



Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті

ӘОЖ 629.3.01

Қолжазба құқығында

ҚАБДОЛДИНА ӘСЕМ ОРАЛХАНҚЫЗЫ

**Электродинамикалық вибростендтердің сипаттамасын жақсарту
және автоматтандырылған адаптивті жүйені тұрақтандыруды
зерттеу және жобалау**

6D071600- «Аспап жасау»

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілері:
Техника ғылымдарының кандидаты
Ожикенов Қ.Ә.
Техника ғылымдарының докторы,
профессор Михайлов П.Г.

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2018 жыл

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІ СІЛТЕМЕЛЕР	4
АНЫҚТАМАЛАР	5
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	6
КІРІСПЕ	7
1 ВИБРОСТЕНДТІҢ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ МЕН БОЛАШАҚТА ДАМУЫ	12
1.1 Қазіргі таңдағы бар электродинамикалық вибростендтерге талдау	12
1.2 Қазіргі таңдағы электродинамикалық вибростендтердің БЖ талдау	17
1.3 Электродинамикалық вибростенді APC-БЖ. Сынауларды АБЖ	22
1.4 Құрылғының динамикалық сипаттамасын анықтау үшін қазіргі таңда бар құралдары мен әдістерінің дамуының болжамы	25
1.5 1-ші бөлімге қорытынды	26
2 БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІ МЕН ҚҰРЫЛЫМЫН МОДЕЛДЕУДІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ БӨЛІМІ	28
2.1 Алмастырудың эквиваленті схемасы және ЭВ динамика теңдеуі	28
2.2 Электродинамикалық вибростенд моделін параметрлік идентификациялау	31
2.2.1 Модельдің түрі мен идентификация әдісін тандау	31
2.2.2 Вибростендтің математикалық моделін идентификациялау үшін System Identification Toolbox графикалық интерфейсін пайдалану	38
2.3 АКОР процедураларын пайдаланып басқару жүйелерін синтездеу	45
2.3.1 Басқару жүйелерін жобалаудың есептерінің қойылымы	45
2.3.2 Оңтайлы реттегіштерді аналитикалық құрылымдау	46
2.3.3 Вибростендті автоматты басқару жүйесі үшін АКОР пайдалану	52
2.4 APC- басқаруы бар жүйенің SCADA-жобасын жасаудың теориялық бөлімі	53
2.4.1 Объектті модель	56
2.5 2-ші бөлімге қорытынды	72
3 БЕЛСЕНДІ ДІРЛДІ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ	74
3.1 Смарт материалдар	75
3.1.1 Микромеханикалық қондырғыларды өндіру технологиясында жартылай өткізгіш материалдарды жергілікті жою процестерін қалыптастыру	76
3.2 Электро және магниттіреологиялық сұйықтар	78
3.3 Материалдарды, бөлшектерді аспап жасау құрылғысы арқылы ресурстық сынау, әдістерін және жеделдетуге арналған құралдарды талдау	81
3.4 Пьезо түрлендіргіштері бар интеллектуальды құрылғыларды СЭ моделдеу	90
3.4 3-ші бөлімге қорытынды	92
4 МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДІ ҚҰРУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ	94
4.1 Объектінің математикалық моделін жасау	94
4.2 Жүйені экспериментальды зерттеу және оның сипаттамасына баға беру	99
4.2.1 TIRA вибростендінің параметрлік идентификациясы	99

4.2.2 Дірілді сынақтарды БЖ синтездеу және талдау PID контроллері синтезі	100
4.2.3 ACOR оңтайлы синтезі	104
4.3 БЖ математикалық моделін құру	108
4.4 Техникалық және бағдарламалық қамтамасыз етуді таңдау	122
4.5 SCADA – ДБАЖ жобалау	128
4.6 4-ші бөлім бойынша қорытынды	136
ҚОРЫТЫНДЫ	137
ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	140
ҚОСЫМШАЛАР	145

