ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Жақан Жәмила

MatLab қолданып D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеу

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ
Кафедра меңгерушісі,
физ-мат. ғыл. кандидаты,
қауымдастырылған профессор
_____________ Н.У.Алдияров
«___» мамыр 2022 ж.

«MatLab қолданып D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеу» тақырыбына

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5В070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Орындаған — Жақан Ж.

Пікір беруші
АЭжБУ доктор PhD, доцент
_____________ Бәзіл Г.Д.
«10» мамыр 2022 ж.

Ғылыми жетекші
техн.ғыл.кандидаты, ассоциация. профессор
_____________ Бейсембаев А.А.
«10» мамыр 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

5B070200 - Автоматтандыру және басқару

БЕКІТЕМІН
Кафедра меңгерушісі
физ-мат. ғыл. кандидаты,
қауымдастырылған профессор
____________ Н.У.Алдияров
«11» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жобаны дайындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Жақан Жәмила

Жобаның тақырыбы: «MatLab қолданып D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеу»

Университеттің «24» желтоқсан 2021 жылғы ғылыми кеңесінің № „489-П/Ө" шешімімен бекітілген.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзімі «12» мамыр 2022 ж.

Түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтарының тізімі мен қысқаша диплом жұмысының мазмұны:

а) кіріспе, теориялық бөлім, есептік бөлім;

б) қорытынды, пайдаланылған әдебиеттер;

Ұсынылған негізгі әдебиеттер:

1. Дядик В.Ф., Теория автоматического управления: учебное пособие/ В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.
2. Бейсембаев. А.А. Сызықты автоматты реттеу жүйелері. – Алматы: Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2018. – 402 б.

Дипломдық жобаны даярлау

КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, дайындалатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Теориялық бөлім	12.04.2022	
Есептік бөлім	26.04.2022	

Аяқталған дипломдық жобаның және оларға
қатысты диплом жобасы бөлімдерінің кеңесшілері мен нормалық
бақылаушының қолтаңбалары

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Теориялық бөлім	**Бейсембаев А.А. тех.ғыл.кандидаты, доцент, ассоциация. профессор**	10.05.2022	
Есептік бөлім	**Бейсембаев А.А. тех.ғыл.кондидаты, доцент, ассоциация. профессор**	10.05.2022	
Нормалық бақылаушы	**Н.С.Сәрсенбаев техн.ғыл.кандидаты, ассистент профессор**	10.05.2022	

Ғылыми жетекшісі ______________ **Бейсембаев А.А.**

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы ______________ Жақан Ж.

Күні «24» желтоқсан 2022 ж.

АҢДАТПА

Басқару жүйелері орнықты болуы немесе параметрлердің өзгеруіне және бұзылуларға сезімтал болмауы керек. Басқару жүйесін жобалау және талдау процесінде бір немесе бірнеше жүйе параметрлерінің өзгеруіне сәйкес келетін орнықтылық аймақтарын анықтау маңызды. Айнымалы параметрлері және сенімді басқару жүйесі бар жүйелердің орнықтылығын талдау бойынша зерттеулер мен әзірлемелердің көпшілігі нақты және шектеулі жағдайларға бағытталған. Айнымалы параметрлердің шектерін, олардың өзара әрекеттесуін және басқару жүйелерінің әртүрлі типтері үшін сенімді бағалауды көрсете алатын пайдаланушыға ыңғайлы талдау процедурасына деген тапшылық бар.

Белгісіз жүйе параметрлерінің өзара әрекеттесуін талдау орнықтылық мәселесін шешуде маңызды рөл атқарады. Орнықтылықты бағалау сонымен қатар параметрлердің белгісіздігі, сыртқы кедергі және шу тұрғысынан жүйенің сезімталдығын зерттеу арқылы жүзеге асырылады.

АННОТАЦИЯ

Системы управления должны быть устойчивыми или нечувствительными к изменениям параметров и возмущениям. В процессе проектирования и анализа системы управления важно выявить области устойчивости, соответствующие изменениям одного или нескольких параметров системы. Большинство исследований и разработок по анализу устойчивости систем с переменными параметрами и надежных систем управления ориентировано на конкретные и ограниченные ситуации. Существует нехватка удобного для пользователя процедуры анализа, которые могут показать пределы переменных параметров, их взаимодействие и надежную оценку для различных типов систем управления.

Анализ взаимодействия неопределенных параметров системы играет важную роль в решении проблемы устойчивости. Оценка устойчивости также осуществляется путем изучения чувствительности системы с точки зрения неопределенностей параметров, внешних помех и шума.

ABSTRACT

Control systems must be stable or not sensitive to changes in parameters and failures. In the process of designing and analyzing a control system, it is important to identify areas of stability that correspond to changes in one or more system parameters. Most research and development on the analysis of the stability of systems with variable parameters and reliable control systems is focused on real and limited situations. There is a lack of a user-friendly analysis procedure that can demonstrate the limits of variables, their interactions, and reliable estimates for different types of control systems.

Analysis of the interaction of unknown system parameters plays an important role in solving the problem of stability. Sustainability assessment is also performed by studying the sensitivity of the system in terms of parameter uncertainty, external interference and noise.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ

Бұл жоба айнымалы параметрлері бар сызықты басқару жүйесіне қолданылатын D-бөліну орнықтылықты талдау әдісін одан әрі жетілдіруге ықпал етеді.

Жобаның мақсаты. Қарастырылып отырған зерттеу D-бөліну әдісін қолдану арқылы үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын анықтау әдісін ұсынып, көп параметрлі сызықты басқару жүйелері үшін орнықтылықты талдау стратегиясын кеңейту.

Тақырыптың өзектілігі. D-бөліну әдісі жүйе параметрлері өзгерген кезде орнықтылық аймақтарын жылдам және ыңғайлы анықтауға мүмкіндік береді. Әдіс орнықтылықты анықтаудың басқа белгілі әдістеріне қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие, жүйелердің орнықтылығын талдаудың қуатты құралына айналды. Оның артықшылығы әрбір параметрдің өзгеруін және оның жүйенің орнықтылығына әсерін нақты графикалық бейнелеуінде жатыр.

Жоба тапсырмасы мен міндеті. Бұл зерттеудің бірінші және негізгі міндеті – үшінші ретті жүйенің орнықтылығын анықтауда D-бөліну әдісін қолданып, шыққан нәтижені MATLAB программасында растау.

Жоба жоспары. Бірінші бөлім сызықты автоматты басқару жүйелерінің орнықтылығына қатысты барлық белгілі және жарияланған мәліметтердің және орнықтылық шарттарының толық әдебиеттік шолуы болып табылады. Әдебиетті шолу сонымен қатар Неймарк ұсынған D-бөліну әдісінің табиғатын түсіндіруді және осы әдіс туралы қосымша ойларды қамтиы.

Екінші бөлім D-бөліну әдісін үшінші ретті сызықтық басқару жүйесі үшін орнықтылықты талдау құралы ретінде қолдануды қамтиды. Басқару жүйесінің бір уақытта өзгеретін бір және екі параметрлері арасындағы өзара әрекеттесу орнықтылық аймақтарын графикалық анықтауға қалай әсер ететіні анықталады. Бір және екі айнымалы параметрлер жағдайлары үшін D-бөліну талдауынан алынған нәтижелер Гурвиц орнықтылық критерийлерімен расталады. Содан кейін, Matlab программалау ортасында сипаттауыш теңдеулердің түбірлерін және өтпелі процесстің графигін тауып, D-бөліну әдісі арқылы алынған нәтижелердің жүйенің орнықтылығын анықтаудағы дұрыстығы дәлелденеді. Бұл зерттеу танымға да ықпал етеді, өйткені D-бөліну әдісі орнықтылықты талдаудың жалғыз әдісі болып табылады, ол оның нәтижелері бойынша көп айнымалы жүйе параметрлері жағдайында орнықтылық пен орнықсыздық аймақтарын графикалық түрде көрсетеді.

Жүйенің бір немесе бірнеше параметрлері бір мезгілде өзгерген жағдайда жүйе параметрлердің белгісіздігінің әсеріне, сондай-ақ сыртқы бұзылулар мен шудың әсеріне сезімтал емес болады және оның өнімділігі өзгермейді.

1 ТЕОРИЯЛЫҚ БӨЛІМ

1.1 Сызықты автоматты басқару жүйелерінің орнықтылығы

Бұл зерттеудің бірінші және негізгі мақсаты – жүйенің орнықтылығын анықтау. Бұл сұрақ маңызды, біріншіден, көп жағдайда орнықсыз жүйе практикада қолдану үшін жарамсыз, екіншіден, орнықты жүйелердің өзінде оның (жүйенің) қандай орнықтылық қоры бар екенін білу қажет. Орнықтылықты талдау нәтижесінде, әдетте, жүйе орнықты ма деген сұраққа тікелей және біржақты жауап алу жеткіліксіз. Көптеген практикалық жағдайларда инженер-жобалаушы жүйе элементтерінің параметрлерінің қайсысы орнықтылыққа ең күшті әсер ететінін және қажетті орнықтылық қорын қамтамасыз ету үшін оларды қалай өзгерту керектігін нақты білуі керек.

1.2 Орнықтылық түсінігі

Жүйенің орнықтылығы ұғымы жүйені осы күйден шығарған сыртқы күштер жойылғаннан кейін оның тепе-теңдік күйіне оралу мүмкіндігімен байланысты.

Ойыс бетінде орналасқан допты орнықты тепе-теңдік күйінде деп атауға болатыны түсінікті, өйткені оны қандай да бір күшпен тепе-теңдік күйінен алып тастағаннан кейін және осы күш тоқтатылғаннан кейін, доп ақырында оның бастапқы тепе-тең күйіне жақын күйге оралады. Керісінше, дөңес беттің жоғарғы жағында орналасқан доп орнықсыз тепе-теңдік күйінде болады, өйткені ол осы күйден шығарылса (мысалы, итеру арқылы), ол ешқашан (біз қанша уақыт күтсекте) бастапқы тепе-теңдік күйіне жақын күйге қайтып оралмайды. Доптың бастапқы күйін бұзылмаған күй, ал сыртқы күштер әсер еткеннен кейінгі күйін бұзылған күй деп атаймыз [3].

Олай болса, осы мысалға ұқсастық бойынша орнықтылық түсінігін келесідей тұжырымдауға болады: егер жүйе уақыт өте келе бұзылған күйден бұзылмаған тепе-теңдік күйін қоршап тұрған белгілі бір шекті аймаққа өтсе, ол орнықты деп аталады, ал егер ол бұзылған күйден бұзылмаған тепе-теңдік күйді қоршап тұрған шекті аймаққа ешқашан өтпесе орнықсыз деп аталады [2], [3].

Алайда, шын мәнінде, басқару жүйесі әрқашан статикалық болмайды; онда кіріс, шығыс немесе ішкі айнымалыларда белгілі-бір өзгерістер орын алады. Жоғарыда келтірілген орнықтылық түсінігін кейбір жүйенің қозғалысы жағдайында да кеңейтуге болады.

Жүйенің күйі $x(t) = [x_1(t)\, x_2(t) \ldots\ x_n(t)]^T$ күй векторымен анықталсын. Берілген қозғалыс координаталар өзгеру заңымен анықталады $x_0(t) = [x_{10}(t)\, x_{20}(t) \ldots\ x_{n0}(t)]^T$.Тепе-теңдік жағдайындағы сияқты, берілген қозғалысты бұзылмаған қозғалыс деп атауға болады. Қарастырылып отырған жүйеге сыртқы күштерді қолдану нақты қозғалыстың берілгеннен - $x_i(t) \neq x_{i0}(t)$ ауытқуын тудырады. Біз бұл қозғалысты бұзылған деп атаймыз. Онда жүйені орнықты деп атауға болады, егер кейін жойылатын сыртқы әсерлерді қолдану нәтижесінде, бұзылған қозғалыс уақыт өте келе берілген аймаққа енсе

$$|x_i(t) - x_{i0}(t)| < \varepsilon_i \tag{1.1}$$

ал егер олай болмаса, орнықсыздеп атаймыз [3].

