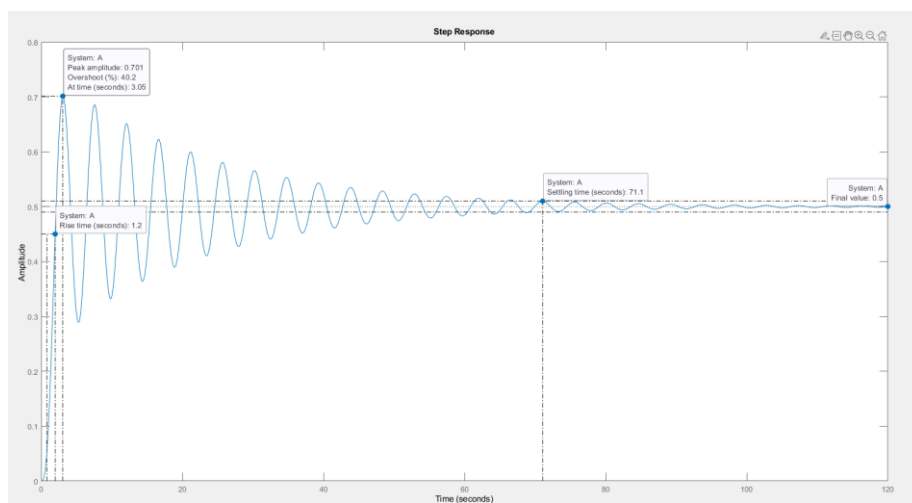
2.2 - сурет – Жабық жүйенің өтпелі процесі

2.2 - суретте сіз оның жабық өтпелі процесін көре аламыз. Жүйе жоғары тербеліске ие. Реттегіштерді бағалау критерийі жүйенің минималды баяулауы кезінде қабілетті болады. Оның дәлдігін арттырамыз және тербелісті азайтамыз.



2.3 - сурет –Тұрақтылық қоры

2.3 - суретте жүйенің тұрақтылық қорын табу көрсетілген. Күшті тербеліс және күшейтудің төмен шекті мәні жүйенің кез-келген қолайлы тұрақтылық маржасына ие болмауына әкеледі.



2.4 - сурет –Жүйенің сапасын бағалау

2.4 - суретте жүйенің сапасын бағалау көрсетілген. Келесі мәліметтер алынды:

- реттеу уақыты 71.1 секунд.
- 40.2 қайта реттеу%
- Тербелістер саны 16
- тербеліс:

$$\mu = \frac{0.684}{0.701} \times 100\% = 97.5\% ;$$

- бірінші максимумға жету уақыты 0.637
- өсу уақыты, 1.2
- әлсіреу декреті:

$$\chi = \frac{|0.701 - 0.5|}{|0.684 - 0.5|} = 1.09 .$$

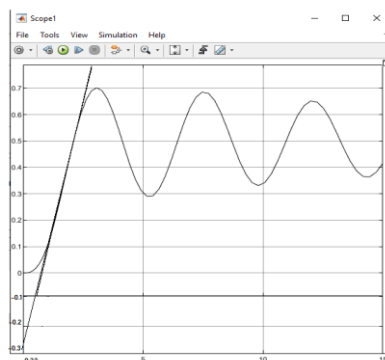
Статикалық қате 0.5

Жүйе талаптардың ешқайсысын қанағаттандырмайды. Қайта реттеу 40% құрайды, тербелістердің үлкен саны, жүйе баяу және тұрақтылық маржасы жоқ. Мұның бәрі реттегішті таңдау критерийі болады.

## 2.2 Зиглер-Никольстің бірінші әдісі

Бұл әдіс эмпирикалық болып табылады, ПИД-реттегішінің параметрлерін есептеудің алғашқы әдістерінің бірі пайда болды. Ол объектіні сипаттау үшін тек екі параметрді пайдаланады: басқару объектісінің өтпелі сипаттамасымен анықталатын  $a$  және  $L$ . Зиглер-Никольс әдісімен реттегіштің ПИД коэффициенттерін есептеу формулалары [9]:

$$K_p = \frac{1.2}{a}, K_I = \frac{K_p}{0.9L}, K_D = \frac{0.5L}{K_p} \quad (16)$$

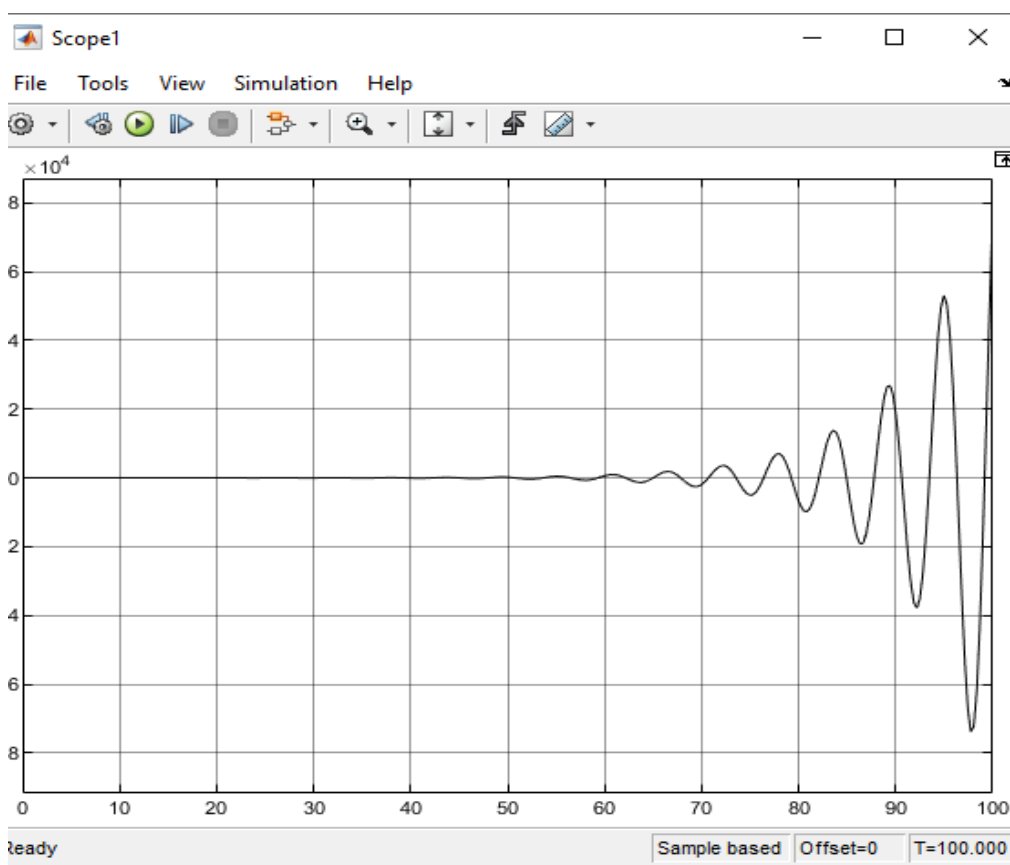


2.5 - сурет – Кеңейтілген өтпелі сипаттама

2.5-суретте графикке жанама сызылған кеңейтілген өтпелі сипаттаманы көруге болады. Оған сәйкес  $a=0.3$ ,  $L=0.23$ . Бұл деректерді формулаға ауыстыру арқылы келесі деректер алынады:

$$K_p = \frac{1.2}{0.3} = 4, K_I = \frac{4}{0.9 \times 0.23} = 19.32, K_D = \frac{0.5 \times 0.23}{4} = 0.02875$$

Модельдеуді жасамай-ақ, есептеуден алынған пайда жүйенің тұрақсыздығына әкелетін жүйенің күшейту коэффициентінің шекті мәнінен асып түсетінін көруге болады. Осыған байланысты есептеу үшін бұл коэффициент  $K_p=0.4$  дейін 10 есе азайды.



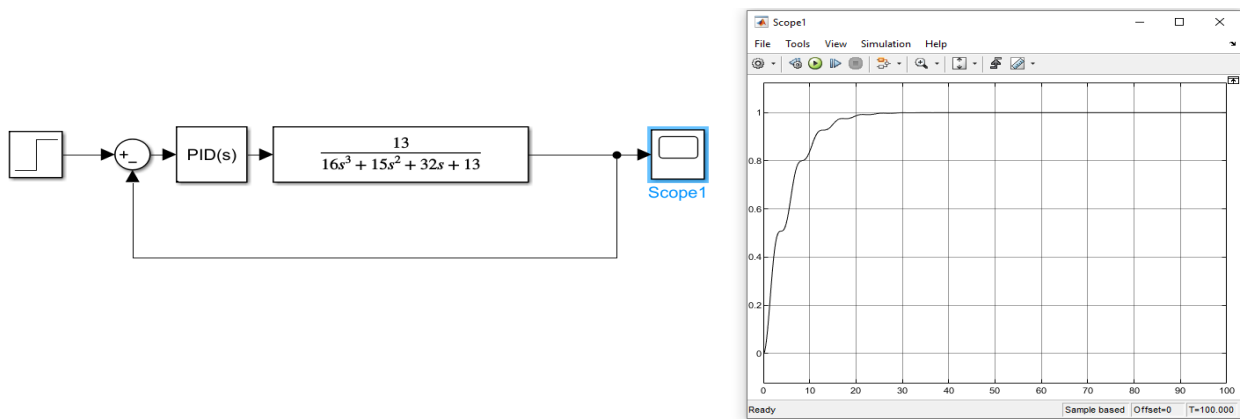
2.6 - сурет – Тұрақсыз жүйе

2.6-суретте мұндай параметрлері бар реттегіш жүйені тұрақсыздыққа әкелетінін көруге болады. Пайда рұқсат етілген шектерден аспайтындықтан, мәселе интеграция коэффициентінің тым үлкен мәні болып табылады, сондықтан ол 10 есе азаяды.

Нәтижесінде реттеуші үшін жаңа мәндер келесідей:

$$K_p = 0.4, K_I = 0.1932, K_D = 0.2875$$





2.7 - сурет – Реттегіші бар жүйе

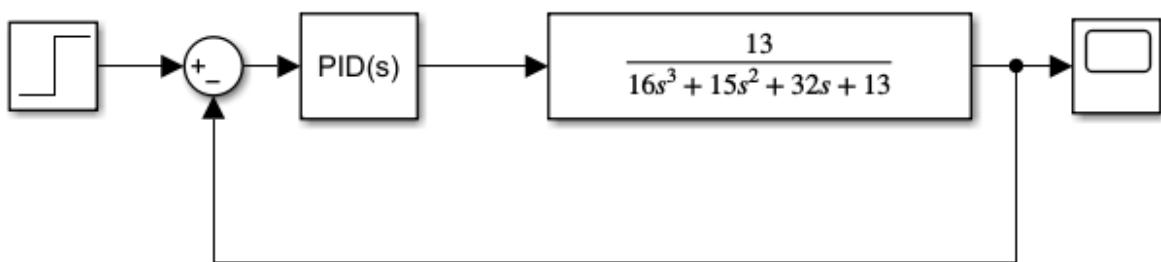
2.7 - суретте таңдалған параметрлері бар реттегіші бар жүйені модельдеу көрсетілген. Көріп отырғаныңыздай, жүйе дәл болды, қайта реттеу мен тербелістер жоғалып кетті, сонымен қатар өнімділік артты.

Алайда, реттеушіге арналған мәліметтер қолмен азайтылғандығын ескере отырып, бұл әдіс 3 ретті жүйелердің параметрлерін есептеу үшін мүлдем жарамсыз деп қорытынды жасауға болады. Ол оң күшейту мәндерінің шегі жоқ екінші ретті жүйелер үшін реттегіштерді есептеуге жарамды.

### 2.3 Зиглер-Николстың екінші әдісі

Зиглер-Никольстың екінші әдісімен ПИД-реттегіштерінің параметрлерін тауып, оған реттегіш қосылған жүйені зерттеу керек.

Жүйеге  $K_{cr}$  мәні белгісіз П-реттегішті қосу қажет.