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі нормативті құжаттарға сілтемелер берілген: ҚР МЖМБС 5.04.034 – 2011 «Қазақстан Республикасының Мемлекеттік жалпыға міндетті білім беру стандарты. Жоғары оқу орынан кейінгі білім. Докторантура негізгі ережелер («23» тамыз 2012ж. № 1080 өзгерту); Ғылыми дәреже беру ережесі 31 наурыз 2011. № 127; Мемлекетаралық стандарттар: МЕСТ 7.32-2001 (2006ж. өзгерту). Ғылыми-зерттеу есебі. Құрылымы және жобалау ережелері; МЕСТ 7.1-2003. Библиографиялық жазбалар. Библиографиялық сипаттамасы. Жалпы талаптар және жобалау ережелері. ҚР білім және ғылым министрімен бекітілген. «17» маусым 2011ж. № 261. Астана, 2011.

АНЫҚТАМАЛАР

Диссертацияда келесі терминдер тиісті анықтамалармен пайдаланылады:
Құрамына электродинамикалық вибростендтер кіретін дірілді қондырғыны электродинамикалық деп атайды.

Гидравликалық вибростенд сұйықтық қысымының берілген заңға сәйкес өзгерген кездегі динамикалық қозғаушы күшті іске асырады.

Механикалық вибростенд айналмалы қозғалыстың механикалық энергиясын түрлендіру кезінде механикалық әсер етуді жүзеге асырады.

Діріл (вибрация) – скалярлық шамамен сипатталатын нүктенің немесе механикалық жүйенің қозғалысынан туындайтын тербеліс.

Діріл сынағы – сыртқы факторларға төзімділік үшін сынақ циклындағы алғашқы қадам, оның нәтижелері бойынша одан әрі сынақ әдістері мен режимдері таңдалады.

Математикалық модельдеу – кез келген құбылыстарды немесе күрделі физикалық процестерді, аппараттарды олардың математикалық модельдерін құру арқылы зерттеу тәсілі.

Компьютерлік модель – бұл модельденетін объектінің ішкі құрамы мен байланысын сапалы және сандық сипаттайтын, кейде оның сыртқы сипаттамаларын да беретін компьютер ресурстары арқылы құрылған виртуальды бейне.

MATLAB – сандық есептеулер мен математикалық модельдеу үшін математикалық орта.

SCADA HMI DataRate - жоғарғы деңгейдегі автоматтандыру жүйесін құру үшін бағдарламалық құрал.

SCADA жүйесін жобалау – ТП АБЖ жұмыс істеуіне арналған бағдарламалық жасақтаманы құрудан тұратын толық кешен.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

АЖС – амплитудты-жиілік сипаттамасы
БЖ – басқару жүйелері
СӨФ – сыртқы әсер етуші факторлар
ДС – дірілді сынақтар
ВӨТ – виброөлшемді түрлендіргіш
ЖЖ – жоғарғы жиілік
АӨжБЖ – ақпараттық-өлшеуішті және басқару жүйелері
ТЖ – төменгі жиілік
ЗО – зерттеу объектісі
ОЖ – орта жиілік
АСОР – adaptive construction of optimal regulatory
САЖС – сызықты амлитудалы жиіліктік сипаттама
ФЖС – фазажиілік сипаттама
ЭҚ – электрондық құралдар
АБЖ – автоматты басқару жүйелері
ТП АБЖ – технологиялық процестерді автоматты басқару жүйелері
ОРАҚ – оңтайлы реттегішті аналитикалық құрымдастыру
СЭ – сезімтал элемент
APC – Advanced Process Control
PID – proportional–integral–derivative controller
LQG – linear–quadratic–Gaussian controller
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition
OPC – Open Platform Communications
АЖО – автоматтандырылған жұмыс орнын
ДБАЖ – дірілді басқарудың автоматтанырылған жүйесі
ЭВ – электродинамикалық вибраторд

КІРІСПЕ

Қарастырылып отырған ғылыми мәселенің заманауи жағдайын бағалау. Қазіргі таңда қатаң эксплуатациялау шарттарында жұмыс істейтін электрондық құрылғылардың (ЭҚ) беріктік параметрлеріне жоғарғы талаптар қойылады. ЭҚ-ны жұмыстан шығаратын маңызды дестабилизациялау факторларына сыртқы діріл әсерін айта аламыз. (30% дейінгі жұмыстан шығу дірілдің әсерінен болады). Осыған байланысты ЭҚ-ды жасау және шығару процесстерінде арнайы әдістер мен сынақ құралдары көмегімен діріл әсеріне зертханалық-стендтік сынақ жүргізу қарастырылған [1], [2].