Бірақ жүйеге сыртқы күштердің әсерін тоқтату мүмкін болмайтын жағдайлар (және жиі) болуы мүмкін: алаңдататын әсерлер үнемі өзгеріп отырады және сайып келгенде, (1.1) теңсіздігі орнындалатынын немесе орындалмайтынын білу үшін күтуге уақыт жоқ. Әрине, жалпы жағдайда орнықтылық түсінігін осылай тұжырымдауға болады. Шектеулі әсерлер кезінде оған деген жауап та (айнымалы күйлер немесе басқарылатын шамалар) шектеулі болса, жүйені орнықты деп атаймыз, ал егер шектеулі әсерлерге жауап шектеусіз жоғарыласа, орнықсыз деп атаймыз [3]. Бұл анықтаманың жоғарыдағы барлық анықтамаларды қанағаттандыратынын байқау қиын емес.

1.3 Автоматты басқару жүйесінің орнықтылық шарты

Бақыланатын шамаға қатысты автоматты басқару жүйесінің теңдеуі келесі түрде болады [1]:

$$D(p)x(t) = R(p)g(t) + K(p)f(t). \tag{1.2}$$

(1.2) теңдеуімен сипатталған АБЖ орнықтылық шартын қарастырайық.

Бұл теңдеудің шешімі:

$$x(t) = x_{\text{төз}}(t) + x_{\text{өтпе}}(t),$$

мұндағы $x_{\text{төз}}(t)$ – жүйенің бұзылмаған қозғалысын сипаттайтын компонент; нөлдік бастапқы шарттарда біртекті емес теңдеулердің шешімі ретінде табылады:

$$D(p)x(t) = R(p)x(t); \quad D(p)x(t) = K(p)f(t). \tag{1.3}$$

Ал өтпелі компонент $x_{\text{өтпе}}(t)$ – жүйенің орнықты немесе орнықсыз екенін анықтайды – біртекті теңдеудің шешімі ретінде табылады:

$$D(p)x(t) = 0. \tag{1.4}$$

Яғни, берілген бастапқы шарттағы теңдеу:

$$(a_0p^n + a_1p^{n-1} + \ldots + a_{n-1}p + a_n)x(t) = 0. \tag{1.5}$$

Оның шешімі былай жазылады:

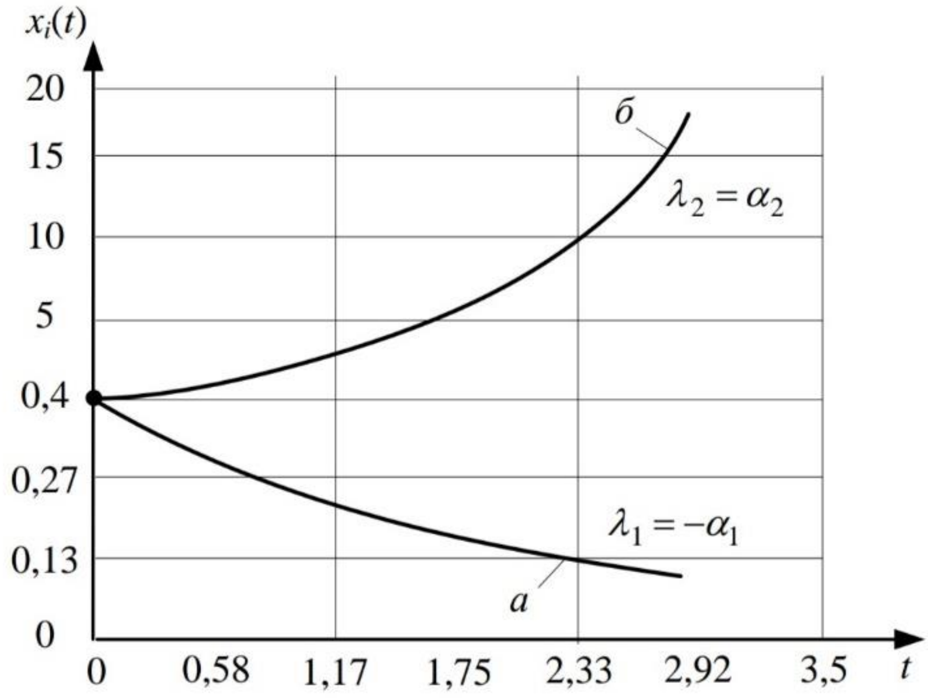
$$x_{\text{өтпе}}(t) = \sum_{1}^{n} C_i e^{\lambda_i t}, \tag{1.6}$$

мұндағы λ_{i} – сипаттамалық теңдеудің түбірлері (1.5) теңдеуіне сәйкес $p = \frac{d}{dt}$ теңдеуінің сол жағындағы дифференциалдық оператордағы дифференциал белгісін λ-ға ауыстыру арқылы құрастырылады:

$$a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + \ldots + a_{n-1}\lambda + a_n = 0. \tag{1.7}$$

Уақыт өте келе өтпелі компонент нөлге ұмтылса, онда жүйе асимптоталық орнықты болады. Бұл шарт қай кезде орындалатынын қарастырайық [1]:

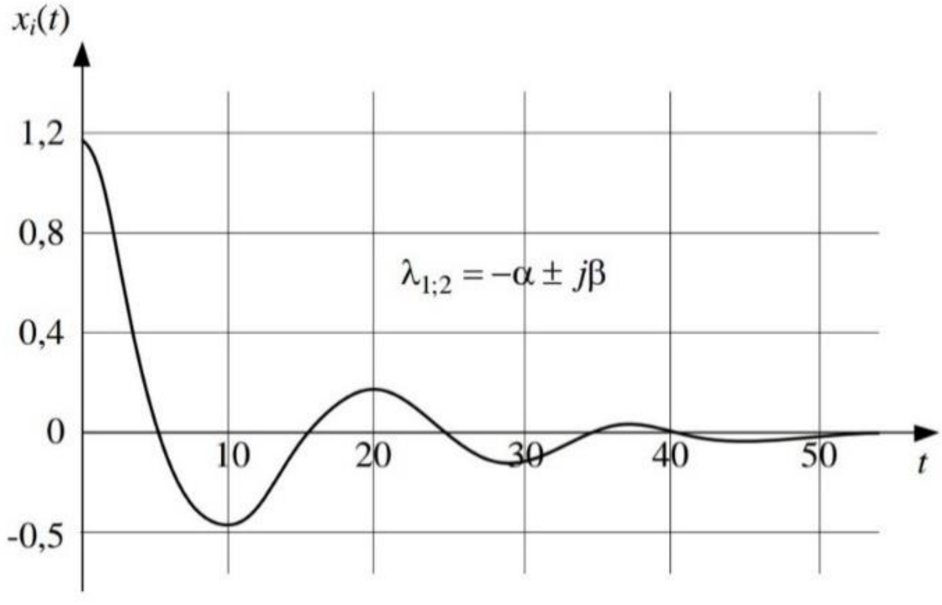
1) нақты түбірлер 1.1 суретте келтірілгендей: $\lambda_1 = -\alpha_1$; $\lambda_2 = \alpha_2$;



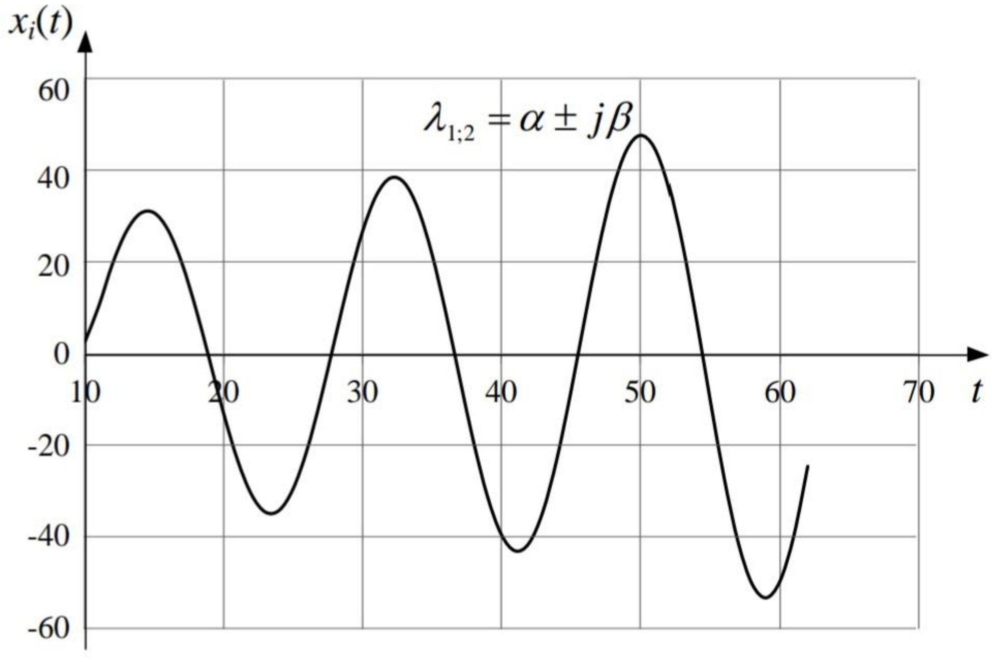
а – орнықты; б – орнықсыз;

1.1 Сурет – Сипаттамалық теңдеудің түбірлері нақты болған кездегі жүйенің өтпелі процестері

2) комплексті байланысқан түбірлер 1.2-1.3 суреттерде көрсетілген: $\lambda_{1;2} = -\alpha \pm j\beta$; $\lambda_{1;2} = +\alpha \pm j\beta$;

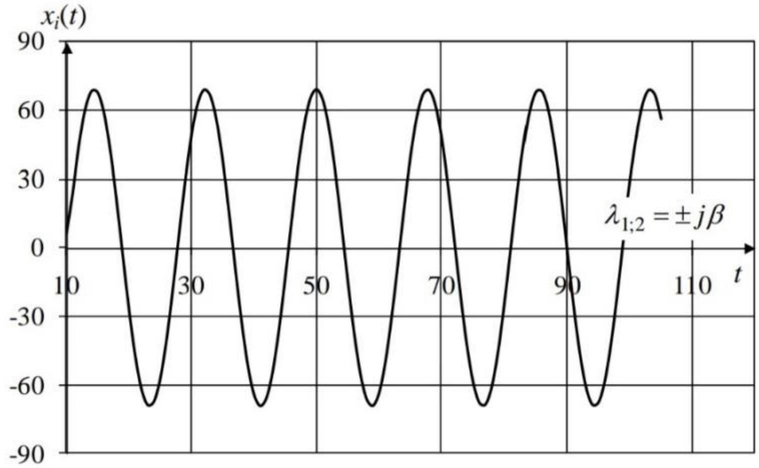


1.2 Сурет – Сипаттамалық теңдеудің түбірлері комплексті байланысқан кездегі орнықты жүйенің өтпелі процесі



1.3 Сурет – Сипаттамалық теңдеудің түбірлері комплексті байланысқан кездегі орнықсыз жүйенің өтпелі процесі

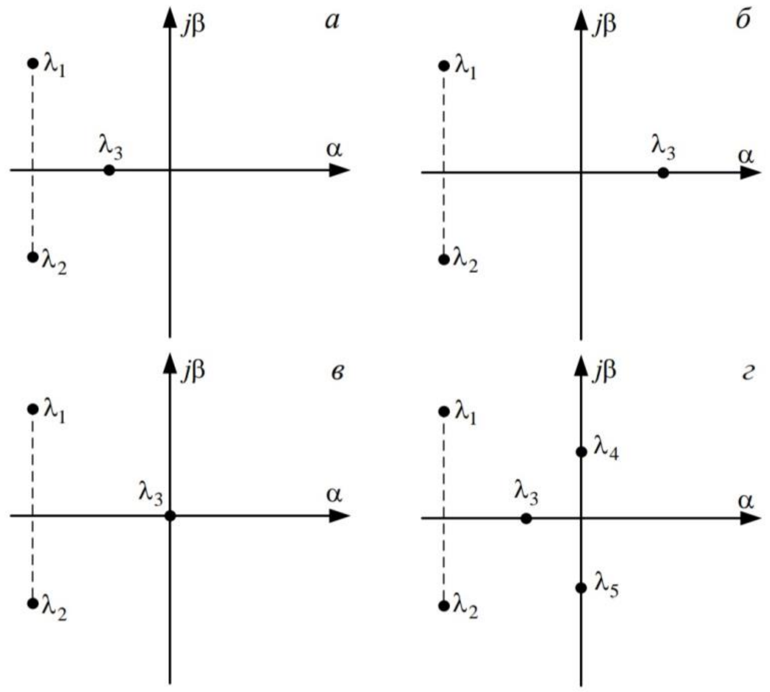
3) 1.4 суретте жорамал түбірлер көрсетілген: $\lambda_{1;2} = \pm j\beta$.