2.8 - сурет – Реттегіші бар жүйе

2.8 - суретте оның құрамына реттегіш қосылған жүйе көрсетілген. Берілген параметрлері жоқ реттегіші бар жүйенің беру функциясы:

$$S = \frac{13}{16s^3 + 15s^2 + 32s + 26}$$

Гурвиц матрицасы арқылы  $Kcr$  шекті күшейту коэффициентін табу керек:

$$16s^3 + 15s^2 + 32s + 26Kcr = 0$$

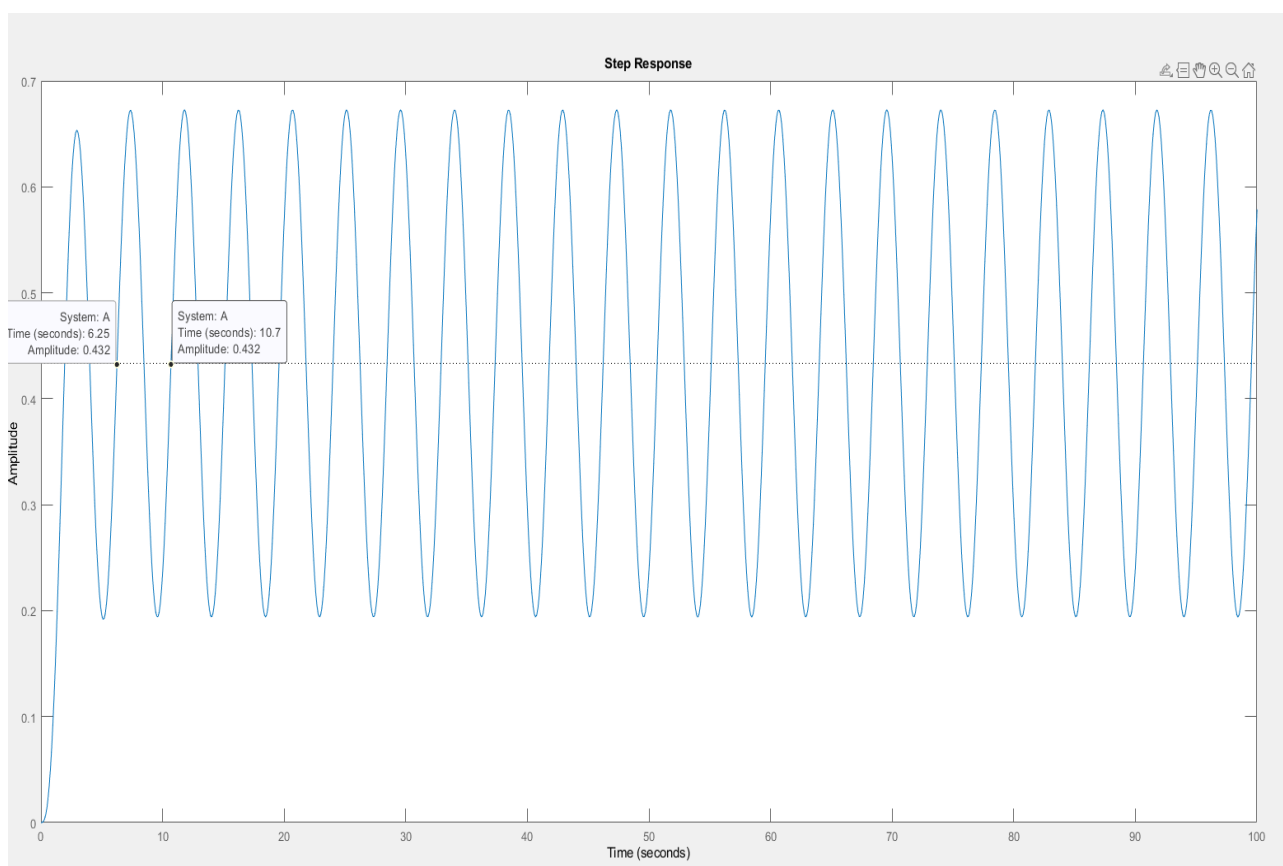
$$H = \begin{bmatrix} 15 & 26Kcr & 0 \\ 16 & 32 & 0 \\ 0 & 15 & 26Kcr \end{bmatrix}$$

$$15 \cdot 32 \cdot 26Kcr - 26Kcr \cdot 16 \cdot 26Kcr = 0$$

$$30 - 26Kcr = 0$$

$$Kcr = 1.1538$$

Шекті коэффициент табылды және ол  $Kcr=1.1538$ . Осы коэффициентті жүйеге енгізе отырып, өтпелі процесті құру және тұрақтылық шекарасында жүйенің өтпелі кезеңі бойынша  $Pcr$  мәнін табу қажет.



2.9 - сурет – Тұрақтылық шекарасындағы жүйе

2.9 - суретте тұрақтылық шекарасындағы жүйенің өтпелі процесі көрсетілген. Оған сәйкес  $Pcr$  анықтау керек.  $Pcr=4.45$ . Енді  $Kcr$  және  $Pcr$  көмегімен реттегіштердің параметрлерін табу керек. Параметрлерді есептеу формулалары 2.3.1 - кестеде көрсетілген.

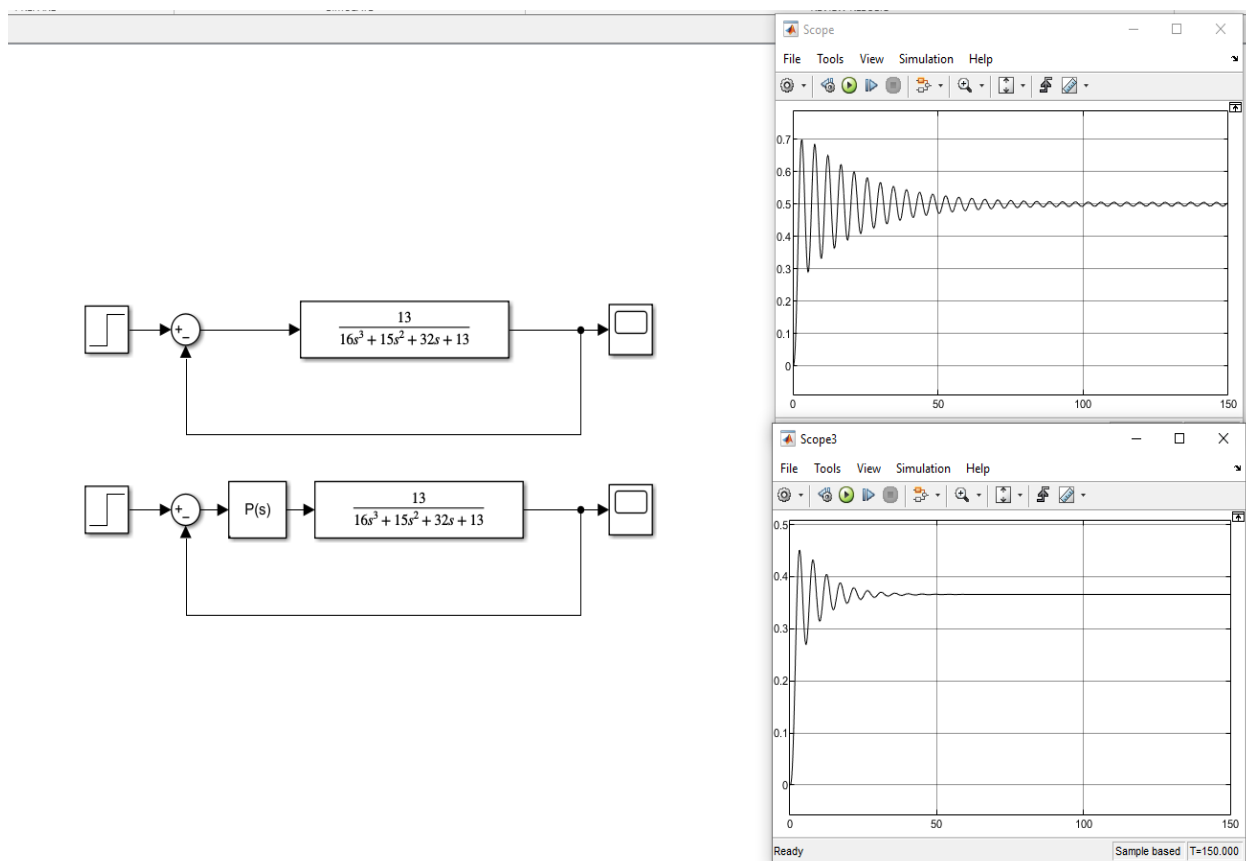
### Кесте 2.3.1 – Параметрлерді есептеу формулалары

	П	И	Д
П-реттегіш	$0.5K_{cr}$	-	-
ПИ-реттегіш	$0.45K_{cr}$	$P_{cr}/1.2$	-
ПИД-реттегіш	$0.6K_{cr}$	$P_{cr}/2$	$P_{cr}/8$

### Кесте 2.3.2 – параметрлерді есептеу

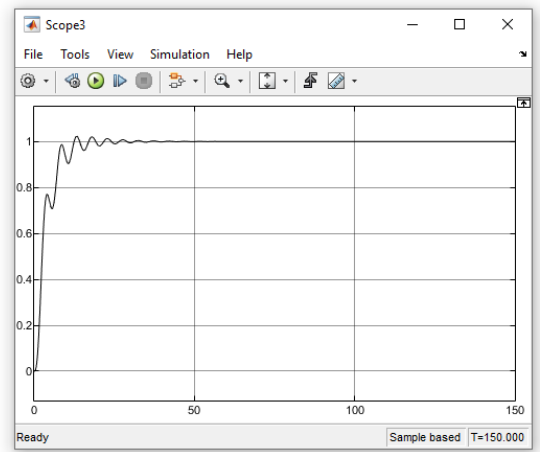
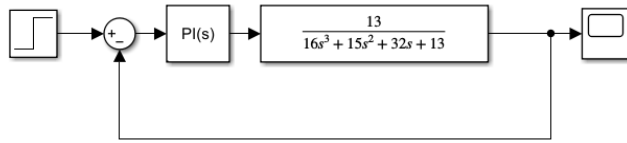
	П	И	Д
П	$0.5 * 1.1538 = 0.5769$	-	-
ПИ	$0.45 * 1.1538 = 0.51921$	$4.45 / 1.2 = 3.708^{-1} = 0.269$	-
ПИД	$0.6 * 1.1538 = 0.69228$	$4.45 / 2 = 8.9^{-1} = 0.112$	$4.45 / 8 = 0.55625$

2.3.2-кестеде реттегіштердің параметрлерін есептеу көрсетілген. Енді бұл мәндерді ауыстырып, реттеушілердің жүйеге әсері қандай екенін көру керек.



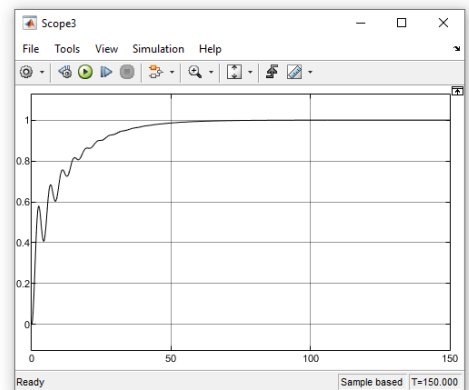
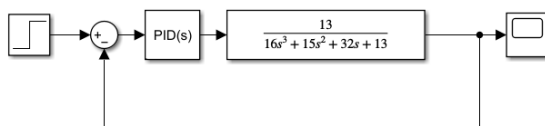
2.10 - сурет – Жүйені П-реттегішімен салыстыру

2.10 - суретте П-реттегіші жоқ және жоқ жүйе көрсетілген. Көріп отырғаныңыздай, тербеліс пен өнімділік айтарлықтай төмендеді, бірақ статикалық қатенің жоғарылауына байланысты жүйе дәл жоғалтты.



2.11 - сурет – Жүйені ПИ-реттегішімен салыстыру

2.11 - суретте П-реттегіші бар жүйе көрсетілген. Тербелісті азайтудан, сондай-ақ өнімділікті арттырудан басқа, жүйе статикалық қатені толығымен жоғалтты. ПИ-реттегіші тапсырманы өте жақсы орындады.



2.12 - сурет – Жүйені ПИД-реттегішімен салыстыру

2.12-суретте П-реттегіші бар жүйе көрсетілген. Дифференциалды сілтеме қайта реттеуден толығымен арылуға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, жүйенің жылдамдығында ол ПИ-реттегішінен біршама ұтылады, бұл белгілі бір дәрежеде процестің монотондылығымен өтеледі.