Стендтік сынақтар облысының айталықтай жетістіктеріне қарамастан, шынайы эксплуатациялау шарттарындағы ЭҚ-ның жұмыс істеу режимі сынақ режимінен айталықтай өзгеше болады, ол өз кезегінде діріл әсерінен болған жұмыстан шығудың елу пайызға дейінгі себебі болып табылады. Дірілге сынау нәтижелерінің анықтығы мен дәлдігін арттыруға бағытталған шешімді негізгі ғылыми-техникалық мәселелердің бірі діріл әсерінің дәлдік сипаттамасын бағалау мен нормалау принциптерін қалыптастыру мен кездейсоқ діріл процестерінің статистикалық сипаттамасын бағалау дәлдігінің көрсеткіштеріне бағытталған [3].

Көптеген әуе және ракета-ғарыш техникасының бөлшектерінде орналастырылған сенсорлардың істен шығуының едәуір мөлшері интенсивті механикалық дірілдің әсерінен болады. Сонымен бірге діріл әсер еткен кездегі сенімділік пен төзімділік мәселелері мұндай аппаратураны құрастыруда бұрыннан шешуші мәнге ие болған. Сенсорларға әсер ету реакциясы әртүрлі конструктивті элементтер мен түйіндерді қамтиды. Пайдалану кезінде сенсорлар әртүрлі сипаттағы үйлесімдіге жақын периодты, екпінді немесе кездейсоқ түріндегі діріл әсеріне ұшырайды.

Сенсорлардың сенімділігін анықтайтын істен шығуындағы себептердің екі категориясы бар [4]:

- сенсордың элементтерінің тозып бұлінуі;
- ақаусыз жұмыс істеуін сипаттайтын негізгі параметрлердің шектен тыс ауытқуы.

Осылайша, дірілге сынау кезінде міндетті түрдегі қабылдау-тапсыру сынағына жарамды және объектіні пайдалану кезінде діріл әсерінің типтік жағдайына сәйкес сынау әдістерін құрастыру мен сынау объектісінің қызмет ету мерзімін бағалау – пайдалану талаптары мен жасау және құрастыру кезінде қалыптасқан талаптардан шығатын 2 негізгі мәселесі шешіледі.

Тақырыптың дамуына негіз және мәліметтер. Заманауи әлемде кез-келген кәсіпорынның жұмысындағы маңызды рөл өнімнің сапасы. Шығарылған өнімнің сапасын бақылау және мониторинг жасау үшін оған сынақтар жүргізу қажет. Аспап жасау кәсіпорындарында сапаны бақылаудың негізгі ерекшеліктерінің бірі - өнімдерді сынау [5]. Стендтік сынақтардың басқа сынақ

түрлеріне қарағанда артықшылығы – басқада бекітілген параметрлері кезінде жүктеменің белгілі бір түрі мен өлшеміне өнімнің үлгісінің реакциясын бағалау мүмкіндігі, ол өз кезегінде ішкі құрылымдық кемшіліктерді анықтайды. Бұған қоса, көп жағдайда стендтік сынақтар қаржылық тұрғыдан қымбат емес. Осы айтылғандарды негізге ала отырып, стендтік сынақтарды құрылымдық жетілдіру және дамыту мәселелеріде өте маңызды.