1.4 Сурет – Сипаттамалық теңдеудің түбірлері жорамал сандар болған кездегі орнытылық шекарасында орналасқан жүйенің өтпелі процесі

Сонымен, жоғарыда аталған $x_{\text{өтпе}}(t)$-ның мүмкін құрамдастарының әрекетін 1.1-1.4 суреттердегі талдаудан сызықтық жүйенің орнықтылық шартын тұжырымдай аламыз:

Сызықтық жүйе асимптоталық орнықты болуы үшін оның сипаттамалық теңдеуінің барлық түбірлері сол жақта, яғни теріс нақты бөліктері болуы қажет және жеткілікті [1], ол 1.5 суретте көрсетілген.



а - орнықты жүйе; б – орнықсыз жүйе; в – апериодтық орнықтылық шекарасында орналасқан жүйе; г - орнықтылықтың тербелмелі шекарасында орналасқан жүйе;

1.5 Сурет – Комплекс жазықтықтағы түбірлердің жағдайлары

Жүйе орнықты болуы үшін сипаттамалық теңдеудің коэффициенттері немесе осы коэффициенттердің кез келген функциялары қанағаттандыруға тиісті шарттардың математикалық тұжырымы орнықтылық критерийі деп аталады. Орнықтылық критерийлері алгебралық және жиілік деп ажыратылады.

1.4 Үшінші ретті жүйелердің орнықтылығы

Енді үшінші ретті жүйелердің орнықтылығын талдауға көшейік. Әрине, сипаттамалық көпмүшенің барлық коэффициенттері қажетті орнықтылық критерийін қанағаттандырады, яғни оң болады деп есептейміз. Біріншіден, біз оң нақты түбір болуы мүмкін емес екенін атап өтейік. Шынында да, оң коэффициенттері бар сипаттамалық теңдеудің сол жағындағы кез келген оң s санын ауыстырсақ, нөлді ешқандай жолмен ала алмаймыз.

$$a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0. \tag{1.8}$$

Осылайша, үшінші ретті жүйенің орнықсыздығы тек оң нақты бөлігі бар комплексті байлансқан түбірлердің пайда болуымен байланысты болуы мүмкін. Бұл түбірлер сол жақ жарты жазықтықтан өтетін оң жарты жазықтықта пайда болуы мүмкін, ал өтпелі шекара жорамал ось болады. Жүйе орнықты күйден орнықсызға ауысу кезінде орнықтылықтың тербелмелі шекарасында болады [3].

Жүйенің тербелмелі орнықтылық шекарасында болу шартын, яғни (1.8) теңдеуінің жорамал $s_{12} = \pm j\omega_0$, $\omega_0 \neq 0$ түбірлерінің болу шартын табайық. Ол үшін (1.8) теңдеудегі жорамал түбірлердің мәндерін ауыстырамыз:

$$-ja_0\omega_0^3 - a_1\omega_0^2 + ja_2\omega_0 + a_3 = 0. \tag{1.9}$$

Соңғы теңдеу (1.9) өрнектің сол жақ бөлігінің нақты және жорамал компоненттерінің екеуі де нөлге тең болған жағдайда ғана орындалады. Осыдан мына теңдеулер жүйесін аламыз

$$\begin{cases} -a_0\omega_0^3 + a_2\omega_0 = 0, \\ -a_1\omega_0^2 + a_3 = 0. \end{cases}$$

Алынған теңдеулердің біріншісін ω_0-ге қысқартып ($\omega_0 \neq 0$ болғандықтан) одан ω_0^2 тауып, оны екінші теңдеуге қоямыз. (1.8) сипаттамалық теңдеу арқылы жүйенің тербелмелі орнықтылық шекарасының шартын аламыз:

$$a_1 a_2 = a_0 a_3.$$

Алынған шарттан, егер теңдік белгісінің орнына теңсіздік белгісін қойсақ, онда жүйе не орнықты, не орнықсыз болатыны анық. Жүйенің орнықтылығы теңсіздіктің орындалуымен қамтамасыз етілетінін көрсетуге болады:

$$a_1a_2 > a_0a_3. \quad (1.10)$$

(1.10) шарты Вышеградский орнықтылық критерийі ретінде де белгілі, өйткені 1876 жылы үшінші ретті теңдеу коэффициенттерінің жүйе орнықтылығына әсерін зерттеген және (1.10) шартын шығарған И.В.Вышеградский болды. (1.10) шарты ауызша тұжырымдау кезінде жақсы есте қалады: «ішкі» коэффициенттердің көбейтіндісі «сыртқы» коэффициенттердің көбейтіндісіне қарағанда үлкен [3].

1.5 D-бөліну әдісіне негізделген орнықтылықты талдау

Неймарк өзінің «Автоматты жүйе орнықты болатын параметрлер мәндерін анықтау» атты еңбегінде жүйенің параметрлері айнымалы болған кезде жүйенің сызықтық орнықтылығын бағалау әдісін алғаш рет ұсынды. Әдіс D-бөліну әдісі ретінде жіктелді. Әдіс n ретті жүйенің сипаттамалық теңдеу коэффициенттерінің кеңістігін s - жазықтықтың оң жағындағы әртүрлі түбірлердің санына сәйкес келетін бірнеше аймақтарға бөлуді қарастырады. Мәселенің теориялық маңыздылығы оның динамикалық жүйелердің беріктігі мәселесімен тығыз байланысты орнықтылық теориясының дамуы болып табылатындығында. Бұл әдіс жүйе орнықты болып қалатын аймақтармен анықталған жүйе параметрлерінің шектеулерін анықтаудан тұрады. Бастапқы кезеңде әдіс өзінің теориялық мүмкіндіктерін көрсетті, дегенмен қолдану аясы өте шектеулі болды. Әдісті Неймарк 1978, 1992, 2006 жылдары жарияланған бірнеше жаңа бағыттар бойынша одан әрі дамытты. Неймарк өзінің бастапқы идеяларын кеңейткенімен, олар түсініксіздігіне байланысты сирек жүзеге асырылды.

1.6 Сипаттамалық теңдеу коэффициенттерінің кеңістігі

Басқару жүйесінің сипаттамалық теңдеуінің түбірлері осы теңдеудің коэффициенттеріне тәуелді, демек жүйенің параметрлеріне тәуелді. Әдетте, n-ретті сипаттамалық теңдеу үшін m түбірлер s - жазықтықтың оң жағында және (n-m) сол жағында орналасуы мүмкін. D-бөліну әдісін жүзеге асыру үшін басқару жүйесінің n-ретті сипаттамалық теңдеуі келесі түрде ұсынылады [4]:

$$D(s) = a_0s^n + a_1s^{n-1} + \ldots + a_n = 0, \quad (1.11)$$

мұндағы a_0, a_1, ..., a_n - параметрге тәуелді коэффициенттер,
s – Лаплас операторы.

Егер a_0 = 1 болса және түбірлердің біреуінің орны координаталар жүйесінің басында болса немесе түбірлер жұбы жорамал осьте болса, онда жүйе шекті орнықты болады.

$s = j\omega$ орнына қою арқылы (1.11) теңдеуді (1.12) теңдеуге түрлендіруге болады:

$$D(j\omega) = (j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \ldots + a_n = 0. \qquad (1.12)$$

Егер жиілік $a_1, a_2,..., a_{n-1}, a_n$ сипаттамалық теңдеу коэффициенттерінің кеңістігінде $-\infty \leq \omega \leq +\infty$ аралығында өзгерсе, онда (1.12) теңдеу n өлшемдік кеңістіктегі жазықтықты көрсетеді.

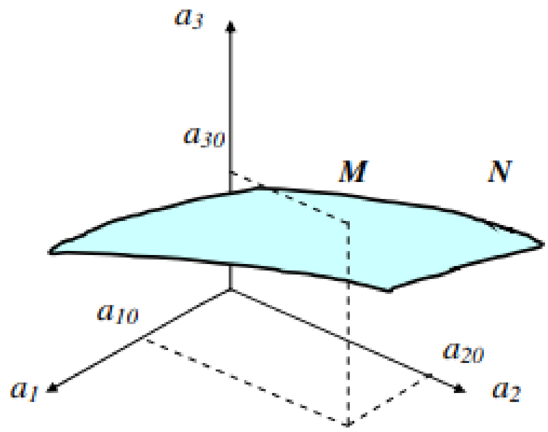
Егер сипаттамалық теңдеу үшінші ретті болса, оны келесідей сипаттауға болады:

$$D(s) = s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = 0. \qquad (1.13)$$

(1.13) теңдеу коэффициенттері арасында әрқашан осындай корреляция болады, бұл кезде не түбірлердің бірінің орны координаталар жүйесінің басынан табылады, не бір жұп түбірлер s-жазықтықтың жорамал осіне орналастырылады. $s = j\omega$ орнына қою арқылы (1.13) теңдеуін (1.14) теңдеуге түрлендіріліп, 1.6 суретте көрсетілгендей: a_1, a_2, a_3 коэффициенттерінің 3 өлшемді кеңістігінде N жазықтығын анықтауға болады [7]:

$$D(j\omega) = (j\omega)^3 + a_1(j\omega)^2 + a_2(j\omega) + a_3 = 0. \qquad (1.14)$$

1.6 суретте көрсетілгендей, коэффициенттердің тек нақты мәндері: a_{10}, a_{20}, a_{30} N жазықтығының бетінде орналасқан M нүктесін анықтайды. Бұл сипаттамалық теңдеудің түбірлері жорамал осьте жатқанда ғана болады (шекті орнықтылық жағдайында). Сондықтан (1.14) теңдеумен анықталатын N жазықтығы коэффициенттер кеңістігін бірқатар аймақтарға бөледі. Аймақтар *D(m)* ретінде белгіленген, мұндағы *m* s-жазықтықтың оң жағындағы түбірлердің санын білдіреді.



1.6 Сурет – Сипаттамалық теңдеу коэффициенттерінің үш өлшемді кеңістігі.

1.7 Неймарк анықтамасы және D-бөліну бойынша қосымша ойлар

D-бөліну терминін алғаш рет Лобачевский атындағы мемлекеттік университетінің (1916 жылы негізі қаланған және Ресейдегі ең жақсы классикалық университеттердің бірі болып саналады) Ресейге әйгілі профессоры Юрий Исаакович Неймарк (1920–2011) қолданған. Профессор Неймарк әлемдегі ең жоғары ғылыми мекемелердің бірі – Ресей Ғылым академиясының мүшесі болды.