## 2.4 Кун Әдісі

Кун әдісіне уақыт константасы енгізіледі. Т-Бұл параметр қарастырылып отырған кез-келген объектінің өнімділігін сипаттайды . Ол жалпы түрдегі беру функциясы үшін енгізіледі [10]:

$$W(s) = \frac{K_s(1+T_{D1}s)(1+T_{D2}s)\dots(1+T_{Dm}s)}{(1+T_1s)(1+T_2s)\dots(1+T_{Dn}s)} \quad (17)$$

$T_E = T_1 + T_2 + \dots + T_{Dn} - T_{D1} - T_{D2} - \dots - T_{Dm}$  болғанда

Бұл әдісте теңшеудің екі әдісі бар: жылдам және қалыпты. Реттегішті жылдам баптау бірінші немесе екінші ретті объектілері бар жүйелер үшін қолданылады және қалыпты баптау жоғары ретті объектілері бар басқару жүйелері үшін қолданылады.

ПИД-реттегішінің параметрлері келесі қатынастар бойынша есептеледі:

$$K_n = K_p, K_u = \frac{K_p}{T_I}, K_d = K_p T_d \quad (18)$$

2.4.1-кестеде  $K_p$ ,  $T_I$  және  $T_d$  коэффициенттерін есептеу формулалары көрсетілген.

Кесте 2.4.1 –  $K_p$ ,  $T_I$  және  $T_d$  коэффициенттерін есептеу формулалары

Орнату түрі	$K_p$	$T_I$	$T_D$
Қалыпты	$k_s$	$0.66T_E$	$0.17T_E$
Жылдам	$0.5k_s$	$0.8T_E$	$0.12T_E$

Бұл әдіс тандалған жүйе үшін өте дәл емес, өйткені оны  $t$  уақытының тұрақты мөлшерін анықтау үшін дәл көбейту мүмкін емес, сондықтан оның мәні шамамен болады.

$$S = \frac{13}{16s^3 + 15s^2 + 32s + 13} = \frac{1}{1.23s^3 + 1.153s^2 + 2.46s + 1} = \frac{1}{s(1.08s + 0.53)(1.08s + 0.53) - 2.127} + 1$$

Жоғарыдағы теңдеуге сүйене отырып,  $T_E = 1.08 + 1.08 = 2.16$

2.4.2-кестеде жүйені қалыпты және жылдам конфигурациялауға арналған параметрлер бар.

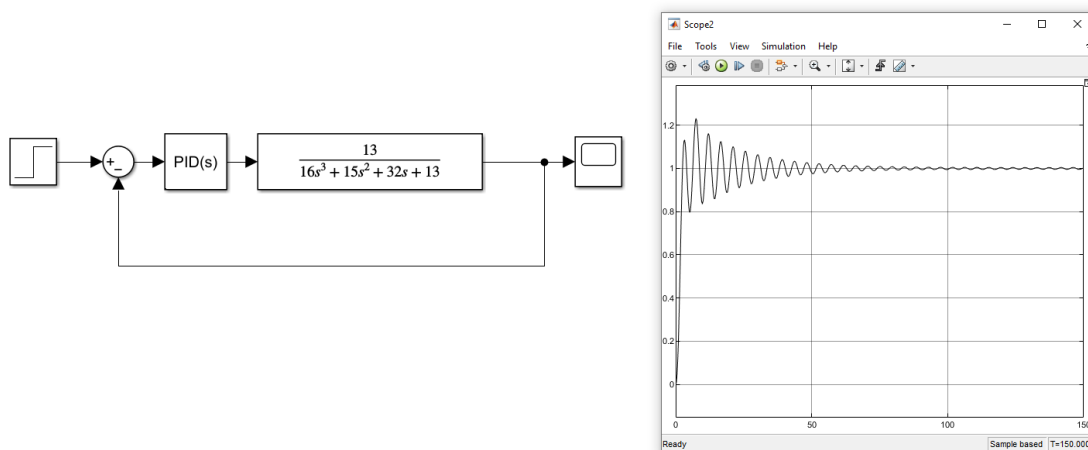
Кесте 2.4.2 – жүйені қалыпты және жылдам конфигурациялауға арналған параметрлер

Орнату түрі	$K_p$	$T_I$	$T_D$
Қалыпты	1	1.4256	0.3672
Жылдам	0.5	1.728	0.2592

Осыған сүйене отырып, ПИД-реттегішінің параметрлері 2.4.3-кестеде көрсетілген.

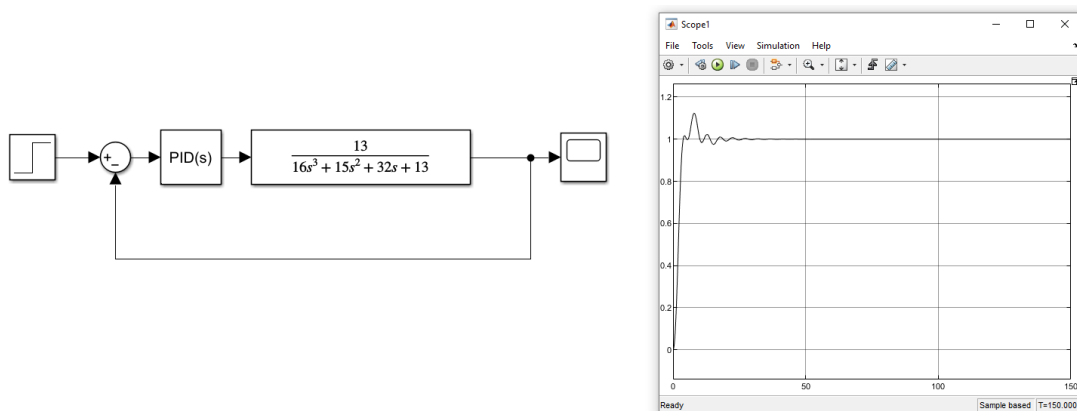
Кесте 2.4.3 – ПИД-реттегішінің параметрлері

Орнату түрі	П	И	Д
Қалыпты	1	0.701	0.3672
Жылдам	0.5	0.5787	0.2592



2.13 - сурет – Қалыпты баптауға арналған параметрлері бар жүйе

2.13 - суретте қалыпты баптауға арналған параметрлері бар жүйе көрсетілген. Көріп отырғаныңыздай, жүйенің дәлдігі артты, реттеу уақыты аздап қысқарды, қайта реттеу рұқсат етілген 30% шегінде орнатылды.

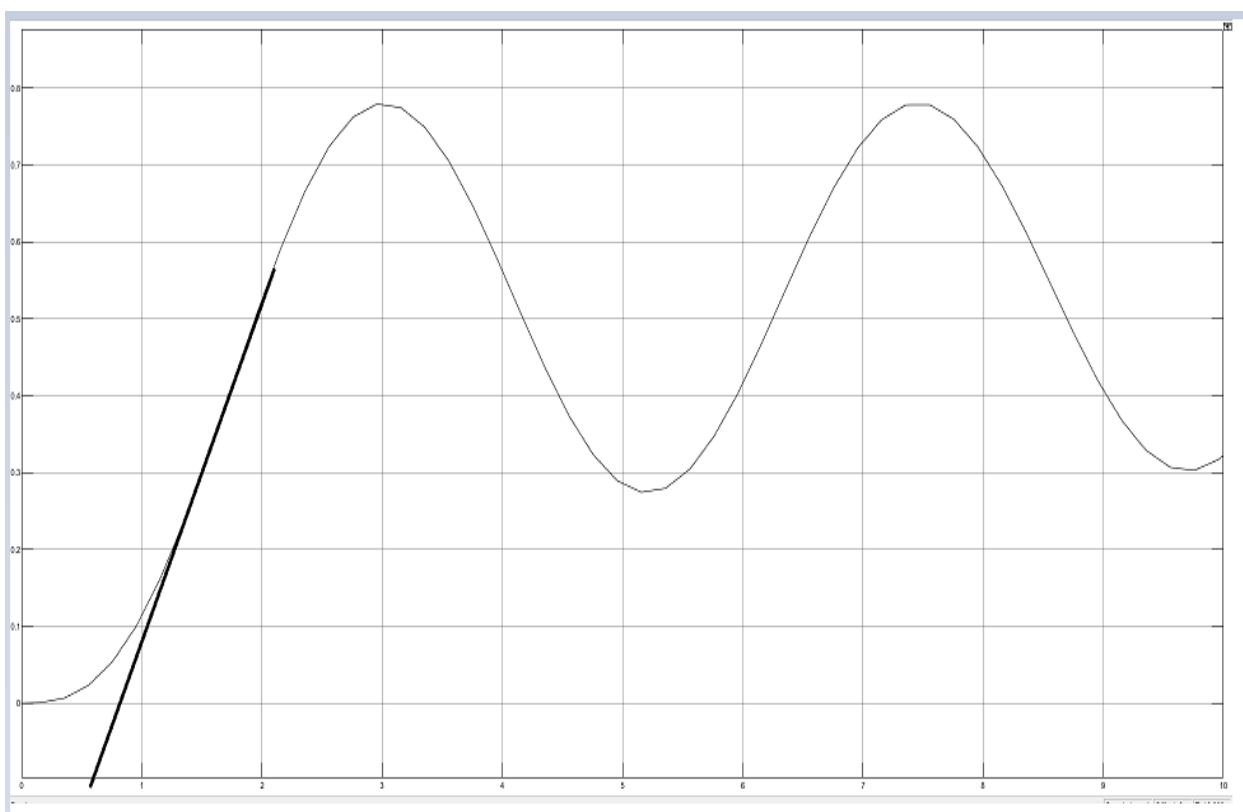


2.14 - сурет – Жылдам теңшеуге арналған параметрлері бар жүйе

2.14 - суретте жылдам конфигурациялауға арналған параметрлері бар жүйе көрсетілген. Осы параметрлермен жүйе айтарлықтай жақсарды. Тербелістердің жылдамдығы мен саны бірнеше есе өсті. Қайта реттеу сонымен қатар рұқсат етілген 30% - дан аспайды және жүйенің дәлдігі өсті. Жылдам теңшеу опциялары қалыпты теңшеу опцияларына қарағанда әлдеқайда тиімді екенін дәлелдеді.

## 2.5 Чин-Хронес-Ресвик Әдісі

Чин-Хронес-Ресвик әдісі - бұл жуықтау әдісі, оның артықшылығы параметрлерді реттеудің қарапайымдылығында. Бұл әдіс жаңа параметрлерді енгізеді, бұл кідіріс уақыты және өтпелі кесте бойынша анықталатын туралау уақыты. Сипаттаманың көтерілуінің басынан белгіленген мәнге дейін түзу сызық салу керек. 0-ге тең өтпелі сипаттаманың мәні бар сызық болатын уақыт белгісі  $T_u$ , ал тұрақты өтпелі мәннің сызығымен қиылысу кезіндегі уақыт белгісі  $T_g$  есептеу параметрі болып табылады. Ол үшін осы уақыт белгісінен  $T_u$  шегеру керек [11].



2.15 - сурет – Түзу сызықпен өтпелі процесс

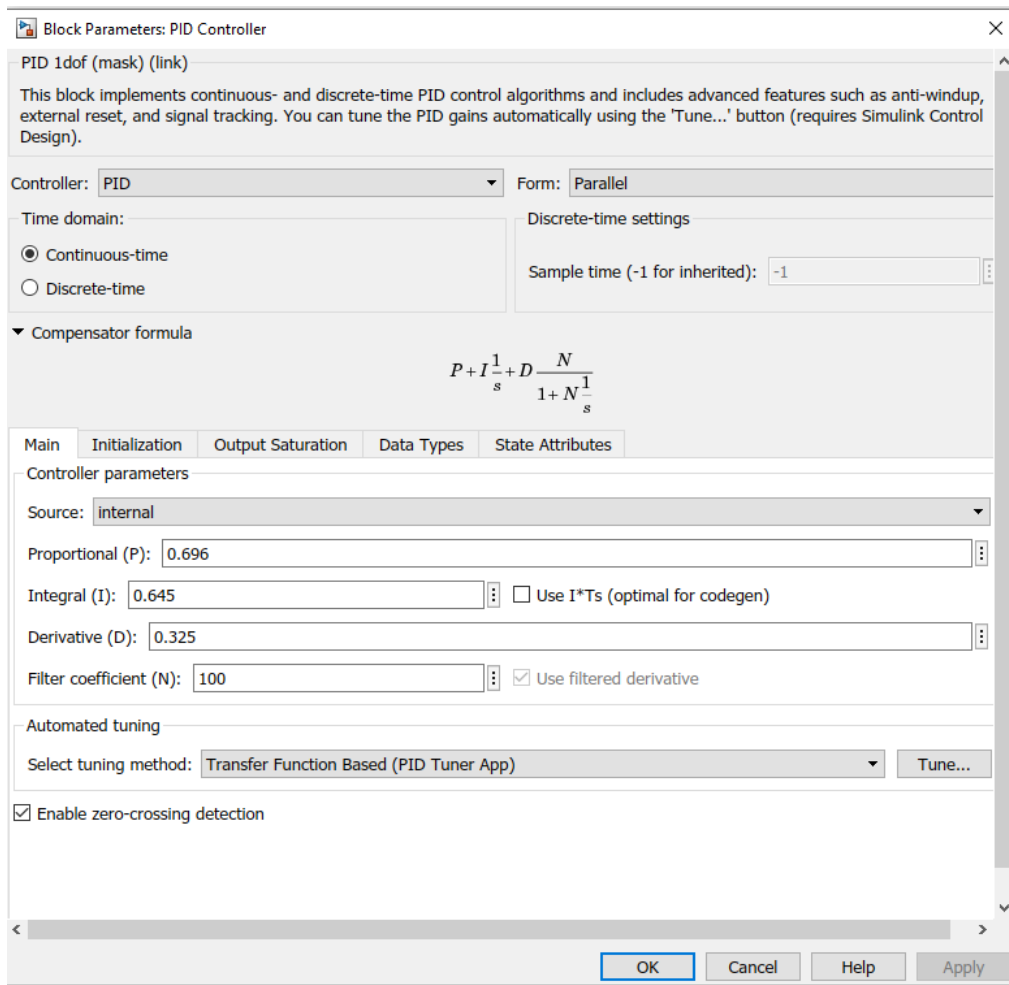
2.15 - суретте графиктің көтерілу сызығы бойымен сызылған сызықпен өтпелі кезең бейнеленген. Суретте көрсетілгендей  $T_u = 0.65$  с, ал  $T_g = 2.2 - 0.65 = 1.55$  с.