Осы ғылыми- зерттеу жұмысын жүргізу қажеттілігіне негіздеме. Қазақстандағы көптеген әр түрлі кәсіпорындарында көп мөлшерде вибростендтер пайдаланылады, олар бақылау жүйесінің моральды және физикалық тұрғыда тозуына байланысты, қажетті мөлшерде пайдалану сипаттамасын қанағаттандыра алмайды, сондықтан олардың модернизациялау мәселесін шешу, осы ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізуге негіздеме болып табылады. Жұмыста дірілді сынақтар бойынша әзірленген бағдарламалық-аппараттық кешен, оны тек жаңадан жасалып жатқан ғана емес, сонымен қатар қолданыстағы электродинамикалық вибростендтерге жаңарту мақсатымен орнатуға мүмкіндік береді[6].

Жоспарланған жұмыстың ғылыми-техникалық деңгейі туралы деректер. Жоспарланған жұмыстың ғылыми техникалық деңгейі (ҒТД) экономикалық және ғылыми-техникалық сипаттамалар деңгейіне жатады, бұл бағаланатын жүйенің функциональдық міндеттермен сәйкестігін көрсетеді [7]. ҒТД көрсеткіштері келесі деңгейлердің бағалауының кешенді шарасы: жүйенің экономикалық әлеуеті; автоматтандырылған басқару; еңбек ресурстарын пайдалану; сынақ процессінің сапасы. Ғылыми - техникалық деңгейді бағалау маңызды көрсеткіш, оның көмегімен ұйымдастырылған сынау процесстерінің сапасын, сондай-ақ әртүрлі аппараттық және бағдарламалық шешімдерді салыстыру мүмкіндіктері бар.

Жоспарланған жұмыстың ғылыми-техникалық деңгейі жоғары, өйткені аспап жасаудағы дірілге сынақтар қолданыстағы құрылғыларды жаңғырту мен жасау бойынша ғылыми техникалық жұмыстар және тәжірбиелік құрылымдық жұмыстар жүргізу барысында міндетті қадам болып табылады. Сонымен қатар, аспап жасау мен машина жасауда да маңызды - материалдар мен аспаптардың динамикалық, механикалық жүктемелерге сынақтардың ұзақтығын қысқарту мәселесін шешудегі рөлі зор.

Диссертацияның метрологиялық қамтамасыздандырылуы туралы деректер. Диссертацияда сәйкес өлшеуді басқару жүйелерін кеңінен қолдану, қол жетімді техникалық құралдарды толық бағалауға және алынған нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін оны дұрыс басқаруға мүмкіндік береді. Бұл басқару жүйесі өнім сапасын жақсартуға бағытталған мақсаттарға қол жеткізудің маңызды құралы болып табылады [8]. Диссертацияның метрологиялық қамтамасыздандырылуының негізгі міндеті техникалық құралдарды метрологиялық қамтамасыз ету және оларды пайдалануды үздіксіз бақылау. Бағдарламалық қамтамасыздандыруда көрсетілген процедураларды іске асыру кезінде және сынау әдістемесінде, әдетте, құрылғының дәл сипаттамасын анықтау үшін тікелей өлшеу әдістері (жиілікті, амплитуданы және

т.б. өлшеу) қолданылады. Шын мәнінде, құрылғының сынақ режимі мен нақты жұмыс режимі сәйкестігі тексеріледі.

Тақырыптың өзектілігі мен жаңалығы. Діріл және соққылар машиналардың, механизмдердің, құрылғылардың және аспаптардың жұмыс істеуінің ажырамас бөлігі болып табылады. Кейбір сирек жағдайларда болмаса, ешкімге құпия емес, бұл факторлардың әсері энтропияның өсуіне, материалдардың қартаюуына әкеледі. Осы феноменнің мәнін жақсы түсіну үшін дірілге үлкен көлемде зерттеулер жүргізілуде. Көптеген компаниялар мен ғылыми- зерттеу орталықтары динамикалық әсердің әсерін талдау, бағалау, жіктеу әдістерін ұсынады. Осы және басқа зиянды фактордың өнімге қалай әсер ететінін білудің жақсы тәсілі өнімнің нақты қызмет жағдайында бүкіл қызмет көрсету мерзімін басқару болып табылады. Бірақ бұл шешім өте маңызды және бірегей артықшылығынан басқа, экономикалық, уақыттық және функционалдық сипатта көптеген кемшіліктерге ие. Нәтижесінде кешенді әрекет компоненттерге бөлінеді, белгілі бір жағдайларға әсер ету дәрежесін анықтайды және таңдалған жерлерде мақсатты зерттеулер жүргізіледі. Жасалған әдістер берілген жағдайлардағы дірілдің әсерін олардың модельдеуі үшін арнайы жасалған жабдыққа толығымен зерттеуге мүмкіндік береді [9]. Әртүрлі жұмыс істеу жағдайында арнайы жасалған жабдықтар келесідей діріл әсеріне зерттеледі:

- діріл шуы;
- материалдардың тозуы;
- резонанс жағдайында қирауы.