D-бөліну әдісінің бастапқы идеяларын профессор Неймарк 1948 жылы ұсынған және тек орыс дереккөздерінде ғана бар. Профессор Неймарк бірінші рет жүйенің параметрлері айнымалы болған кезде сызықтық жүйе орнықтылығын бағалау әдісін ұсынды. Содан кейін әдіс D-бөліну әдісі ретінде тіркелді. D-бөліну әдісінің бастапқы идеяларын профессор Неймарк келесі анықтамада тұжырымдаған:

a1,a2,...,an-1,an, сипаттамалық теңдеу коэффициенттерінің кеңістігін s-жазықтықтың оң жағындағы m түбірлерінің әртүрлі санына сәйкес келетін бірнеше аймақтарға бөлу D-бөліну әдісі ретінде қарастырылады [4], [5].

Бастапқы кезеңде әдіс өзінің теориялық мүмкіндіктерін көрсетті және қолдану аясы өте шектеулі болды. Әдістемені профессор Неймарк 1978, 1992, 2006 жылдары жарияланған бірнеше жаңа бағыттар бойынша кеңейтті [5], [6].

Бұл дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты профессор Неймарктың бастапқы идеяларын қолдана отырып, D-бөліну әдісін үшінші ретті статикалық жүйенің орнықтылығын талдауда қолданылуын көрсету. Осы зерттеуде әзірленген талдаудың жетістігі бір және екі жүйе параметрлері тәуелсіз немесе бір мезгілде өзгеретін айнымалы жағдайында оның практикалық қолданылуына байланысты.

(1.13) сипаттамалық теңдеумен сипатталған үшінші ретті жүйеде төрт аймақ болады: D(3), D(2), D(1), D(0). Тек D(0) облысы орнықтылық аймағы болады, өйткені ол жүйе параметрлерінің сәйкесінше коэффициенттерінің осындай қатынасына сәйкес келеді, ол үшін сипаттамалық теңдеудің s-жазықтықтың оң жағында түбірлері болмауы керек. Сондықтан орнықтылық шарты тек D(0) аймағы үшін орындалады.

2 ЕСЕПТІК БӨЛІМ

2.1 Айнымалы параметрлер жағдайындағы D-бөліну: жалпы қарастыру

Неймарк ұсынған D-бөліну әдісі осы зерттеуде бір немесе екі айнымалы жүйе параметрлері бар жағдайлары үшін бірқатар дәйекті қадамдармен ұсынылатын болады. Оның қолданылуы үшінші ретті сызықты басқару жүйесі үшін көрсетіледі. Бір айнымалы параметр болған жағдайда D-бөліну әдісі осы параметрдің комплекс жазықтығында орындалады.

Бастапқыда бұл зерттеуде айнымалы параметрді ашу үшін жүйенің сипаттамалық теңдеуін (1.11) келесі форматта енгізу ұсынылады:

$$D(s) = P(s) + \nu\, Q(s) = 0, \tag{2.1}$$

мұндағы $P(s)$ және $Q(s)$ – Лаплас операторының s көпмүшелері,

ν – бір айнымалы жүйе параметрі.

D-бөліну шекараларын (2.1) сипаттамалық теңдеудегі $s = j\omega$ орнына қою және $-\infty \le \omega \le +\infty$ аралығындағы жиілікті өзгерту арқылы анықтауға болады. Сәйкесінше (2.1) теңдеуі (2.2) теңдеуіне келесідей түрлендіріледі:

$$D(j\omega) = P(j\omega) + \nu\, Q(j\omega) = 0. \tag{2.2}$$

Әрі қарай, ν келесідей комплекс сан ретінде ұсынылады:

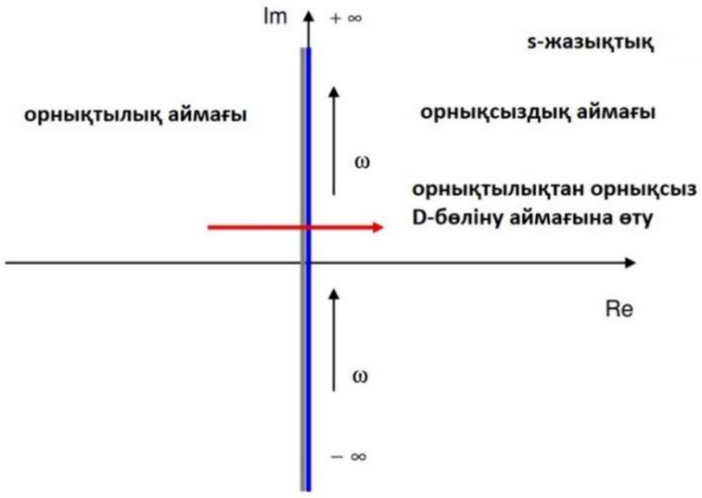
$$\nu = -\frac{P(j\omega)}{Q(j\omega)} = X(\omega) + jY(\omega), \tag{2.3}$$

мұндағы осы комплекс санның нақты бөлігі $X(\omega)$ басқару жүйесінің айнымалы параметрінің мәніне шын мәнінде сәйкес келеді.

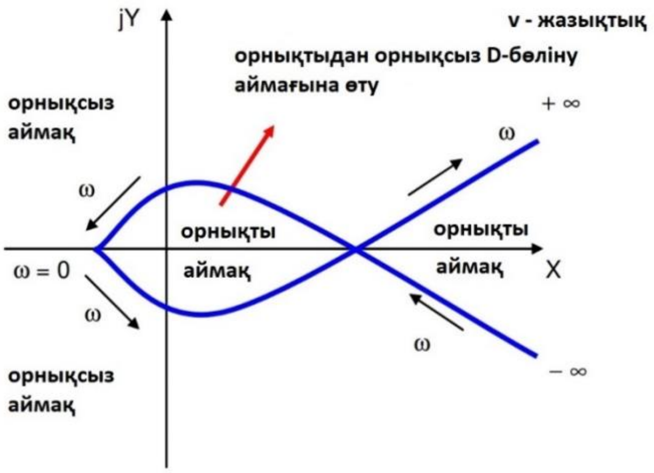
Содан кейін D-бөліну аймақтарын графикалық түрде комплекс жазықтықта $\nu = X(\omega) + Y(\omega)$ $-\infty \le \omega \le +\infty$ аралығындағы жиілікті өзгерту арқылы алуға болады. Жүйенің сипаттамалық теңдеуінің түбірі 2.1 суретте көрсетілгендей, s-жазықтықтың сол жағынан оң жағына жылжымалы осьті кесіп өтті делік.

Түбірдің орнықтылық аймағынан s-жазықтықтың орнықсыздық аймағына өтетін бұл қозғалысы 2.2 суретте көрсетілген D-бөліну аймағының шекарасын көрсетілген бағытта кесіп өтуіне сәйкес келеді.

Егер ω жиілігі $-\infty$-тен $+\infty$-ке өзгерген кезде түбір s-жазықтықтың жорамал осі бойымен қозғалса, 2.1 суреттен көрініп тұрғандай орнықтылық аймағы әрқашан жазықтықтың сол жағында қалады. Сол сияқты 2.2 суретте комплекс жазықтықта $\nu = X(\omega) + jY(\omega)$ $-\infty$-тен $+\infty$-ке дейінгі аралықтағы жиіліктердің өзгеруі үшін орнықтылық аймағы әрқашан D-бөліну қисығының сол жағында болады.



2.1 Сурет – түбірдің s-жазықтықтың орнықтылық аймағынан орнықсыздық аймағына өту қозғалысы



2.2 Сурет – $-\infty$-тен $+\infty$-ке дейінгі аралықтағы жиіліктің өзгеруі кезіндегі ν-жазықтықтағы D-бөліну.

2.2 Бір айнымалы параметр бойынша D-бөліну

Уақыт тұрақтыларының бірі $T_3 = \nu$ айнымалы болып табылатын, ал барлық басқа жүйе параметрлері белгілі және тұрақты болатын үшінші ретті статикалы басқару жүйесін қарастыратын боламыз. Мақсат жүйе параметрі T_3 өзгеретін болса, орнықтылық аймақтарын анықтау болып табылады. T_3 айнымалы параметрін көрсететін сипаттамалық теңдеу келесі түрде беріледі:

$$D(s) = P(s) + \nu Q(s) = P(s) + T_3 Q(s) = 0. \tag{2.4}$$

D-бөліну қисығын $s = j\omega$ ауыстыру және $-\infty \leq \omega \leq +\infty$ аралығында жиілік мәндерін орныластырып қою арқылы ν-комплекс жазықтығында салуға болады.

$$\nu = T_3 = -\frac{P(j\omega)}{Q(j\omega)} = X(\omega) + jY(\omega). \tag{2.5}$$

Штрихтау ережесі. D-бөліну қисығы бойымен $\omega = -\infty$ нүктесінен $\omega = \infty$ нүктесіне жылжытқанда оны әрқашан сол жақтан штрихтау керек. Нәтижесінде автоматты басқару жүйесінің орнықты және орнықсыз күйлерінің аймақтарын анықтауға болады. Мысалы, аймақтардың бірінің сол жақ жарты жазықтықта k түбірі бар екенін анықтай отырып, олардың басқа аймақтардағы санын D-бөліну қисығынан өту арқылы табуға болады.

Егер қисық сызық штрихталмаған жақтан штрихталған жаққа өтетін болса, онда бұл аймақта сол жақ жарты жазықтықтағы түбірлердің саны бірге артады ($k+\ 1$). Қисық сызық штрихталған жақтан штрихталмаған жаққа өткенде түбірлердің саны бірге азаяды ($k - 1$).

Үшінші ретті сызықты автоматты басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау үшін келесі мысалды шығарып көрейік. Тұйықталмаған жағдайдағы беріліс функциясы мынадай болсын:

$$W(s) = \frac{500}{(1+10s)(1+0.1s)(1+T_3 s)}. \tag{2.6}$$

Бұл жағдайда жүйенің тұйықталған жағдайдағы беріліс функциясы мына теңдеумен жазылады:

$$W_{\text{т}}(s) = \frac{W(s)}{1+W(s)} = \frac{\frac{500}{(1+10s)(1+0.1s)(1+T_3 s)}}{1+\frac{500}{(1+10s)(1+0.1s)(1+T_3 s)}} = \\ = \frac{500}{(1+10s)(1+0.1s)(1+T_3 s)+500}. \tag{2.7}$$

Осыдан тұйықталған жүйенің сипаттауыш теңдеуін былай жаза аламыз:

$$D(s) = (1+10s)(1+0.1s)(1+T_3 s)+500 = \\ = T_3 s^3 + (10.1T_3+1)s^2 + (T_3+10.1)s + 500 + 1, \tag{2.8}$$

$$T_1T_2T_3 s^3 + (T_1T_2 + T_2T_3 + T_1T_3)s^2 + (T_1+T_2+T_3)s + K + 1 = 0, \tag{2.9}$$

$$T_3(s^3 + 10.1s^2 + s) + (s^2 + 10.1s + 501) = 0. \tag{2.10}$$

Сипаттамалық теңдеудегі $s = j\omega$ орнына қойып, T_3-ті комплекс сан ретінде келесідей табамыз:

$$T_3 = \frac{501 - \omega^2 + 10.1j\omega}{j\omega - j\omega^3 - 10.1\omega^2} = \\ = \frac{5050}{102.01\omega^2 + (1 - \omega^2)^2} + j\frac{\omega^4 - 399.99\omega^2 + 501}{102.01\omega^3 + \omega(1 - \omega^2)^2}. \quad (2.11)$$

Ары қарай ω бұрыш жиілігін 0-ден бастап ∞-ке деін өзгертіп D-бөліну қисығының оң таңбалы бұрыш жиіліктеріне сәйкес бұтағын таба аламыз.