ПИД-реттегішінің параметрлері келесі түрмен есептеледі:

$$K_p = 1.66 \frac{T_u}{T_g} = 1.66 \times \frac{0.65}{1.55} = 0.696$$

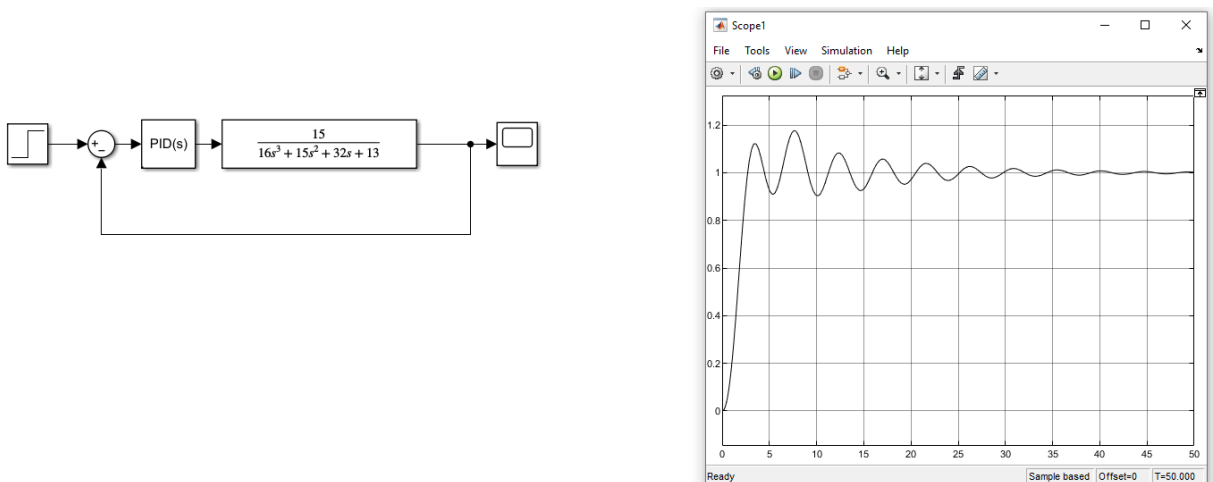
$$K_i = \frac{1}{T_g} = \frac{1}{1.55} = 0.645$$

$$K_d = 0.5T_u = 0.5 \times 0.65 = 0.325$$



2.16 - сурет – Реттегіш параметрлерін енгізу

2.16 - суретте ПИД-реттегішіне есептелген параметрлерді енгізу көрсетілген. 2.17 - суретте реттегіші бар жүйенің өтпелі процесін көре аламыз. Ол өтпелі процессте тербеліс көрсеткіші, қайта реттеу көрсеткіші, жүйенің өнімділігі өзгереді.



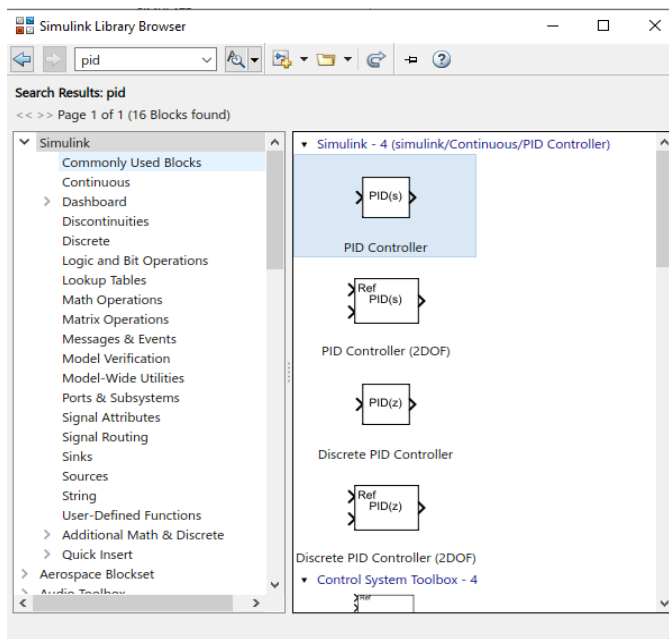
2.17 - сурет – Реттегіші бар жүйенің өтпелі процесі



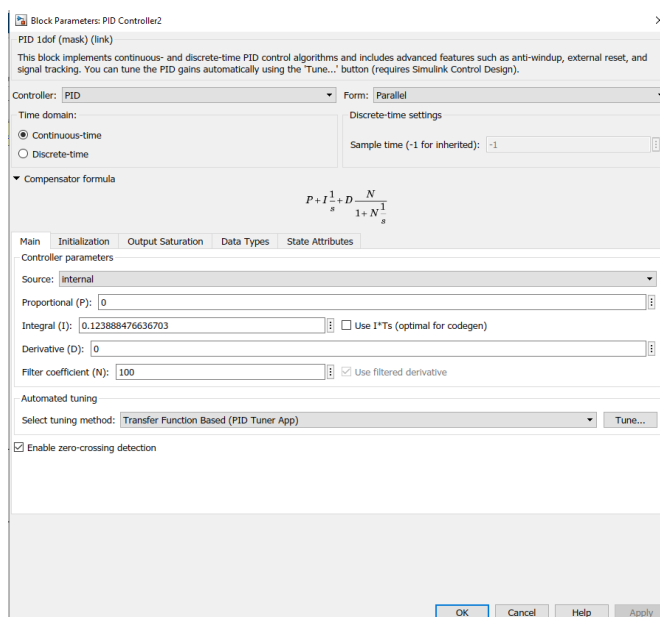
2.17 - суретте реттегіші бар жүйенің өтпелі процесі көрсетілген. Көріп отырғанымыздай, тербеліс азайды, қайта реттеу рұқсат етілген шектерде (30% - дан аз). Жүйенің өнімділігі де жақсы.

## 2.6 Simulink ортасында автоматты түрде орнату

Реттегішті автоматты түрде реттеу реттегіштің ПИД блогының көмегімен жүзеге асырылады.



2.18 - сурет – ПИД-реттегіш блогы

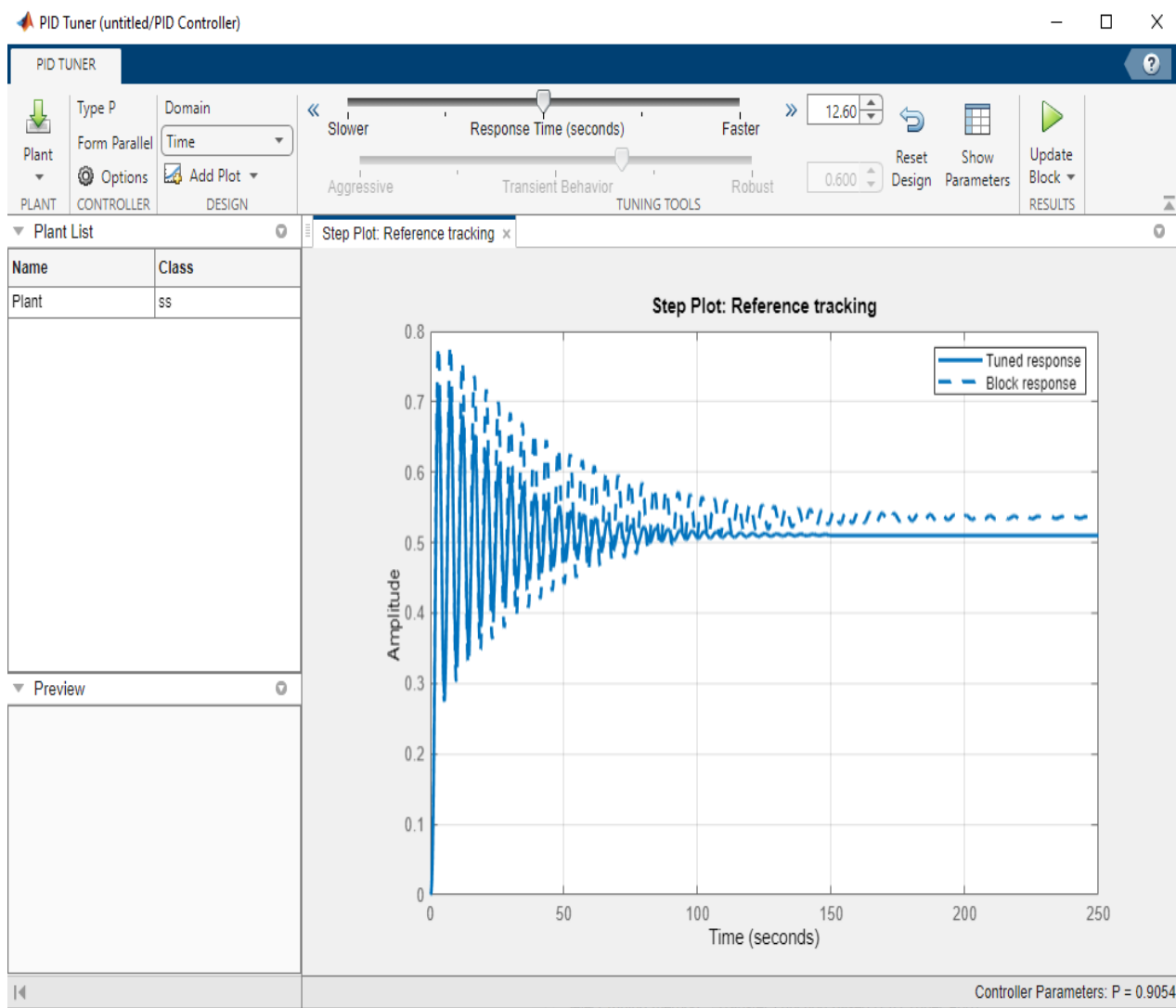


2.19 - сурет – Реттегіш параметрлері

2.19 - суретте реттегіштің параметрлері көрсетілген. Мұнда реттегіштің қандай түрін, сүзу коэффициентін, сондай-ақ сілтемелердің әрқайсысының параметрлерін таңдау жүзеге асырылады.