Көрсетілген бағыттардың ерекшелену себебі әртүрлі машиналардың, механизмдердің, құрылғылардың және аспаптардың өздеріне тән сипаттамаларының болуы, өз кезегінде әр жағдайға белгілі бір тәсілді қолдануды қажет етеді.

Бұл жұмыста үшінші резонанс жағдайында қирау қарастырылады. Өнімде сыртқы факторлардан резонанс туындаған жағдайда, ал материал мен қосылыстарда кернеу бір шамаға өскенде, өнімнің жұмыс істеу ресурсы төмендейтіні бәріне белгілі. Көптеген өнімдер үшін оның меншікті жиілігін дәл анықтау өте маңызды мәселе болып табылады. Құрылымдық элементтер мен бұйымдардың меншікті жиілігін анықтау үшін көптеген сандық әдістер мен жанама аналитикалық әдістер бар. Бірақ объектінің күрделілігі мен оның барлық ерекшелігін ескеру мүмкіндіктері болмағандықтан дәлдік (кей жағдайда адекваттылық) төмендейді. Осындай жағдайда, әрине экономикалық тұрғыдан, өнімнің меншікті резонансты жиілігін экспериментальды түрде анықтаған жөн. Өлшемдері дұрыс болған жағдайдағы экспериментальды анықталған деректер өнімнің сипаттамасы бар манипуляциялық жолмен алынған деректерге қарағанда шынайы болады. Әрі қарай осы деректермен өнімнің меншікті резонанс жиілігін өзгерту мақсатында құрылымдық жөндеулер немесе эксплуатациялаудың техникалық шарттарын өзгертуге болады [9].

Сондықтан, электродинамикалық дірілдеу стендінің (ЭДС) сипаттамаларын жақсарту жалпы мәселесінде, әдістер мен өлшеу дәлдігі құралдарын жетілдіру, сынақ режимдерінің жұмыс режимдерімен сәйкестігі және ЭДС сынақтарының нәтижелерінің ақпараттылығы - бұл өзекті ғылыми және тәжірибелік мәселе.

Тақырыптың **жаңалығы** келесідей:

- Оңтайлы реттегіштерді аналитикалық құрылымдау әдісімен резонансты күйден шығаруды баптап, ЭДС сынақ режимдерін жұмыс режиміне сәйкестендіру;

- ЭДС басқару жүйесінің математикалық моделінің компьютерлік модельдеу арқылы, бағынышты басқару әдісімен тұрақтандыру ұсынылады, ол ток параметрінің мәнін реттеуді шектеуді жүзеге асыру арқылы, әр түрлі жиілікте өлшеу ақпаратының дәлдігін артырады және сынау уақытын көбейтеді;

- Барлық басқару жүйесін модельдеу мақсатында TIRA TV 5200 ЭДС автоматты адаптивті басқару жүйесінің математикалық моделі жобаланды. Нәтижесінде оңтайлы басқару әдісін қолдану мен контурлық басқару әдісін қолданудың салыстырмалы артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды;

- Технологиялық параметрлерді визуалды көрсететін; жүйенің енгізу әсерін бақылайтын, бақылау объектісінен деректерді жинайтын және сақтайтын; жүйеде төтенше жағдайларды алдын-алатын және хабарлайтын; жүйенің қондырғысын өзгертетін SCADA- жобаланды. Жасалған SCADA жүйе екі панельден және бейне кадрлар өрісінен тұрады.