Теріс таңбалы бұрыш жиіліктеріне сәйкес келетін бұтағын бұрыш жиілігінің мәнін $-\infty$-тен 0-ге дейін өзгертіп табамыз. Немесе оң таңбалы бұрыш жиіліктеріне сәйкес келетін бұтағын алып оның нақты осіне симметриялы графигін саламыз.

Бұрыш жиілігінің мәндерін 0-ден бастап ∞-ке дейін өзгертіп D-бөліну қисығының нүктелерінің мәндерін теңдеу арқылы есептеп табайық:

$$X(0) = \frac{5050}{102.01 \cdot 0^2 + (1 - 0^2)^2} = 5050,$$

$$X(0.1) = \frac{5050}{102.01 \cdot 0.1^2 + (1 - 0.1^2)^2} = 2524.7,$$

$$X(0.5) = \frac{5050}{102.01 \cdot 0.5^2 + (1 - 0.5^2)^2} = 193.7,$$

$$X(1) = \frac{5050}{102.01 \cdot 1^2 + (1 - 1^2)^2} = 49.5,$$

$$X(1.12) = \frac{5050}{102.01 \cdot 1.12^2 + (1 - 1.12^2)^2} = 39.44,$$

$$X(5) = \frac{5050}{102.01 \cdot 5^2 + (1 - 5^2)^2} = 1.61,$$

$$X(15) = \frac{5050}{102.01 \cdot 15^2 + (1 - 15^2)^2} = 0.07,$$

$$X(20) = \frac{5050}{102.01 \cdot 20^2 + (1 - 20^2)^2} = 0.025,$$

$$X(23) = \frac{5050}{102.01 \cdot 23^2 + (1 - 23^2)^2} = 0.015,$$

$$X(30) = \frac{5050}{102.01 \cdot 30^2 + (1 - 30^2)^2} = 0.005,$$

$$Y(0) = \frac{0^4 - 399.99 \cdot 0^2 + 501}{102.01 \cdot 0^3 + 0(1 - 0^2)^2} = \infty,$$

$$Y(0.1) = \frac{0.1^4 - 399.99 \cdot 0.1^2 + 501}{102.01 \cdot 0.1^3 + 0.1(1 - 0.1^2)^2} = 2484.7,$$

$$Y(0.5) = \frac{0.5^4 - 399.99 \cdot 0.5^2 + 501}{102.01 \cdot 0.5^3 + 0.5(1 - 0.5^2)^2} = 30.77,$$

$$Y(1) = \frac{1^4 - 399.99 \cdot 1^2 + 501}{102.01 \cdot 1^3 + 1(1 - 1^2)^2} = 1,$$

$$Y(1.12) = \frac{1.12^4 - 399.99 \cdot 1.12^2 + 501}{102.01 \cdot 1.12^3 + 1.12(1 - 1.12^2)^2} = 0,$$

$$Y(5) = \frac{5^4 - 399.99 \cdot 5^2 + 501}{102.01 \cdot 5^3 + 5(1 - 5^2)^2} = -0.57,$$

$$Y(15) = \frac{15^4 - 399.99 \cdot 15^2 + 501}{102.01 \cdot 15^3 + 15(1 - 15^2)^2} = -0.035,$$

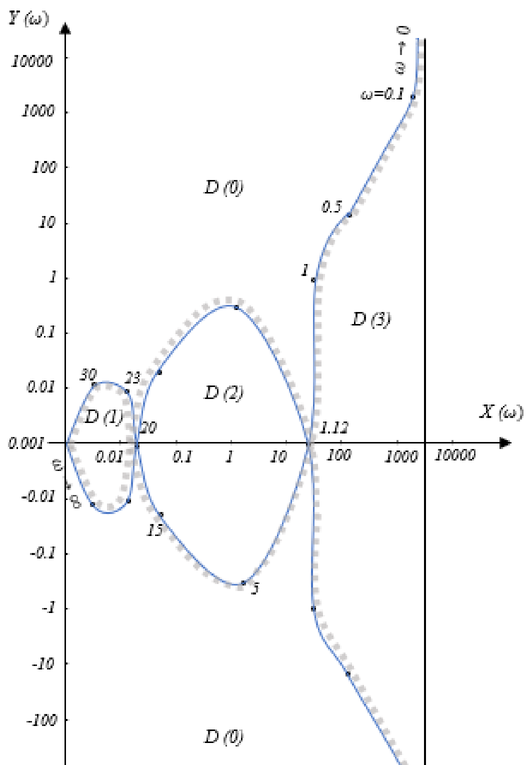
$$Y(20) = \frac{20^4 - 399.99 \cdot 20^2 + 501}{102.01 \cdot 20^3 + 20(1 - 20^2)^2} = 0,$$

$$Y(23) = \frac{23^4 - 399.99 \cdot 23^2 + 501}{102.01 \cdot 23^3 + 23(1 - 23^2)^2} = 0.01,$$

$$Y(30) = \frac{23^4 - 399.99 \cdot 23^2 + 501}{102.01 \cdot 23^3 + 23(1 - 23^2)^2} = 0.016.$$

2.1 Кесте – Табылған $X(\omega)$ және $Y(\omega)$ мәндері

ω	0	0.1	0.5	1	1.12	5	15	20	23	30	∞
$X(\omega)$	5050	2524.7	193.7	49.5	39.44	1.61	0.07	0.025	0.015	0.005	0
$Y(\omega)$	∞	2484.77	30.77	1	0	−0.57	−0.035	0	0.01	0.016	0



2.3 Сурет – Бір айнымалы параметірі бар D-бөліну қисығы

Табылған D-бөліну шекарасын штрих белгілерімен белгілеу керек. Ол үшін бұрыш жиілігінің $-\infty$-тен бастап ∞ дейін өзгерген кезінде D-бөліну шекарасының бойымен сол жағынан штрих белгілерімен белгілейміз. Нәтижесінде D-бөліну қисық сызығы жазықтықты төрт аймаққа бөледі. Аймақтар D(0), D(1), D(2) және D(3) деп белгіленген.

Қарастырылып отырған жүйенің орнықтылық аймақтары D(1) және D(3) болып табылады, өйткені бұл аймақтардың орны әрқашан D-бөліну қисығының сол жағында болады. Оны D(1) және D(3) аймақтарындағы штрих белгілерінің бағытынан да көре аламыз.

Аймақтардың орнықты екенін дәлелдеу үшін ең алдымен D(1) аймағының бір нүктесін алып, мысалы $T_3 = 0.01$, Гурвиц критерийі бойынша жүйенің орнықтылығын анықтайық. Бұл жағдайда тұйықталған жүйенің сипаттауыш теңдеуі тең:

$$\begin{gathered} D(s) = (1 + 10s)(1 + 0.1s)(1 + 0.01s) + 500 = \\ = 0.01s^3 + 1.101s^2 + 10.11s + 1 + 500. \end{gathered} \qquad (2.12)$$

Осыдан $a_0 = 0.01$, $a_1 = 1.101$, $a_2 = 10.11$, $a_3 = 501$. Онда жүйе орнықты болуы үшін барлық коэффициенттер нөлден үлкен болғанда

$$a_0 = 0.01 > 0, a_1 = 1.101 > 0, a_2 = 10.11 > 0, a_3 = 501 > 0,$$

келесі жеткілікті шарт орындалуы тиіс

$$a_1 a_2 - a_0 a_3 = 1.101 \cdot 10.11 - 0.01 \cdot 501 = 6.12111 > 0. \qquad (2.13)$$

Орнықтылық шарты орындалатындықтан D(1) аймағы орнықты.

Енді D(3) аймағынан бір нүктені алып, мысалы $T_3 = 100$, Гурвиц критерийі бойынша жүйенің орнықтылығын анықтайықтаймыз. Бұл кезде тұйықталған жүйенің сипаттауыш теңдеуі тең болады:

$$\begin{gathered} D(s) = (1 + 10s)(1 + 0.1s)(1 + 100s) + 500 = \\ = 100s^3 + 1011s^2 + 110.1s + 1 + 500. \end{gathered} \qquad (2.14)$$

Осыдан $a_0 = 100$, $a_1 = 1011$, $a_2 = 110.1$, $a_3 = 501$. Онда жүйе орнықты болуы үшін барлық коэффициенттер нөлден үлкен болғанда

$$a_0 = 100 > 0, a_1 = 1011 > 0, a_2 = 110.1 > 0, a_3 = 501 > 0,$$

келесі жеткілікті шарт орындалуы тиіс

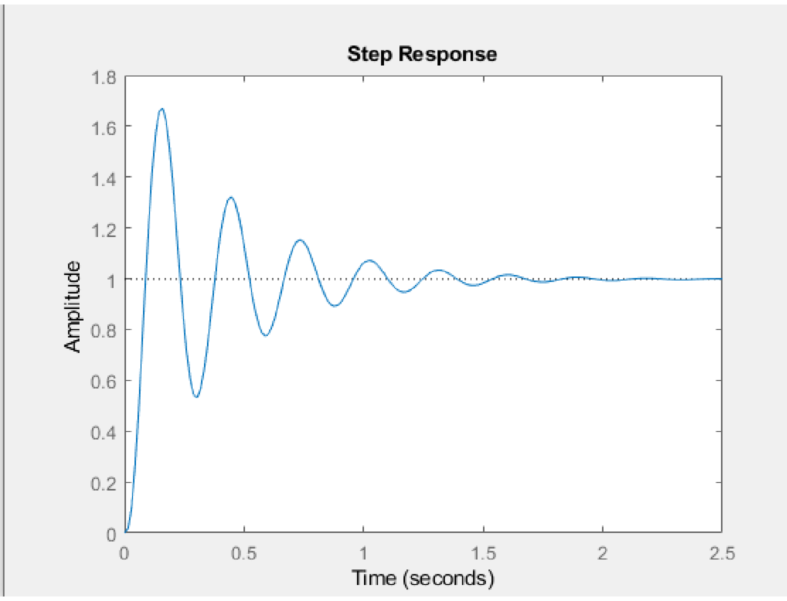
$$a_1 a_2 - a_0 a_3 = 1011 \cdot 110.1 - 100 \cdot 501 = 61211.1 > 0. \qquad (2.15)$$

Бұл жағдайда да орнықтылық шарты орындалып тұр, яғни D(3) аймағы орнықты. Сонымен, табылған D(1) және D(3) аймақтары орнықтылық аймақтары бола алады.

Осы тұжырымды Matlab ортасында модельдеп, дәлелдеуге болады. Ол үшін $T_3 = 0.01$ орнықты және $T_3 = 100$ орнықты жағдайлар қарастырылады. Ол үшін Matlab ортасында программалық жолына беріліс функцияны енгізіп, оның сипаттауыш теңдеуінің түбірлерін тауып, жүйенің орнықтылығын анықтаймын.