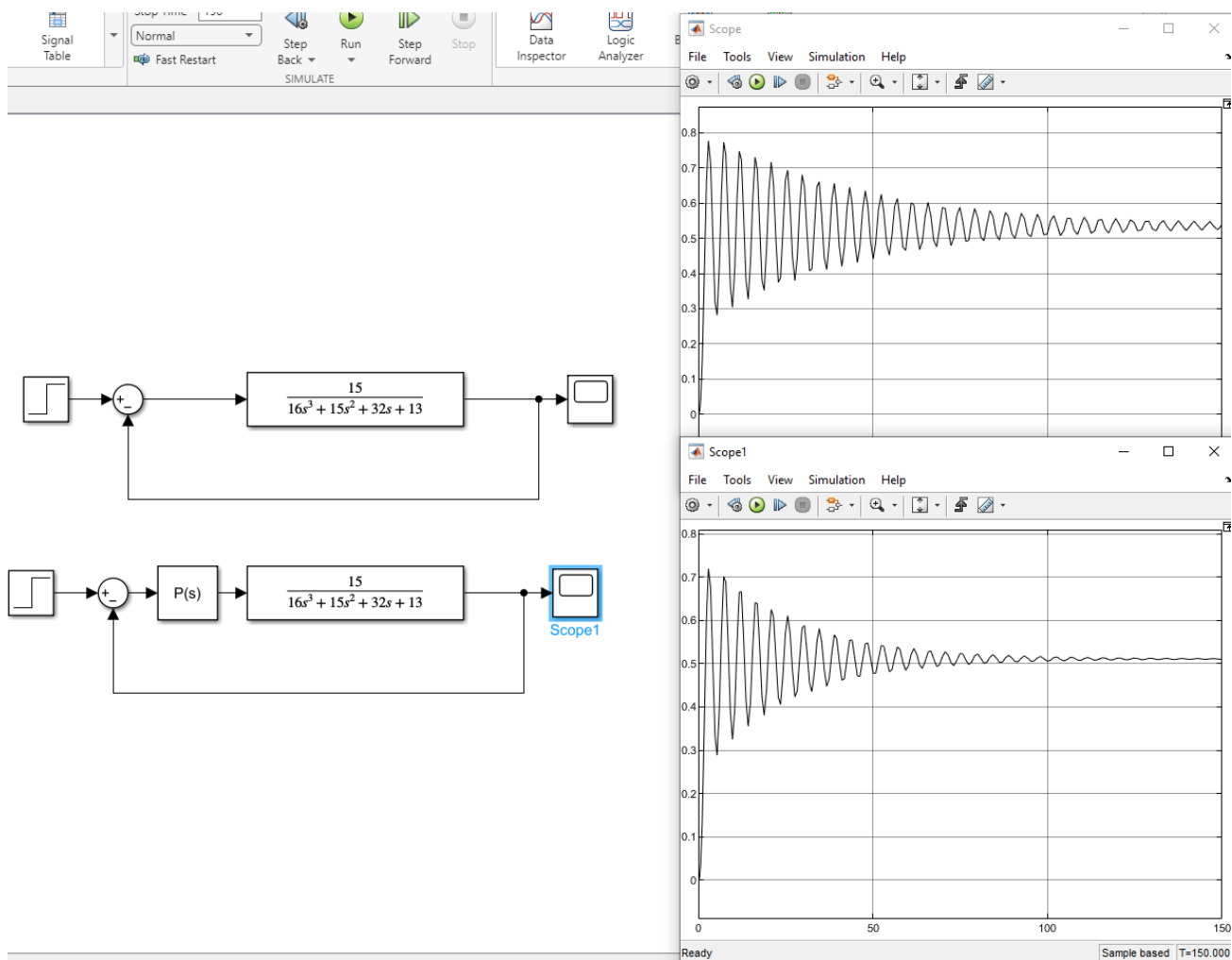
### 2.6.1 П-реттегішті автоматты түрде орнату

П-реттегішті автоматты түрде реттеу үшін ПИД-реттегіш қорабын П-реттегіш қорабына өзгерту керек.



2.20 - сурет – П-реттегішті автоматты түрде реттеу

2.20 - суретте параметрлерді автоматты түрде реттеу мәзірі көрсетілген. Simulink өзі реттегіш параметрлерін ұсынады, бірақ жоғарғы жағындағы жүгірткі жүйенің жылдамдығы мен тербелісіне әсер ететін параметрлерді өңдеуге мүмкіндік береді.

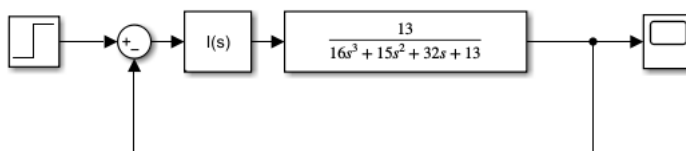


2.21 - сурет – П-реттегіш реттегіші бар және жоқ жүйе

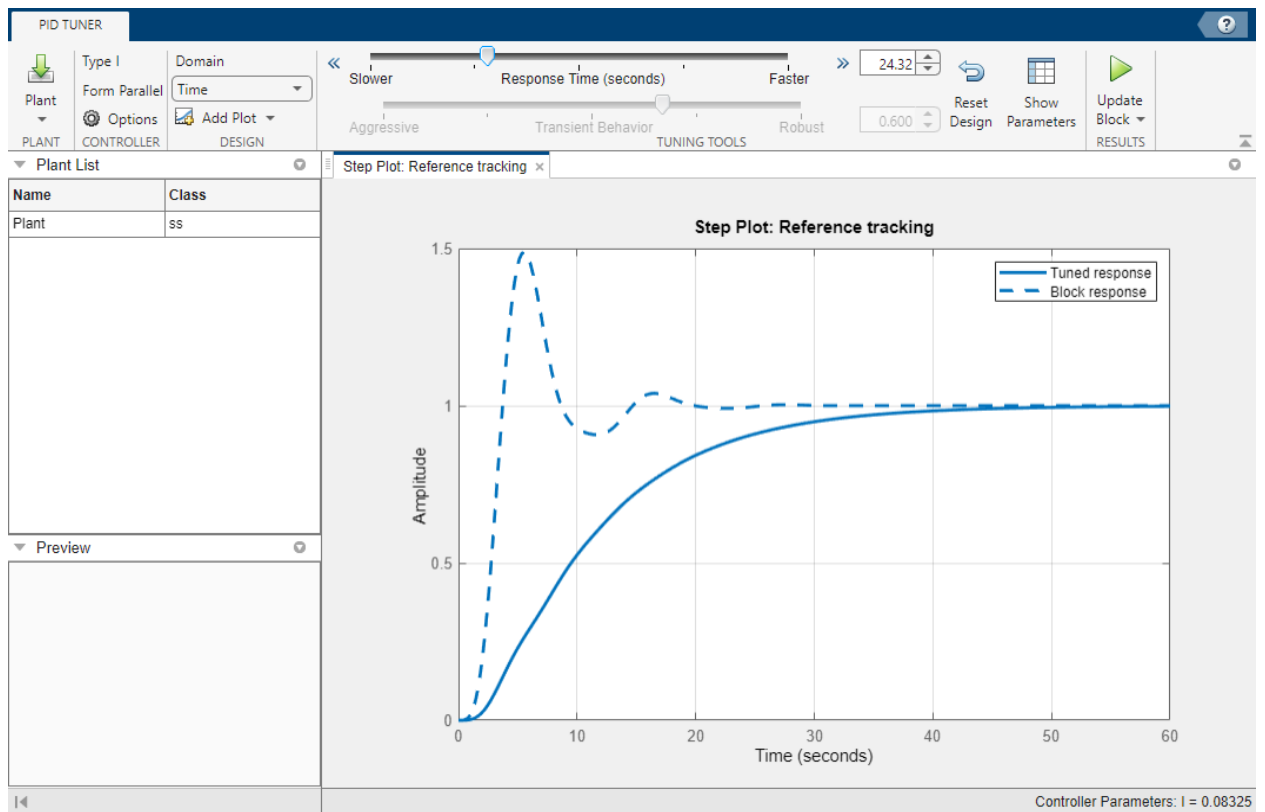
2.21 - суретте жүйені реттегішпен және реттегішсіз жүйені салыстыру көрсетілген. П-реттегіш тербелісті аздап төмендетіп, өнімділікті сәл жылдамдата алды.

Жалпы алғанда, П-реттегіші жүйені айтарлықтай жақсарта алмайды деген қорытынды жасауға болады.

### 2.6.2 И-реттегішті автоматты түрде орнату

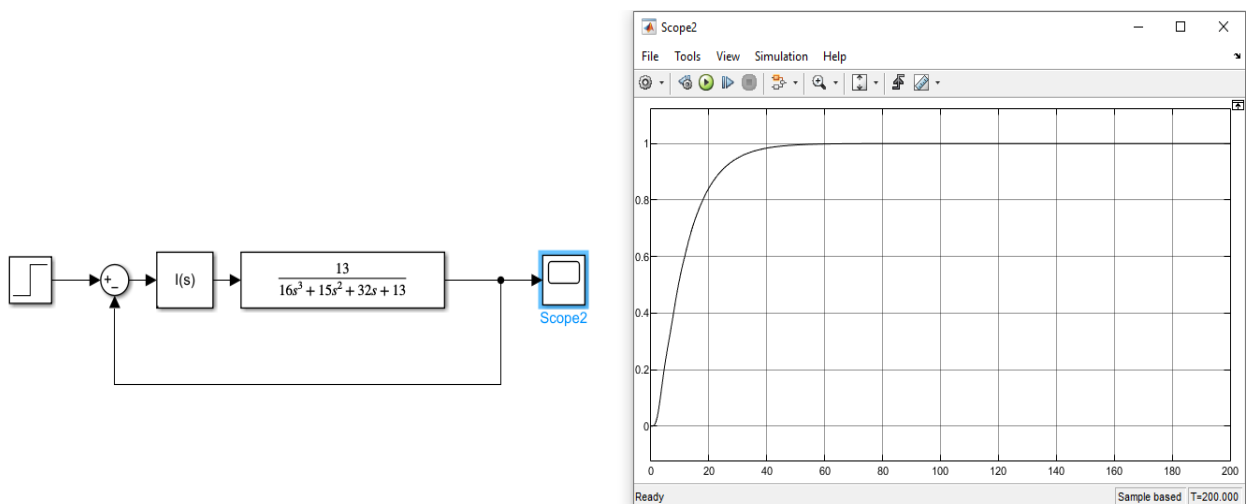


2.22 - сурет – И-реттегіші бар жүйе



2.23 - сурет – Реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу

2.23 - суретте реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу көрсетілген. Төменгі оң жақта коэффициенттер мен реттегіштің параметрлері көрсетілген.

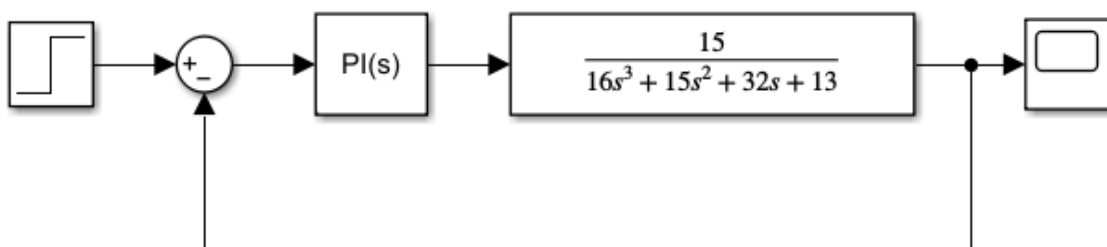


2.24 - сурет – Реттегіші бар жүйе

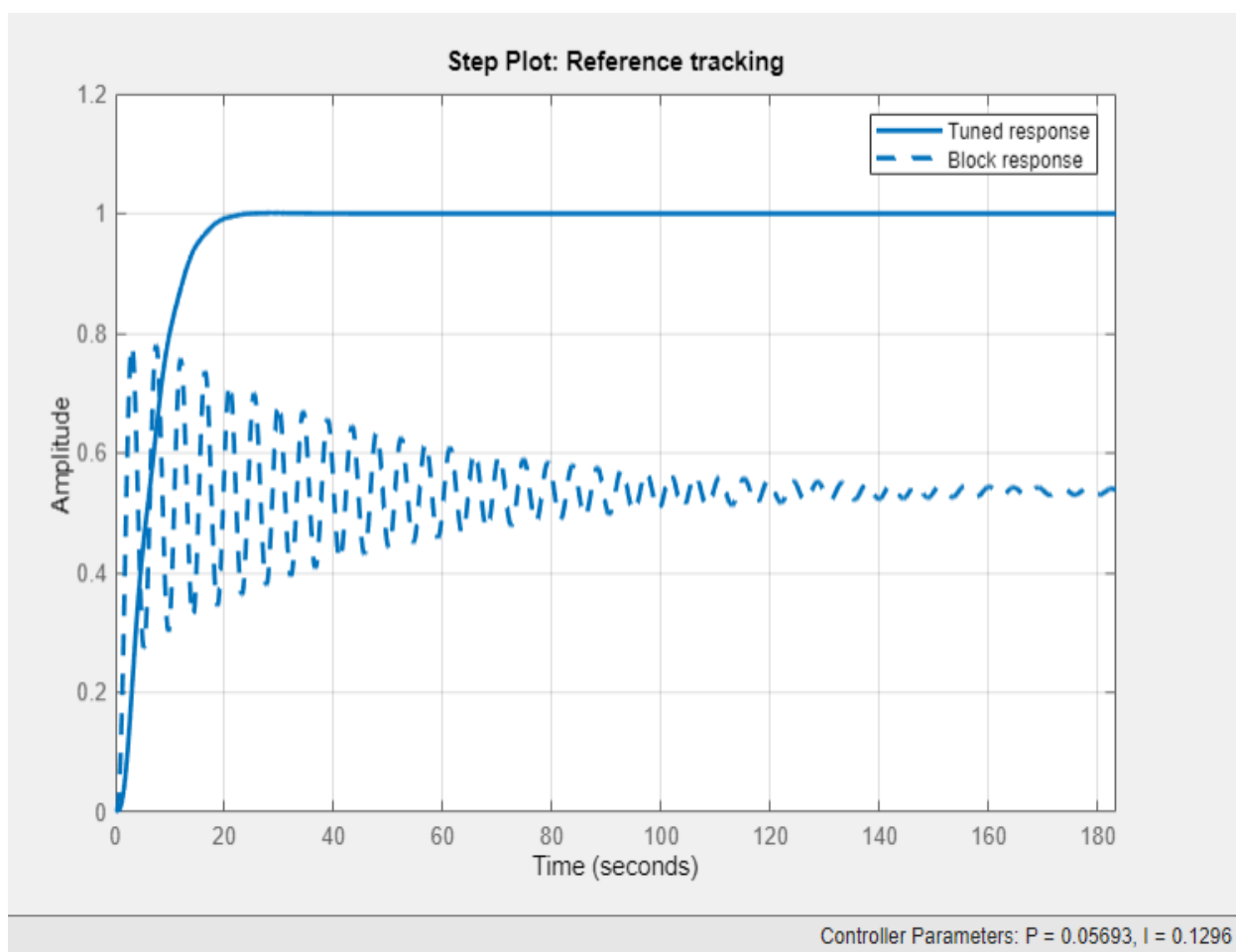
2.24 - суретте И-реттегіші бар жүйе көрсетілген. Көріп отырғанымыздай, жүйе монотонды болды, онда тербелістер жоқ және жүйенің өнімділігі бірнеше есе жақсарды. Жүйенің дәлдігі 100% жақындады. И-реттегіш жүйені айтарлықтай жақсартты.

### 2.6.3 ПИ-реттегішті автоматты түрде орнату

ПИ-реттегішін автоматты түрде реттеу үшін ПИД-реттегіш қорабын ПИ-реттегіш қорабына өзгерту керек.

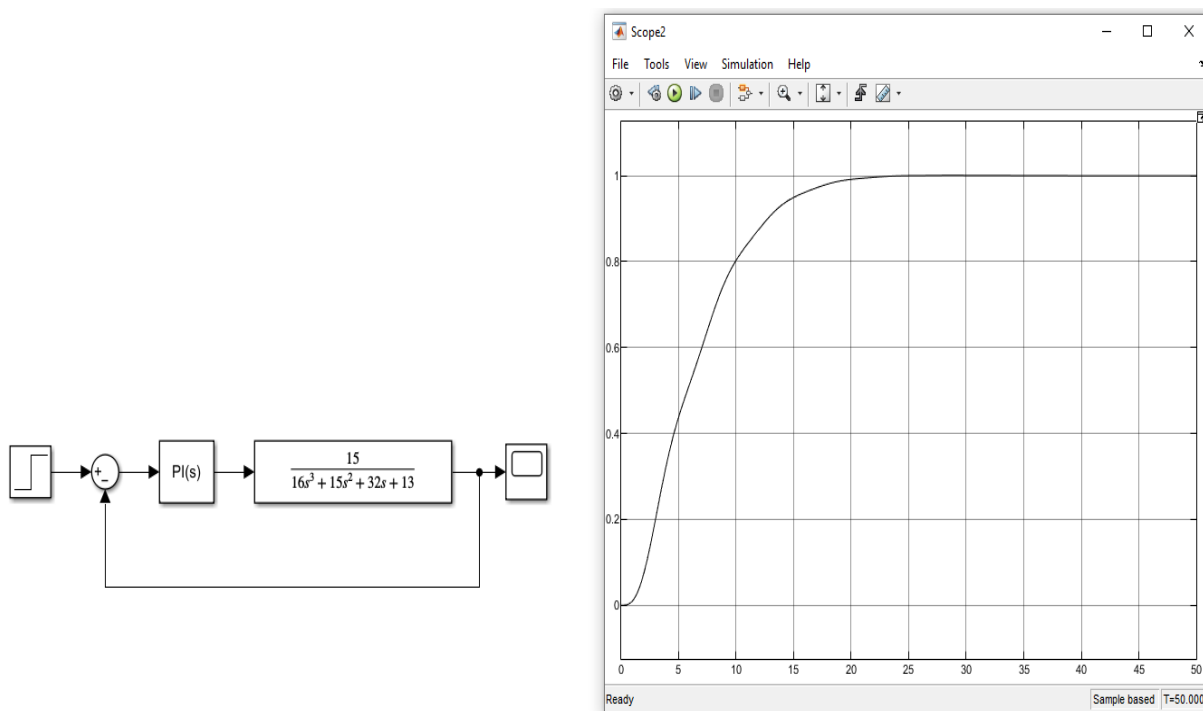


2.25 - сурет – ПИ-реттегіші бар жүйе



2.26 - сурет – Реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу

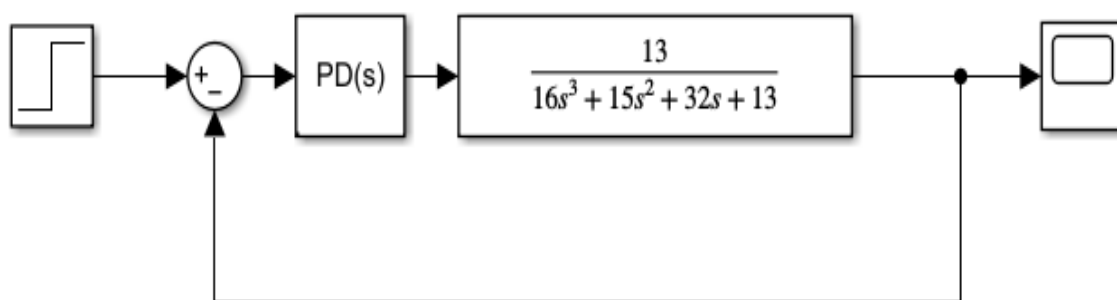
2.26 - суретте реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу көрсетілген. Төменгі оң жақта ПИ-реттегішінің параметрлері көрсетілген.



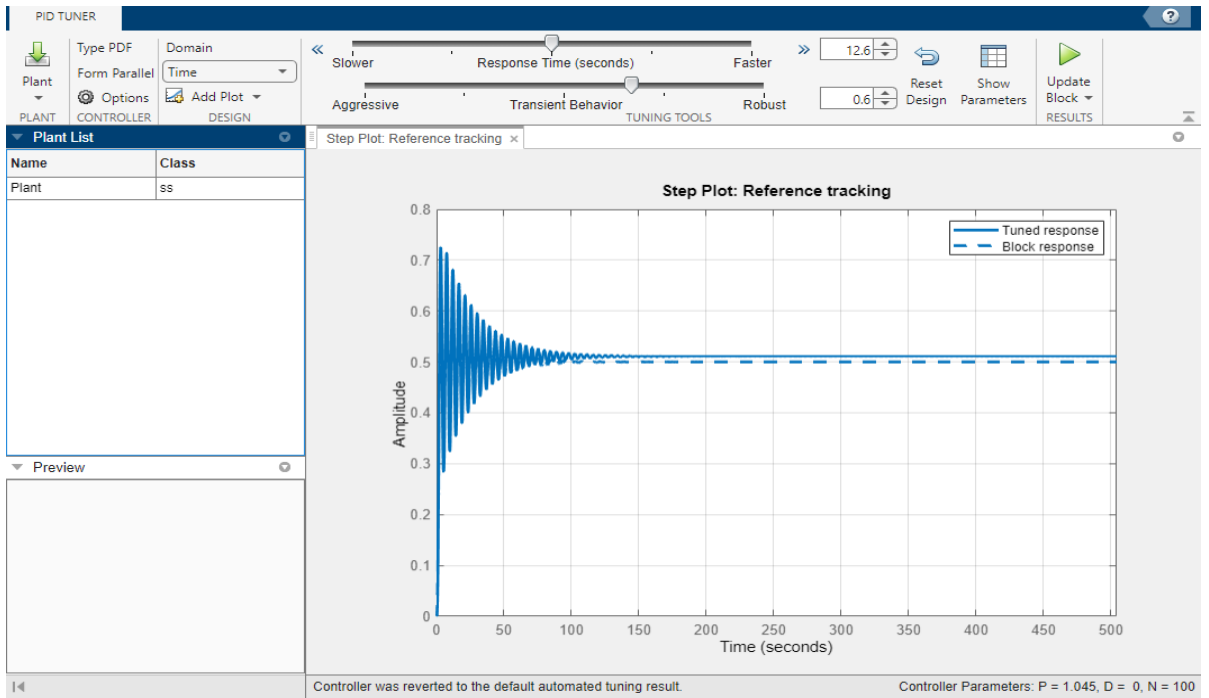
2.27 - сурет – ПИ-реттегіші бар жүйе

2.27 - суретте ПИ-реттегіші бар жүйе көрсетілген. Көріп отырғанымыздай, жүйе монотонды болды, онда тербелістер жоқ және жүйенің өнімділігі бірнеше есе жақсарды. Жүйенің дәлдігі де жақсарды. ПИ-реттегішінің автоматты түрде реттелген параметрлері жүйеге керемет әсер етті, оны барлық параметрлер бойынша бірнеше рет жақсартты.

#### 2.6.4 ПД-реттегішті автоматты түрде орнату

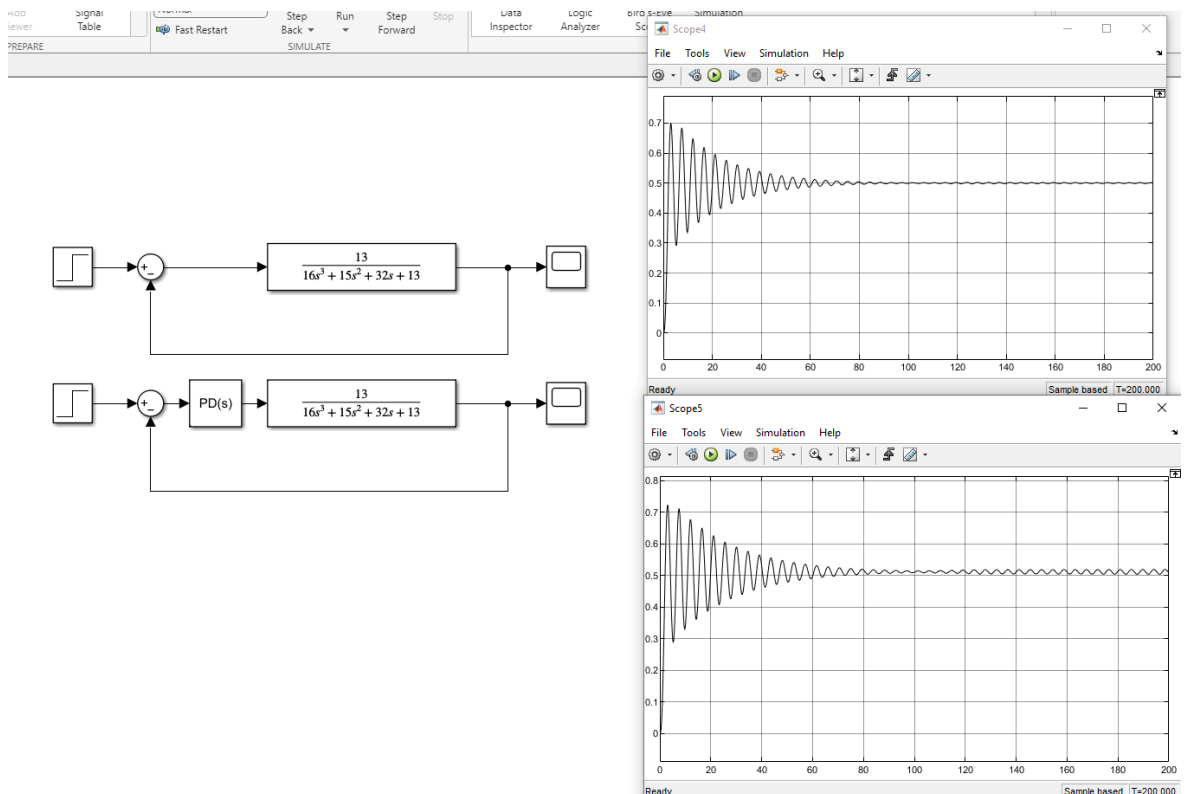


2.28 - сурет – ПИ-реттегіші бар жүйе



2.29 - сурет – Реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу

2.29 - суретте реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу көрсетілген. Төменгі оң жақта ПД-реттегішінің коэффициенттерінің параметрлері көрсетілген. Интегралды байланыстың болмауы реттеушінің сапасына қатты әсер ететіні анық.