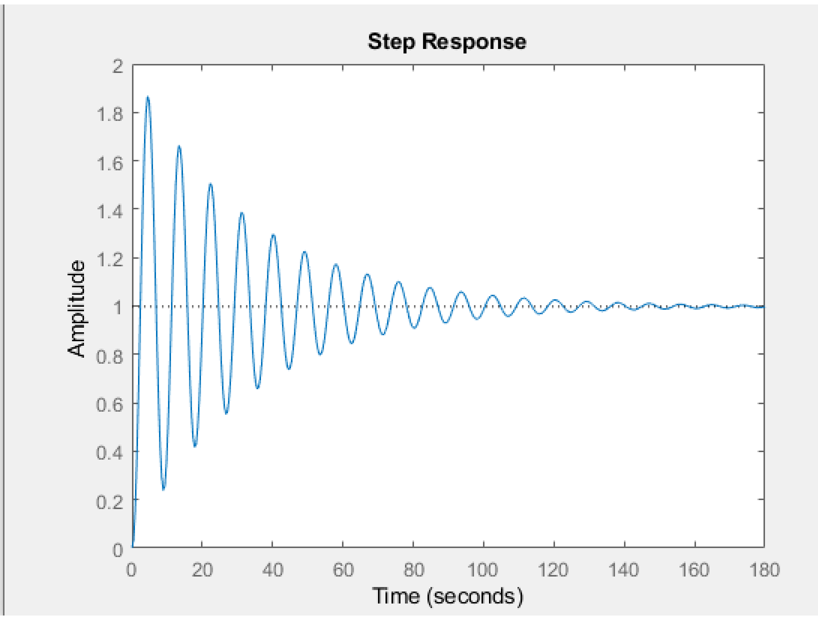
D(1) аймағында сипаттауыш теңдеудің барлық үш түбірінің нақты бөліктері теріс таңбалы және өтпелі процестің графигі тербелмелі орнықты. Бұл осы аймақтың орнықты екенін дәлелдейді. Осы жағдай 2.4 суретте көрсетілген.

```
>> w1= tf ([500], [0.01 1.101 10.11 501])

w1 =

                  500
  -----------------------------------
  0.01 s^3 + 1.101 s^2 + 10.11 s + 501

Continuous-time transfer function.

>> pole(w1)

ans =

   1.0e+02 *

  -1.0502 + 0.0000i
  -0.0254 + 0.2169i
  -0.0254 - 0.2169i

>> step(w1)
>>
```



2.4 Сурет – Орнықты D(1) аймақтағы сипаттауыш теңдеудің түбірлері және өтпелі процестің графигі

```
>> w3=tf([500],[100 1011 110.1 501])

w3 =

                  500
  ----------------------------------
  100 s^3 + 1011 s^2 + 110.1 s + 501

Continuous-time transfer function.

>> pole(w3)

ans =

 -10.0501 + 0.0000i
  -0.0300 + 0.7054i
  -0.0300 - 0.7054i

>> step(w3)
>>
```



2.5 Сурет – D(3) орнықты аймағындағы сипаттауыш теңдеудің түбірлері және өтпелі процестің графигі

Орнықты D(3) аймақта да D(1) орнықты аймағындағы сияқты сипаттауыш теңдеудің барлық үш түбірінің нақты бөліктері теріс таңбалы және өтпелі процестің графигі тербелмелі орнықты. Осы жағдай 2.5 суретте көрсетілген.

2.3 Екі айнымалы параметр бойынша D-бөліну

Бұл жағдай тәжірибеде жиі кездеседі. Тұйық жүйенің сипаттамалық теңдеуіне сызықты түрде енетін екі параметрдің жүйенің орнықтылығына әсерін анықтау қажет. Жүйенің сипаттмалық теңдеуі әдетте келесі түрде беріледі:

$$D(s) = \mu P(s) + \gamma Q(s) + R(s) = 0, \tag{2.16}$$

мұндағы $P(s)$, $Q(s)$ және $R(s)$ – s көпмүшелері,

μ және γ – жүйенің айнымалы параметрлері.

Жазықтықтағы D-бөліну аймақтарының шекарасы (μ, γ) былай анықталады:

$$D(j\omega) = \mu P(j\omega) + \gamma Q(j\omega) + R(j\omega) = 0. \tag{2.17}$$

Егер үшінші ретті бірлік кері байланыс жүйесі қарастырылса, жүйенің сипаттамалық теңдеуін келесі түрде беруге болады:

$$D(s) = (T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1) + K = 0. \tag{2.18}$$

Жүйенің екі параметрі бір уақытта айнымалы болса:

$$T_1 = T = \mu, \qquad K = \gamma. \tag{2.19}$$

Мақсат – жүйе орнықты болатын осы екі параметрдің өзгеру аймақтарын анықтау. (2.19) теңдеуді (2.18) теңдеудің орнына қоямыз, сонда:

$$\mu[T_2T_3s^3 + (T_2{+}T_3)s^2 + s] + \gamma + T_2T_3s^2 + (T_2{+}T_3)s + 1 = 0. \tag{2.20}$$

(2.20) теңдеудегі $s = j\omega$ орнына қою арқылы және (2.17) теңдеуді ескере отырып, (2.20) теңдеуді (2.21) теңдеулер жиыны ретінде егжей-тегжейлі түрде жазуға болады:

$$\begin{gathered} P(j\omega) = [T_1T_2(j\omega)^3 + (T_2{+}T_3)(j\omega)^2 + j\omega], \\ Q(j\omega) = 1, \\ R(j\omega) = T_2T_3(j\omega)^2 + (T_2{+}T_3)j\omega + 1. \end{gathered} \tag{2.21}$$

(2.17) және (2.21) теңдеулерін ескере отырып, айнымалы жүйенің параметрлерін келесідей анықтауға болады:

$$\mu = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{T_2 + T_3}{T_2 T_3 \omega^2 - 1},$$

$$\gamma = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{(T_2 T_3 \omega^2 - 1)^2 + (T_2 + T_3)^2 \omega^2}{T_2 T_3 \omega^2 - 1}, \tag{2.22}$$

немесе

$$\Delta = T_2 T_3 \omega^2 - 1. \tag{2.23}$$

Δ анықтауышы $\omega = \omega_\infty$ белгілі бір жиілікте $\Delta = 0$ болады, оны (2.23) теңдеуден мына түрде табуға болады:

$$\omega = \omega_\infty = \sqrt{\frac{1}{T_2 T_3}}. \tag{2.24}$$

Егер $\Delta = 0$ болса, (2.24) теңдеуден $\omega = \omega_\infty$ кезінде жүйенің екі параметрі де шексіздікке жақындайтынын анық байқай аламыз:

$$\mu(\omega_\infty) \to \infty, \quad \gamma(\omega_\infty) \to \infty, \tag{2.25}$$

Бұл негізгі D-бөліну қисығының $\omega = \omega_\infty$ жиілігінде үзілуі бар екенін білдіреді. Ол $0 < \omega < \omega_\infty$ және $\omega_\infty < \omega < \infty$ жиілік аралығында сызылған екі бөліктен тұрады.

Штрихтау ережесі. D-бөліну қисығы бойымен $\omega = -\infty$ нүктесінен $\omega = \infty$ нүктесіне дейін қозғалған кезде, егер $\Delta > 0$ болса сол жақтан екі рет, ал $\Delta < 0$ болса оң жақтан екі рет штрихтау керек. Штрихталған аймақтан штрихталмаған аймаққа қосарланған штрихпен шекараны кесіп өткенде, сипаттамалық теңдеудің екі түбірі сол жақ жарты жазықтықтан оңға өтеді, ал керісінше, штрихталған аймаққа көшкенде бізде сол жақ жарты жазықтықта екі комплексті түбір қалады.

Енді осыларды есеп түрінде шығарайық. Тұйықталмаған жағдайдағы беріліс функциясы мынандай болсын:

$$W(s) = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + 0.5s)(1 + 0.8s)}. \tag{2.26}$$

Жүйенің тұйықталған жағдайдағы беріліс функциясы былай жазылады:

$$W_т(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s)} = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + 0.5s)(1 + 0.8s) + K}. \tag{2.27}$$

Осыдан тұйықталған жүйенің сипаттауыш теңдеуін былай жаза аламыз:

$$D(s) = (1 + T_1 s)(1 + 0.5s)(1 + 0.8s) + K = \\ = 0.4T_1 s^3 + 1.3T_1 s^2 + T_1 s + 0.4s^2 + 1.3s + 1 + K = 0, \tag{2.28}$$

$$T_1 = T = \mu, \quad K = \gamma, \tag{2.29}$$

$$\mu(0.4s^3 + 1.3s^2 + s) + \gamma + 0.4s^2 + 1.3s + 1 = 0. \tag{2.30}$$

$s = j\omega$ орнына қоямыз:

$$\begin{gathered} P(j\omega) = -1.3\omega^2 - j(0.4\omega^3 - \omega), \\ Q(j\omega) = 1, \\ R(j\omega) = -0.4\omega^2 + 1 + j1.3\omega. \end{gathered} \tag{2.31}$$

Енді анықтауыштарының мәнін есептейміз:

$$\Delta = \begin{vmatrix} -1.3\omega^2 & 1 \\ -0.4\omega^3 + \omega & 0 \end{vmatrix} = 0.4\omega^3 - \omega,$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0.4\omega^2 - 1 & 1 \\ -1.3\omega & 0 \end{vmatrix} = 1.3\omega,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -1.3\omega^2 & 0.4\omega^2 - 1 \\ -0.4\omega^3 + \omega & -1.3\omega \end{vmatrix} = 1.69\omega^3 + 0.16\omega^5 - 0.8\omega^3 + \omega = \\ = 0.16\omega^5 + 0.89\omega^3 + \omega.$$

Осы анықтауыштар арқылы айнымалы жүйенің параметрлерін табамыз:

$$\begin{gathered} \mu = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{1.3}{0.4\omega^2 - 1}, \\ \gamma = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0.16\omega^4 + 0.89\omega^2 + 1}{0.4\omega^2 - 1}. \end{gathered} \tag{2.32}$$

$\Delta = 0$ болғанда:

$$\omega = \omega_\infty = \sqrt{\frac{1}{0.4}} = \sqrt{2.5} = 1.5811. \tag{2.33}$$

Енді ω жиілік мәнін $0 < \omega < \omega_\infty$ және $\omega_\infty < \omega < \infty$ аралықтарында ауыстырып μ және γ мәндерін анықтаймыз:

$$\mu(0) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 0^2 - 1} = -1.3, \quad \gamma(0) = \frac{0.16 \cdot 0^4 + 0.89 \cdot 0^2 + 1}{0.4 \cdot 0^2 - 1} = -1,$$

$$\mu(1) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 1^2 - 1} = -2.16, \quad \gamma(1) = \frac{0.16 \cdot 1^4 + 0.89 \cdot 1^2 + 1}{0.4 \cdot 1^2 - 1} = -3.41,$$

$$\mu(1.58) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 1.58^2 - 1} \to \infty, \qquad \gamma(1.58) = \frac{0.16 \cdot 1.58^4 + 0.89 \cdot 1.58^2 + 1}{0.4 \cdot 1.58^2 - 1} \to \infty,$$

$$\mu(1.7) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 1.7^2 - 1} = 8.33, \qquad \gamma(1.7) = \frac{0.16 \cdot 1.7^4 + 0.89 \cdot 1.7^2 + 1}{0.4 \cdot 1.7^2 - 1} = 31.46,$$

$$\mu(1.8) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 1.8^2 - 1} = 4.4, \qquad \gamma(1.8) = \frac{0.16 \cdot 1.8^4 + 0.89 \cdot 1.8^2 + 1}{0.4 \cdot 1.8^2 - 1} = 18.8,$$

$$\mu(2) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 2^2 - 1} = 2.16, \qquad \gamma(2) = \frac{0.16 \cdot 2^4 + 0.89 \cdot 2^2 + 1}{0.4 \cdot 2^2 - 1} = 11.86,$$

$$\mu(2.8) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 2.8^2 - 1} = 0.6, \qquad \gamma(2.8) = \frac{0.16 \cdot 2.8^4 + 0.89 \cdot 2.8^2 + 1}{0.4 \cdot 2.8^2 - 1} = 8.34,$$

$$\mu(3.5) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 3.5^2 - 1} = 0.33, \qquad \gamma(3.5) = \frac{0.16 \cdot 3.5^4 + 0.89 \cdot 3.5^2 + 1}{0.4 \cdot 3.5^2 - 1} = 9.2,$$