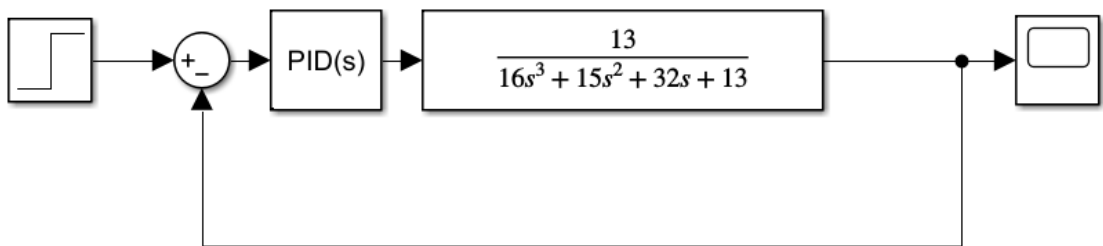


2.30 - сурет – ПИ-реттегіші бар жүйе

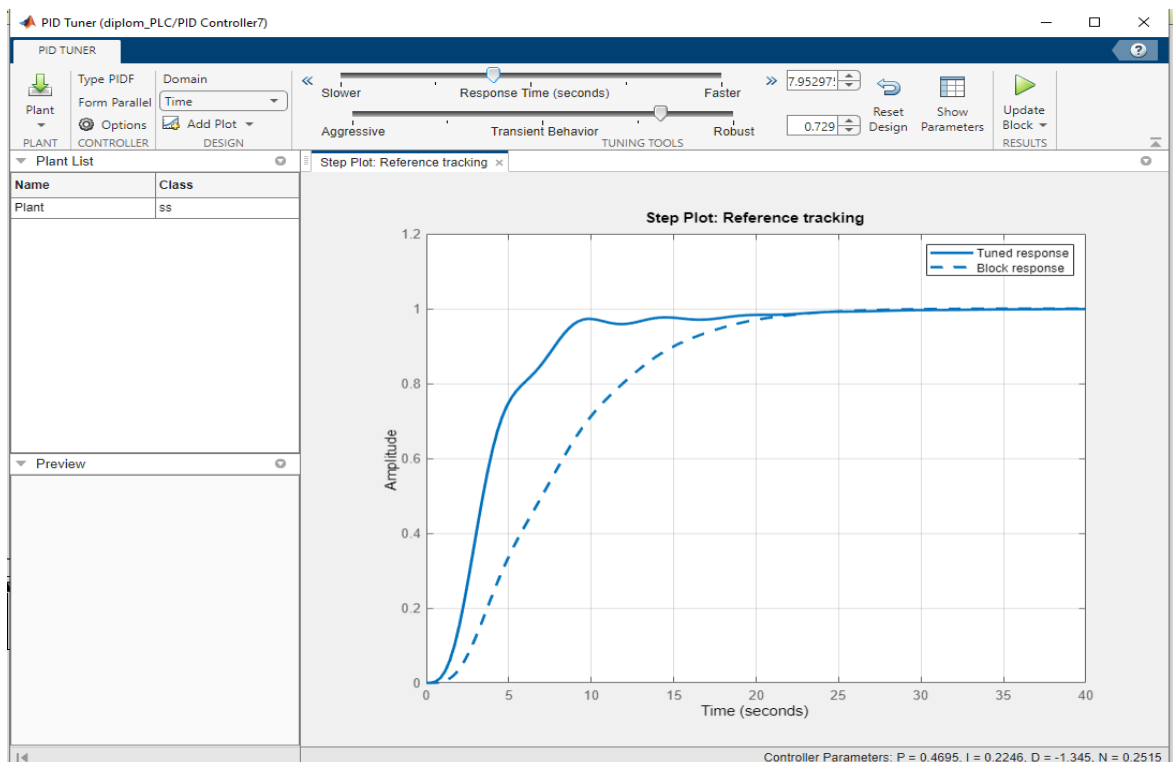
2.30 - суретте ПД-реттегіші бар жүйе көрсетілген. Көріп отырғанымыздай, жүйе іс жүзінде өзгерген жоқ, тек дәлдік шамалы ғана өсті. Бұл берілген жүйе үшін интегралды байланыстың болуы өте маңызды екенін көрсетеді, өйткені шекті мәннің болуына байланысты пропорционалды коэффициент жүйені қандай-да бір жолмен жеделдете алмайды, ал дифференциалды байланыс жүйенің қажетті дәлдігі мен тербелісін қамтамасыз ете алмайды.

### 2.6.5 ПИД-реттегішін автоматты түрде орнату

ПИД-реттегішін автоматты түрде реттеу үшін ПИД-реттегіш қорабын ПИД-реттегіш қорабына өзгерту керек.



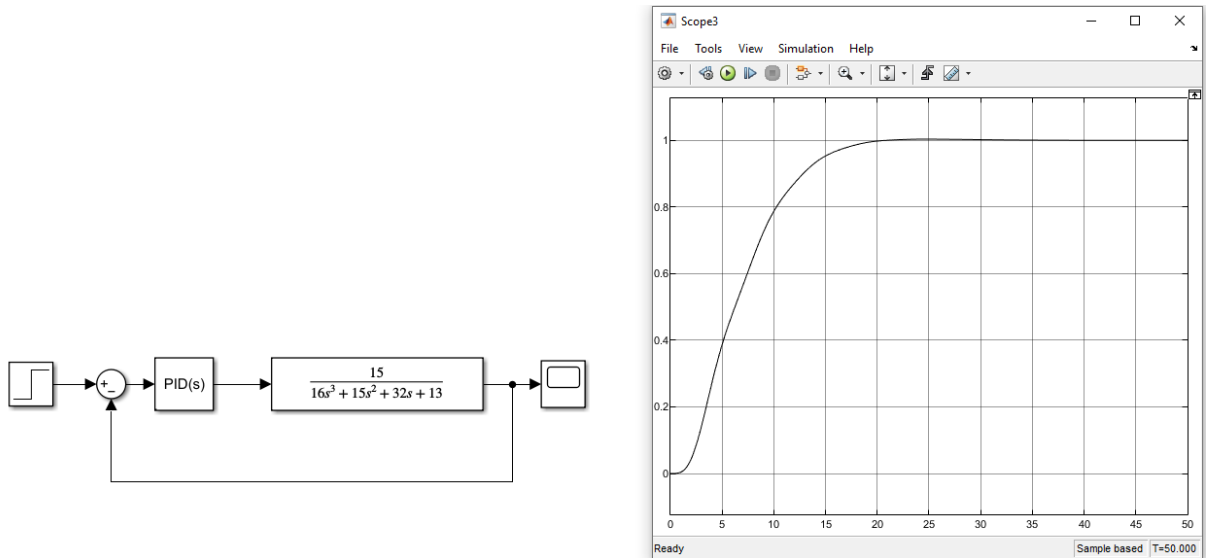
2.31 - сурет – ПИ-реттегіші бар жүйе



2.32 - сурет – Реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу



2.32 - суретте реттегіш параметрлерін автоматты түрде реттеу көрсетілген. Төменгі оң жақта ПИД-реттегішінің коэффициенттерінің параметрлері көрсетілген.



2.33 - сурет – ПИД-реттегіші бар жүйе

2.33 - суретте ПИД-реттегіші бар жүйе көрсетілген. Көріп отырғанымыздай, жүйе ПИ-реттегішімен бірдей әсер етеді, сонымен қатар дифференциалды байланыс арқылы ПИД-реттегіші бар жүйе ПИ-реттегіші бар жүйеге қарағанда біршама жылдамырақ.

## 2.7 Спектрлік әдіс

Бұл әдісті қолданған кезде объектінің полюстерін табу керек:

$$A(p) = 16s^3 + 15s^2 + 32s + 13 = 0$$

```

Command Window
>> A=tf([13],[16 15 32 26])

A =

      13
-----
16 s^3 + 15 s^2 + 32 s + 26

Continuous-time transfer function.

>> pole(A)

ans =

-0.0460 + 1.3856i
-0.0460 - 1.3856i
-0.8454 + 0.0000i
fx >> |
    
```

2.34 - сурет – MATLAB-та тамырларды табу

2.34 - суретте MATLAB ортасы арқылы тамырларды есептеу көрсетілген. Тамыры күрделі, теріс.

Интегралды арнаның күшейту коэффициенті қажетті салыстырмалы жылдамдық қателігінің жағдайынан есептеледі [12]:

$$K_p \geq \frac{1}{K_o \delta}, \quad \sigma = 5 \% \text{ кезінде} \quad (19)$$

Нысанның полюстері негізінде  $\{p_1, p_2\}$  уақыт тұрақтыларының "өтемдік" мәндері анықталады:

$$T_I = \frac{1}{p_1}, \quad (20)$$

$$T_D = \frac{1}{p_3} \quad (21)$$

Реттегіш коэффициенттерінің эмпирикалық мәндері:

$$K_p = K_i(T_I + T_D), \quad (22)$$

$$K_D = \frac{K_I \times T_I \times T_D \times T_K}{T_I + T_D + T_K} \quad (23)$$

Осы формулалар негізінде біз есептеуді жүргіземіз.

$$K_I \geq 0.036, \quad (24)$$

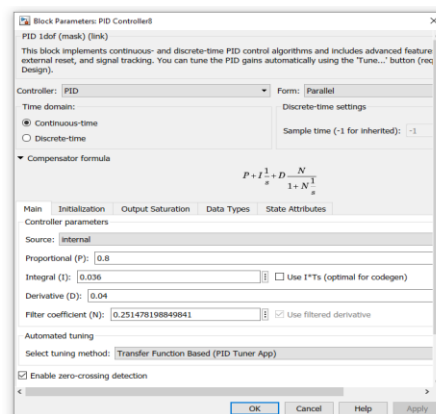
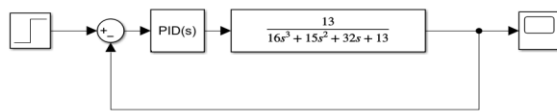
$$T_I = \frac{1}{0.046} = 21.74, \quad (25)$$

$$T_D = \frac{1}{0.8454} = 1.18, \quad (26)$$

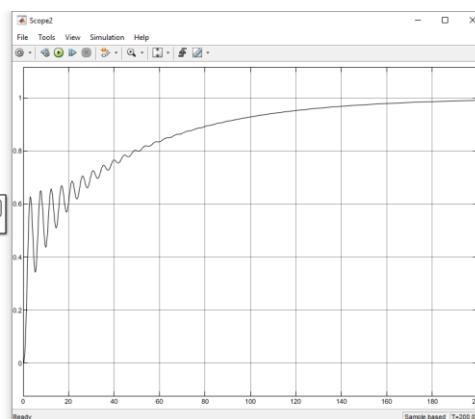
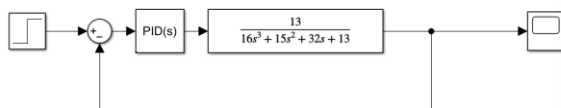
$$K_p = K_i(T_I + T_D) = 0.036 \times (1.18 + 21.74) = 0.8, \quad (27)$$

$$K_D = \frac{K_I \times T_I \times T_D \times T_K}{T_I + T_D + T_K} = \frac{0.036 \times 1.18 \times 21.74}{22.92} = 0.04 \quad (28)$$

Алынған деректерді реттеушіге енгізу қажет (2.35-сурет):



2.35 - сурет – Деректерді реттеушіге енгізу

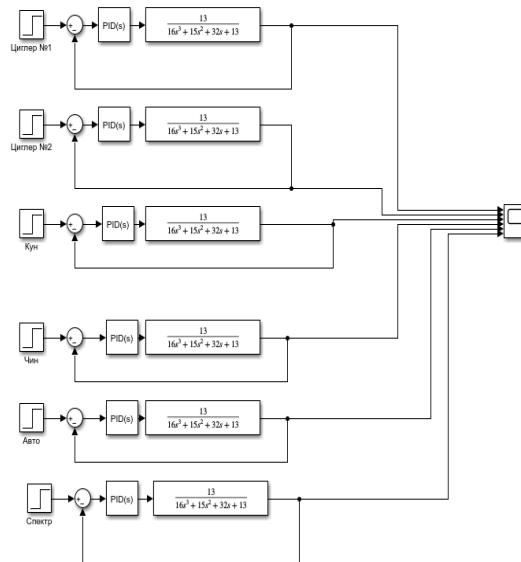


2.36 - сурет – Жүйенің өтпелі процесі

2.36 - суретте спектрлік әдіс негізінде есептелген реттегіші бар жүйенің өтпелі процесі көрсетілген. Көріп отырғаныңыздай, жүйенің үлкен жылдамдығы бар, ол реттегіші жоқ жүйеден де нашар. Осыған сүйене отырып, спектрлік әдіс үшінші ретті жүйе үшін реттегішті есептеу үшін мүлдем жарамсыз деп қорытынды жасауға болады.

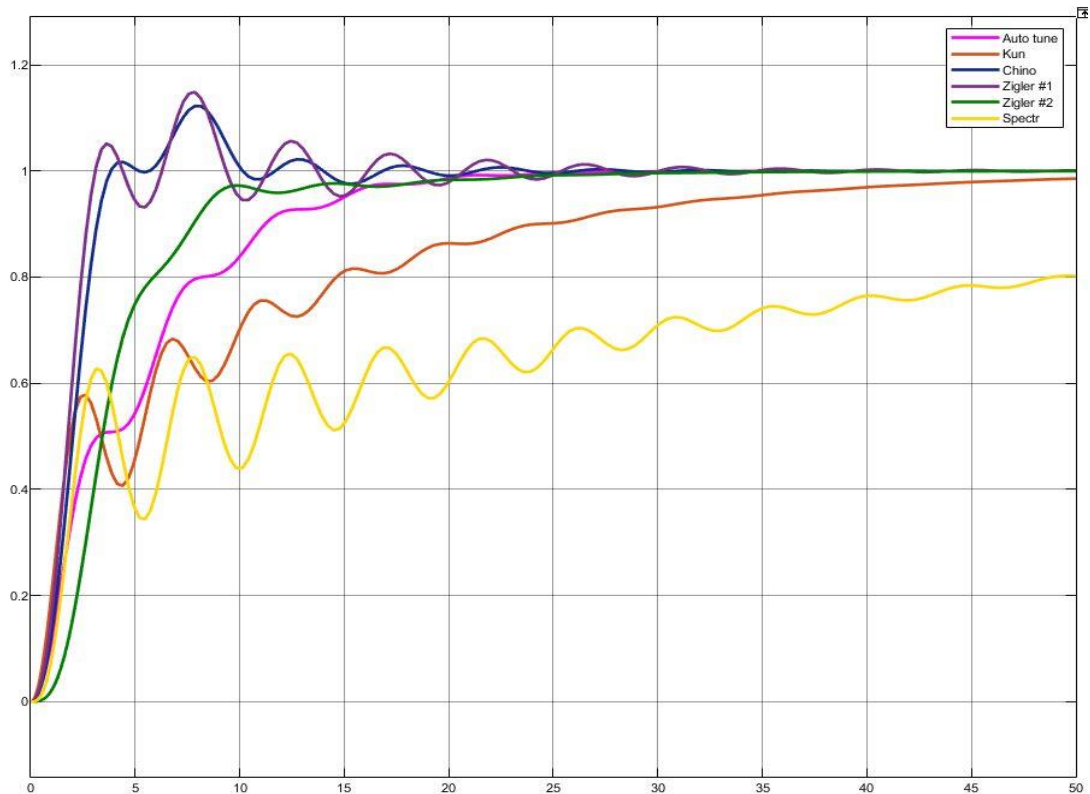
## 2.8 Есептеу әдістерін салыстыру

Реттегіштерді теңшеу әдістерін салыстыруды қорытындылай келе, П және ПД және ПИ-реттегіштерін салыстырудан бірден алып тастау керек, өйткені олар ПИД-реттегіштері сияқты жүйенің сапасын қамтамасыз етпейді, сонымен қатар ПИД-реттегішімен айырмашылықтарға байланысты тек ПИД параметрлерін есептеуге арналған әдістерді объективті түрде салыстыру мүмкін емес.



2.37 - сурет – Реттегіштерді салыстыру схемасы

2.37 - суретте алты түрлі әдіспен есептелген реттегіштерді салыстыру схемасы көрсетілген. Олардың барлығы бір шығысқа қосылған, соның арқасында барлық графиктер графикте көрінеді, бұл қайсысы жақсы екенін көзбен салыстыруға мүмкіндік береді.



2.38 - сурет – График реттегіштерді салыстыру

2.38 - суретте жүйенің графиктерін әртүрлі реттегіштермен салыстыру көрсетілген. 2.8.1-кестеде барлық реттегіштердің параметрлері көрсетілген.

Кесте 2.8.1 – Реттегіштердің параметрлері

Реттегіш	Kp	Ki	Kd
Зиглер №1	0.4	0.1932	0.2875
Зиглер №2	0.692	0.112	0.556
Кун	0.5	0.7587	0.2592
Чин-Хронес	0.696	0.645	0.325
Авто баптау	0.4695	0.2246	-1.345
Спектрлік	0.8	0.0336	0.04

2.8.2 - кестеде жүйенің сипаттамаларын реттегіштермен және онсыз салыстыру көрсетілген.

Кесте 2.8.2 – Жүйелерді салыстыру

Жүйе	Статикалық қателік	Қайта реттеу	Реттеу уақыты
Реттегіш жоқ	0.5	40%	71с
Зиглер-Никольс №1	0	0%	24с
Зиглер-Никольс №2	0	0%	45с
Кун	0	13%	40с
Чин-Хронес-Ресвик	0	18%	35с
Авто баптау	0	0%	18с
Спектрлік	0	0%	200с

Көріп отырғаныңыздай, барлық реттеушілер статикалық қатені жою мәселесін шешеді. 6 реттегіштің 4-і де қайта реттеуді толығымен алып тастады. Қалған 2 реттеушінің рұқсат етілген мәндер шегінде (30%) қайта реттелуі болады.

Нәтижесінде Simulink ішіндегі параметрлерді автоматты түрде реттеу әдісі ең тиімді болып шықты. Екінші тиімділік Зиглер-Никольстің екінші әдісі болды.

Бірінші Зиглер-Никольс әдісі мен спектрлік әдіс нашар нәтиже көрсетті. Зиглер-Никольс әдісі реттегіштің нақты параметрлерін мүлдем бермеді. Ұсынылған параметрлер жүйені тұрақсыздыққа енгізеді, сондықтан олар түзетілді. Спектрлік әдіс қорқынышты жылдамдыққа ие.

Қун мен Чин-Хронес-Ресквиктің әдістері көбінесе шамадан тыс реттеудің болуына байланысты орта деңгейге ие болды, ол рұқсат етілген шектерде болса да бұл реттегіштерді қайта реттеу толығымен алып тастаған реттеушілерден нашар етеді.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Осы дипломдық жұмысты орындау барысында өнеркәсіптік реттеушілердің түрлері және олардың мақсаты зерттелді. Реттегіштердің параметрлерін реттеудің кең таралған әдістеріне талдау жасалды. Әдістердің әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды, олардың арасында салыстырмалы талдау жасалды, бұл компьютерлік ортадағы жүйенің синтезделген математикалық моделіне негізделген реттегіштің параметрлерін таңдау реттегіштер үшін ең дәл параметрлерді беретіндігін, сонымен қатар жүйеге әсерді тез және көрнекі түрде көруге мүмкіндік беретіндігін көрсетті. сол немесе басқа параметрді өзгерту. Зиглер-Никольс әдісін есептеу оңай, бірақ ол көбінесе жүйенің сапалық талаптарын қанағаттандырмайды, тұрақтылықтың қажетті қорын бермейді және тербелісті толығымен жоймайды, бірақ оны аздап жақсартады. Кун және Чин Хронес-Ресвик әдістері тұрақтылықтың үлкен қорын береді, бірақ сонымен бірге тербелісті толығымен жоймайды.

Қорытындылай келе, компьютерлік модельдеу және параметрлерді автоматты түрде таңдау реттегіштердің параметрлерін есептеудің ең жылдам және дәл әдісі болып табылады. Алайда, кейбір жағдайларда модельдеу процесінде бағдарламалық жасақтамада пайда болатын технологиялардың жетілмегендігі мен қателіктері бұл әдісті қолдануға мүмкіндік бермейтінін атап өткен жөн, бұл реттегіштердің параметрлерін қолмен есептеуді қолдануға мәжбүр етеді.

Екінші тиімділік Зиглер-Никольстің екінші әдісі болды.

Сонымен қатар, бірқатар әдістер тек төмен, екінші ретті жүйелерден жоғары емес жүйелер үшін жарамды екендігі анықталды. Сонымен. Спектрлік әдіс жүйені нашарлатты, ал Зиглер-Никольстің алғашқы әдісі жүйені тұрақсыз күйге келтірді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 В.А. Жмудь Жабық автоматты басқару жүйелері. Оқу құралы. Новосибирск, Юрайт баспасы, 2017. 270 б.
- 2 Каримов в. с. автоматты жүйелердің синтезі жүйелерді енгізу технологиясына негізделген кешігуі бар көп байланысқан объектілерді басқару. 2013. Электрондық көзі: [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Science/dissovet/03/2012/11.03.13/karimov\\_avtoreferat.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Science/dissovet/03/2012/11.03.13/karimov_avtoreferat.pdf)
- 3 Востриков А.С., Францова Г. А. сызықтық емес стационарлық емес объектілерге арналған ПИД Реттегіштерінің синтезі. Автометрия. Т51, №5, 2015.
- 4 Французова Г.А., Толстоконева Е. П., Шилкова Н. Ю. әдіс бойынша типтік реттеушілер мен реттеушілердің мүмкіндіктерін салыстырмалы талдау
- 5 Автоматика және бағдарламалық жасақтама. 2020, №1(31) электрондық көзі: <http://www.jurnal.nips.ru>
- 6 Вадутов О.С. полюстерді орналастыру шектеулері бар шартты оңтайландыру әдісімен кешіктірілген жүйелердегі ПИД реттегішінің синтезі. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-pid-regulyatora-v-sistemah-s-zapazyvaniem-metodom-uslovnoy-optimizatsii-s-ogranicheniyami-na-razmeschenie-polyusov/viewer>
- 7 Воробьев В.Ю., Саблина г. в. дискретті PID реттегішінің параметрлерін Зиглер-Никольс әдісімен есептеу және оңтайландыру. Автоматика және бағдарламалық жасақтама, 2019, № 1 (27). Б. 9-14.
- 8 Бурцева Ю. с. реттегіштердің параметрлерін минималды квадраттық критерийге есептеудің іздеусіз әдісі. Электрондық көзі: [https://www.mpei.ru/Science/Dissertations/dissertations/Dissertations/BurtsevaYS\\_diss.pdf](https://www.mpei.ru/Science/Dissertations/dissertations/Dissertations/BurtsevaYS_diss.pdf)
- 9 Сидорова А.А. PID реттегішін орнатудың ең тиімді әдісін анықтау. Автоматика мәселелері, 2012, №5, 143-150 ББ.
- 10 В.А. Жмуд, А. С. Востриков, А. Ю. Ивойлов, Г. В. Саблина. Робастикалық ПИД реттегіштерін Қос оңтайландыру әдісімен синтездеу. Мехатроника, автоматтандыру, басқару. 2020. Т. 21, № 2. Б. 67-74.
- 11 Воронов А.А. және т. б. автоматты реттеу және басқару теориясының негіздері: оқу. жоғары оқу орындарына арналған нұсқаулық. М.: Жоғары Мектеп, 1977. 519 Б.
- 12 Бесекерский В. А., Попов е. п. автоматты басқару жүйелерінің теориясы. - Санкт-Петербург, 2003.