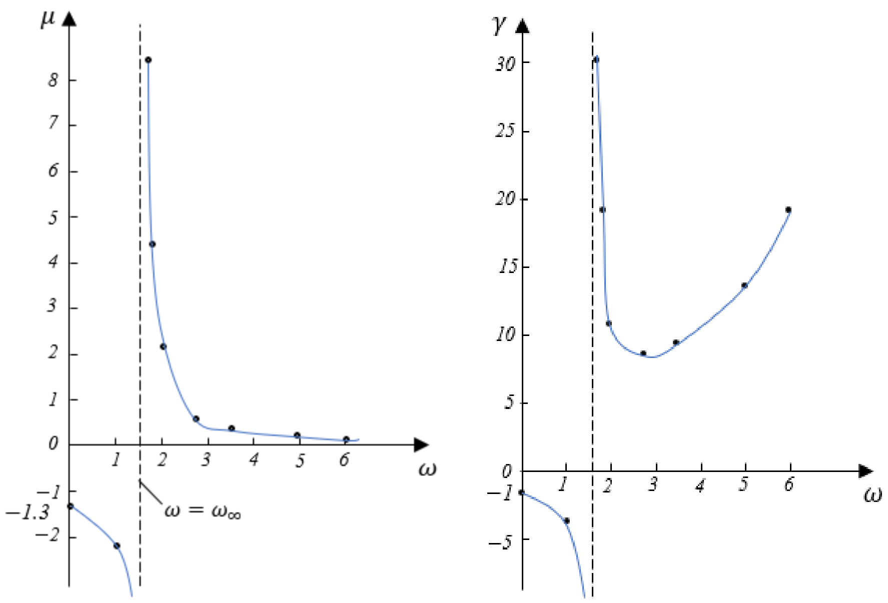
$$\mu(5) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 5^2 - 1} = 0.14, \qquad \gamma(5) = \frac{0.16 \cdot 5^4 + 0.89 \cdot 5^2 + 1}{0.4 \cdot 5^2 - 1} = 13.7,$$

$$\mu(6) = \frac{1.3}{0.4 \cdot 6^2 - 1} = 0.01, \qquad \gamma(6) = \frac{0.16 \cdot 6^4 + 0.89 \cdot 6^2 + 1}{0.4 \cdot 6^2 - 1} = 18.$$

2.2 Кесте – Табылған $\mu(\omega)$ және $\gamma(\omega)$ мәндері

ω	0	1	1.5811	1.7	1.8	2	2.8	3.5	5	6
$\mu(\omega)$	-1.3	-2.16	∞	8.33	4.4	2.16	0.6	0.33	0.14	0.01
$\gamma(\omega)$	-1	-3.41	∞	31.46	18.8	11.86	8.34	9.2	13.7	18

Түсініктірек болуы үшін алдымен $\mu(\omega)$ және $\gamma(\omega)$ функцияларының графиктерін суретте көрсетілгендей сызамыз.

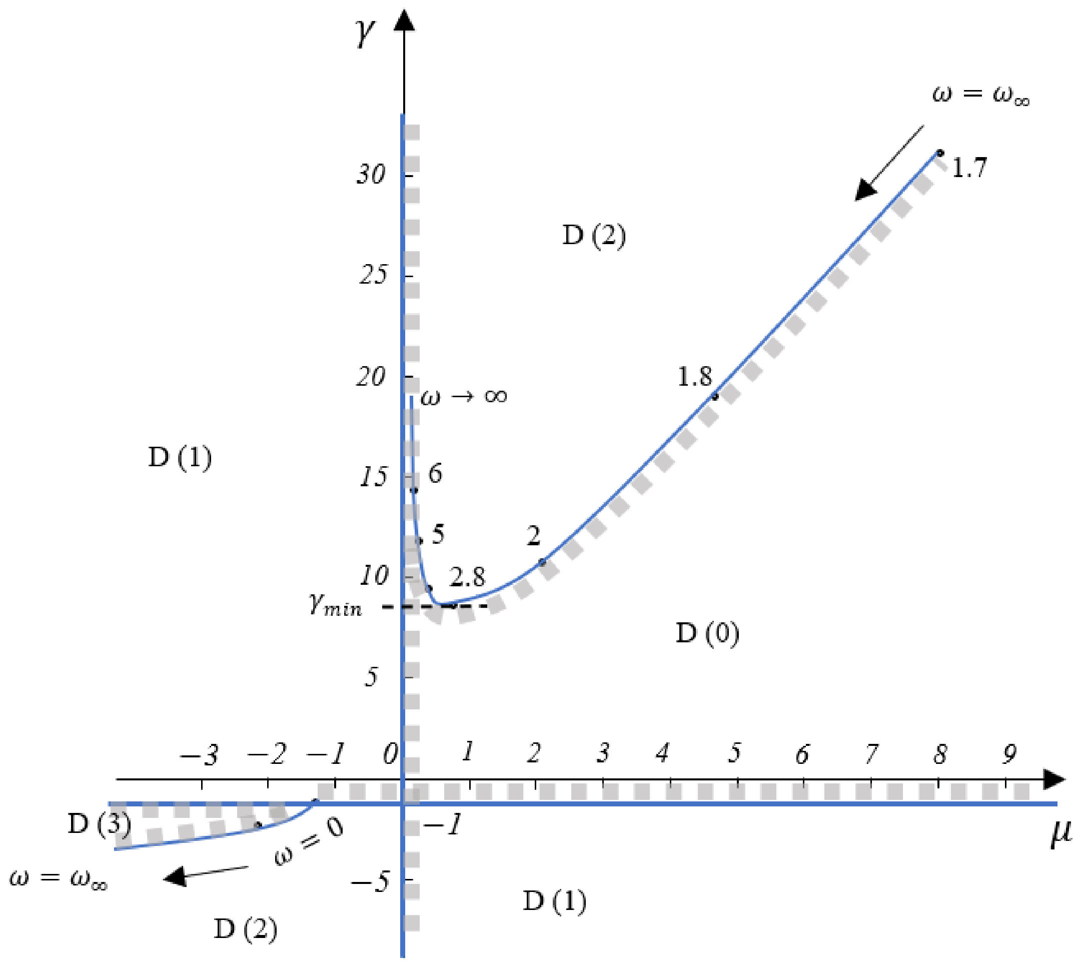


2.6 Сурет – $\omega = \omega_\infty$ жиіліктегі қисықтардың үзілуін көрсететін $\mu(\omega)$ және $\gamma(\omega)$ графикалары

D-бөліну аймақтары арнайы түзулер деп аталатын (μ, γ) жазықтығындағы түзулерге де байланысты. Арнайы сызықтар $\omega = 0$ және $\omega = +\infty$ екі шекаралық жиіліктер үшін сызылады. Сонда (1.11) теңдеудің a және a_0 коэффициенттері μ және γ параметрлеріне тікелей тәуелді және арнайы түзулердің теңдеулері мына жолмен алынады:

$$\begin{aligned} a_n &= \mu T_2 T_3 = 0, \qquad & a_0 &= \gamma + 1 = 0, \\ \mu &= 0 = Const, \qquad & \gamma &= -1 = Const. \end{aligned} \tag{2.34}$$

$\mu(\omega)$, $\gamma(\omega)$ қисықтарын және арнайы сызықтарды біріктіру арқылы D – бөліну $(\mu,\ \gamma)$ жазықтықта 2.7 суретте көрсетілгендей алынады. $\mu = T_1 = T$ уақыт тұрақтысы екенін және ол тек оң мәндерді қабылдай алатынын ескере отырып, тек орнықты D(0) аймағын қарастыру керек. D(0) орнықтылық аймағы ω_∞ -тен $\omega \to \infty$ -ке дейін жиіліктің көтерілуіне және $\gamma = -1$ арнайы сызығына сәйкес келетін D-бөліну қисығының сол жағында орналасқан. $K = \gamma$ өсімі тек оң мәндерді қабылдауы мүмкін болғандықтан, D(0) орнықты аймағының нақты шекарасы $K = \gamma = 0$ деп есептелуі керек.



2.7 Сурет – D-бөліну қисықтары мен арнайы сызықтар арасында бекітілген D(0) орнықтылық аймағы

D-бөліну қисығы ω жиілік 0-ден ∞-ке дейін өзгерген кезде штрихталады. Егер негізгі анықтауыш $\Delta > 0$ болса қисық сызықтың сол жағынан, ал негізгі анықтауыш $\Delta < 0$ болса қисықтың оң жағынан штрихтаймыз. Бұл жағдайда арнайы сызықтардың штрихталған жақтары мен D-бөліну қисығы бір-біріне бағытталған. Сонымен, негізгі анықтауыш $0 < \omega < \sqrt{\frac{1}{T_2 T_3}}$ үшін $\Delta < 0$, ал $\omega > \sqrt{\frac{1}{T_2 T_3}}$ үшін $\Delta > 0$. D – бөліну қисығы және арнайы сызықтар жазықтықты (μ және γ) төрт аймаққа бөледі - D(0), D(1), D(2) және D(3).

Орнықтылық аймағына үміткерлер D(0) және D(3) аймақтары болып табылады. Алайда бізді $T_1 > 0$ уақыт тұрақтысының физикалық мүмкін болатын оң мәндеріне сәйкес келетін D(0) орнықтылық аймағы ғана қызықтырады.

D(0) орнықтылық аймағында, егер күшейту коэффициенті $K < \gamma_{min}$ болса, жүйе $\mu = T_1$ уақыт тұрақтысының кез келген мәндері үшін орнықты болады. $K > \gamma_{min}$ үшін жүйе $\mu = T_1$ уақыт тұрақтысының өте аз немесе өте үлкен мәндері үшін ғана орнықты болады.

D(0) аймағының орнықты екенін дәлелдеу үшін, мысалы $K = 1$ және $T_1 = 2$ болған кездегі тұйықталған жүйенің сипаттауыш теңдеуін қарастырайық:

$$\begin{gathered} D(s) = (1 + 2s)(1 + 0.5s)(1 + 0.8s) + 1 = \\ = 0.8s^3 + 3s^2 + 3.3s + 1 + 1. \end{gathered} \quad (2.35)$$

Осыдан $a_0 = 0.8, a_1 = 3, a_2 = 3.3, a_3 = 2$. Онда жүйе орнықты болуы үшін барлық коэффициенттер нөлден үлкен болғанда

$$a_0 = 0.8 > 0, a_1 = 3 > 0, a_2 = 3.3 > 0, a_3 = 2 > 0,$$

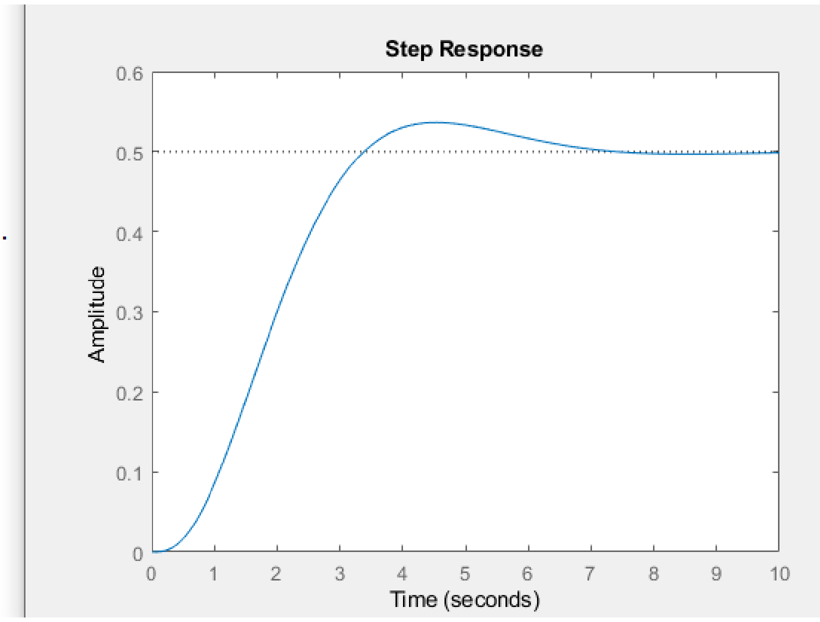
келесі жеткілікті шарт орындалуы тиіс

$$a_1 a_2 - a_0 a_3 = 3 \cdot 3.3 - 0.8 \cdot 2 = 8.3 > 0. \quad (2.36)$$

Орнықтылық шарты орындалатындықтан D(0) аймағы орнықты.

Енді осы тұжырымды Matlab программалау ортасында беріліс функцияны енгізіп, оның сипаттауыш теңдеуінің түбірлерін табу арқылы жүйенің орнықтылығын анықтаймын.

```
>> w=tf([1],[0.8 3 3.3 2])

w =

               1
  ---------------------------
  0.8 s^3 + 3 s^2 + 3.3 s + 2

Continuous-time transfer function.

>> pole(w)

ans =

  -2.5000 + 0.0000i
  -0.6250 + 0.7806i
  -0.6250 - 0.7806i

>> step(w)
>>
```



2.8 Сурет – Орнықты D(0) аймағындағы сипаттауыш теңдеудің түбірлері және өтпелі процестің графигі

Суреттен көрініп тұрғандай D(0) аймағында сипаттауыш теңдеудің барлық үш түбірінің нақты бөліктері теріс таңбалы және өтпелі процестің графигі орнықты. Бұл D(0) аймағының орнықты екенін дәлелдейді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу барысында айнымалы параметрлері бар жүйелердің орнықтылығын талдау мәселесі бойынша D-бөліну тәсілі ұсынылып, сынақтан өтті. Сондай-ақ жүйенің параметрлер кеңістігіндегі орнықтылық аймақтарын графикалық анықтау арқылы бір уақыттағы жүйенің айнымалы парамертлерінің әсері зерттелді. Бұл тарауда орындалған тапсырмалар мен олардың нәтижелері және қолданылған әдістер жинақталған.

Бірінші бөлімде осы зерттеудің мақсаттары талқыланды. Зерттеу әдістемесі интерактивті MATLAB процедураларына негізделетіні айтылды. Күтілетін үлес D-бөліну әдісінің айнымалы параметрлердің жүйенің орнықтылығына әсерін егжей-тегжейлі зерттей алатын талдау тәсілі екенін дәлілдеу болды.

Екінші бөлімде бір және екі бір мезгілде өзгеретін айнымалы параметрлері бар жүйелердің жағдайлары суреттелді. 2.2 тарауында талқыланған бір айнымалы уақыт тұрақтысы бар жүйенің D-бөліну қисығын сызып, орнықтылық аймақтарын анықтау үшін тұйықталмаған жүйенің тұйықталған жағдайдағы беріліс функциясын анықтап, сосын сипаттауыш теңдеуін жаздым. Сипаттауыш теңдеудегі s-тің орнына $j\omega$-ны ауыстырып қою арқылы айнымалы уақыт тұрақтысын нақты және жорамал бөліктерге ажыраттым. Жиілік мәндерін ауыстыра отырып D-бөліну қисығын графикалық түрде сызып, оны штрихтау ережесіне сүйене отырып көлеңкеледім. Сол арқылы ν комплекс жазықтығында жүйенің орнықтылық аймақтарын таба алдым. Ал 2.3 тарауда бірден екі параметрі айнымалы болған жағдайдағы жүйенің орнықтылығын анықтадым.

D-бөліну әдісін Гурвиц орнықтылық критерийімен дәлелдеу кезінде, оның кемшілігі айнымалы параметрдің шекті мәнін тікелей орната алмайды. Бұл жағдайда ол тек D-бөліну әдісінің нәтижелерін растау үшін пайдаланылды. Ал одан кейін екі есепте де MATLAB программалау ортасында орнықты аймақтардың сипаттауыш теңдеулерінің түбірлері табылып және өтпелі процесстің графигі анықталды. Алынған нәтижелер арқылы аймақтардың орнықты екенін көруге болады.

Бұл жоба айнымалы параметрлері бар сызықты басқару жүйесіне қолданылатын D-бөліну орнықтылықты талдау әдісін одан әрі жетілдіруге ықпал етті. Айнымалы параметрлердің өзара әрекеттесуі бір мезгілде бір және екі айнымалы параметрлері бар басқару жүйелерін талдауды есепке алатын басқару жүйелерінің орнықтылығы мәселесінің графикалық шешіміне жаңаша қарауға мүмкіндік берді. Жүйе орнықтылығын талдаудың ұсынылып отырған әдісі осы саладағы басқару теориясын одан әрі дамыту үшін маңызды болып табылады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Дядик В.Ф., Теория автоматического управления: учебное пособие/ В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.

2 Ю.И. Медведев, Курс лекций по теории автоматического управления. Часть 2: учебное пособие. – Томск: ун-т, 2006.–87с.

3 Карпов А.Г., Теория автоматического управления. Часть 1: Учебное пособие. − Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. − 212 с.

4 Yanev K.M., Application of the Method of D-Partitioning for Stability of Control Systems with Variable Parameters, Botswana Journal of Technology, Vol.16, Number 1, pp.51-58, 2007.

5 Neimark Y., D-partition and Robust Stability, Computational Mathematics and Modeling, 9(2), pp. 160-166, 2006.

6 Gryazina E. Polyak B., Stability Regions in the Parameter Space: D-Decomposition Revisited, Moscow, Russia, Automatica, 13–26, 2006.

7 Yanev K.M., Advanced D-Partitioning analysis and design of robust control systems, Botswana Journal of Technology, Vol.17, Number 2, pp. 42-48, 2017.

8 Бейсембаев. А.А. Сызықты автоматты реттеу жүйелері. – Алматы: Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2018. – 402 б.

9 Yanev, K.M., Anderson G., Application of the D-partitioning for Analysis and Design of a Robust Photovoltaic Solar Tracker System, International Journal of Energy Systems, Computers and Control, Volume 2, No. 1, ISSN: 0976-6782, pp. 43–54, 2011.

10 Бейсембаев А.А. Сызықты автоматты реттеу жүйелері. Бөлім 5В070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша күндізгібөлімнің студенттері үшін практикалық сабақтарды өткізуге және курстықжұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулары. Алматы: КазҰУ, 2015. –32 б.

11 Jakub O., Vojtech V., Modification of Neimark D-Partition Method for Desired Phase Margin, International Conference on Cybernetics and Informatics, VYŠNÁ BOCA, Slovak Republic, pp. 497-502, 2010.

12 Yanev K.M., Advanced D-Partitioning Stability Analysis in the 3-Dimensional Parameter Space, International Review of Automatic Control, ISSN: 1974- 6059, Vol. 6, N. 3, pp. 236-240, 2013.

13 Takaya K., Digital Control Systems, Electrical and Computer Engineering, University of Saskatchewan, 2008.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ

ПІКІРІ

диплом жұмысына
(жұмыс түрінің аталуы)

Жақан Жәмила
(білім алушының аты жөні)

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару»
(мамандықтың аталуы және шифрі)

MatLab қолданып D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеу тақырыбына орындалған

Дипломдық жұмыста MatLab қолданып үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеуі жасалынған.

Теориялық бөлімінде сызықты автоматты реттеу жүйелерінің орнықтылығына қатысты орнықтылық шарттары келтірілген. Ю. И. Неймарк ұсынған D-бөліну әдісі жазылған.

Есептеу бөлімінде D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің бір айнымалы параметрі (күшейту коэффициент немесе уақыт тұрақтысы) бойынша орнқытылық аймақтары құрастырылған. Осы есеп бойынша берілген сандармен D-бөліну әдісімен зерттеу өткізілген. Зерттеу нәтижелері MatLab ортасында модельдеу нәтижелерімен дәлелденген. Келесі есепте екі айнымалы параметрі бар үшінші ретті статикалы жүйенің (күшейту коэффициент және уақыт тұрақтысы) бойынша орнқытылық аймақтары құрастырылған. Бұл есепте MatLab ортасында модельдеу нәтижелерімен дәлелденген.

Өткізілген жұмыс бойынша жалпы қорытындылар жасалынған.

Дипломдық жұмысын орындау кезінде Жақан Жәмила өзін жақсы жағынаң көрсетті. Берілген тапсырмаларды уақытында орындап, тәртіпті, білікті студент екенің дәлелдеді. Жалпы өзінің теориялық және практикалық жағынаң дайындығын көрсетті. Жақсы инженерлік деңгейде жұмыс істей алатындығын дәлелдеді.

Диплом жұмысы барлық талаптарына сәйкес келеді. Диплом жұмысы 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша құрылған Мемлекеттік аттестаттау комиссиясында қорғауын ұсынамын.

Ғылыми жетекші
АжБ кафедрасының қауымдастырылған профессоры, т.ғ.к., доцент
(қызметі, ғыл. дәрежесі, атауы)

_______________ Бейсембаев А.А.
(қолы)
«10» ____05____ 2022 ж.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Жақан Жәмила
(білім алушының аты жөні)

диплом жұмысына
(жұмыс түрінің аталуы)

СЫН-ПІКІР

5В070200 – «Автоматтандыру және басқару»
(мамандықтың аталуы және шифрі)

MatLab қолданып D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеу тақырыбына орындалған

Выполнено:
а) графикалық бөлімі 15 бетте
б) түсініктеме жазбасы 36 бетте
жасалынған

ЖҰМЫС ТУРАЛЫ ЕСКЕРТУЛЕР

Дипломдық жұмыста MatLab қолданып үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеуі жасалынған.

Теориялық бөлімінде сызықты автоматты реттеу жүйелерінің орнықтылығына қатысты орнықтылық шарттары келтірілген. Ю. И. Неймарк ұсынған D-бөліну әдісі жазылған.

Есептеу бөлімінде D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің бір айнымалы параметрі (күшейту коэффициент немесе уақыт тұрақтысы) бойынша орнқытылық аймақтары құрастырылған. Осы есеп бойынша берілген сандармен D-бөліну әдісімен зерттеу өткізілген. Зерттеу нәтижелері MatLab ортасында модельдеу нәтижелерімен дәлелденген. Келесі есепте екі айнымалы параметрі бар үшінші ретті статикалы жүйенің (күшейту коэффициент және уақыт тұрақтысы) бойынша орнқытылық аймақтары құрастырылған. Бұл есепте MatLab ортасында модельдеу нәтижелерімен дәлелденген.

Өткізілген жұмыс бойынша жалпы қорытындылар жасалынған.

Дипломдық жұмысына келесі ескертулер бар:

- модельдеу кезінде тек бір критерийы бойынша орнықтылық криетрийы бойынша зерттеу өткізілген;
- MatLab Simulink ортасында зерттеу өткізілмеген.

Айтылған ескертулерге қарамай, диплом жұмысы жоғары деңгейде жасалып, практика жағынаң жақсы нәтижелер табылды.

Диплом жұмысы 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша барлық талаптарына сәйкес келеді. Жалпы 95%, А (өте жақсы) бағасына бағаланып, ал Жақан Жәмила 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша бакалавр лауазымына лайық деп есептеймін.

Сын-пікір беруші
Ғ. Даукеев атындағы АЭжБУ АжБ кафедрасының доценті, PhD докторы
(қызметі, ғыл. дәрежесі, атауы)

Бәзіл Г.
(қолы)

«10» мамыр 2022 ж.

Персоналды басқару жөніндегі бөлім
Отдел по управлению персоналом

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю
қызметі аты-жөні
«11» 05 2022 ж.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жақан Ж

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: MatLab қолданып D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеу

Научный руководитель: Ахамбай Бейсембаев

Коэффициент Подобия 1: 3.1

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 7

Знаки из здругих алфавитов: 28

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☑ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

10.05.2022г.

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жақан Ж

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: MatLab қолданып D-бөліну әдісімен үшінші ретті статикалы жүйенің орнықтылығын зерттеу

Научный руководитель: Ахамбай Бейсембаев

Коэффициент Подобия 1: 3.1

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 7

Знаки из здругих алфавитов: 28

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☐ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата 11.05.2022ж.

Заведующий кафедрой