Жұмыстың мақсаты: заманауи компьютерлік технологияларды пайдаланып және модельдік болжамды басқару әдісіне негізделген ЭДС эксплуатациялық сипаттамаларын жоғарлату және дірілді сынақ үшін виртуалды зертханалық базасын құру және ЭДС тұрақтандыру үшін автоматтандырылған адаптивті жүйені жобалау.

Осы мақсаттарға жету үшін келесі **зерттеу міндеттері** қойылды:

- дірілді стендтер мен діріл сынақтарды басқару жүйелерінің қазіргі таңдағы жай-күйі мен болашақ дамуын зерттеу;
- қолданыстағы дірілді стендтер мен басқару жүйелерінің негізгі техникалық сипаттамалары мен функционалдығын талдау;
- дірілді стендтердің басқару жүйесінің негізгі элементтері мен блоктарына бірнеше математикалық модельдер жасау;
- таңдалған критерийлер бойынша басқару жүйесін оңтайландыру;
- электродинамикалық дірілді стендтердің сипаттамаларын жоғарлатуға және автоматтандырылған адаптивті тұрақтандыру жүйесіне эксперименттік зерттеуді жүргізу.

Зерттеу нысаны: автоматтандырылған зертханалық стендтік дірілге сынау жабдықтарына арналған эксплуатациялаудың техникалық шарттарын арттыруға бағытталған технология және адаптивті басқарудың виртуальды зертханасы.

Зерттеу мәні: автоматтандырылған зертханалық стендтік дірілге сынау жабдықтарына арналған эксплуатациялаудың техникалық шарттарын арттыруға бағытталған ғылыми-әдістемелік тәсілдер.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарының (ҒЗЖ) орындалуы: дірілді стендтер мен дірілді сынақтарды басқару жүйелерінің қазіргі таңдағы жай-күйі мен болашақ дамуын зерттеу арқылы және қолданыстағы дірілді стендтер мен басқару жүйелерінің негізгі техникалық сипаттамалары мен функционалдығын талдау арқылы модельдік болжамды басқару әдісіне негізделген ЭДС эксплуатациялық сипаттамаларын жоғарлату шарттарын анықтау. Дірілді стендтердің басқару жүйесінің негізгі элементтері мен блоктарына бірнеше математикалық модельдер жасау арқылы және таңдалған критерийлер бойынша басқару жүйесін оңтайландыру көмегімен дірілді сынақ үшін виртуалды зертханалық базасын құру, ЭДС тұрақтандыру үшін автоматтандырылған адаптивті жүйені жобалау. Құрылған виртуалды зертханалық базада ЭДС сипаттамаларын жоғарлатуға және автоматтандырылған адаптивті тұрақтандыру жүйесіне эксперименттік зерттеулер жүргізу.

Әдістемелік база:

Жұмыста қойылған міндеттерді шешу үшін келесі **әдістер** қолданылды:

- бақылау объектісін талдау әдісі;
- математикалық модельдеу әдісі;
- автоматты басқарудың заманауи теориясының әдісі;
- SCADA-жобалау әдісі.

Қорғауға шығарылатын ережелері.

1. Әдебиеттік шолу негізінде электродинамикалық вибростендтің негізгі көрсеткіштерін жоғарлату шарттарын анықтау.

2. Күрделі техникалық жүйелердің зертханалық - стендтік дірілдеуін дәл талдау үшін сызықтық динамикалық жүйенің математикалық моделін жасау.

3. Модельді болжамды басқару әдістерін қолдана отырып, вибростендтің бақылау жүйелерінің синтезін жасау.

4. Озық компьютерлік бақылау технологиясын пайдалана отырып, жүйені бағдарламалық және техникалық қамтамасыз етуді жүзеге асыру.

5. Алынған нәтижелерді пайдаланып, вибростендтің жұмыс істеу ұзақтылығын арттыру мақсатында, эксперимент ұйымдастыру және жүргізу.

1- БӨЛІМ. ВИБРОСТЕНДТІҢ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ МЕН БОЛАШАҚТА ДАМУЫ

1.1 Қазіргі таңдағы бар электродинамикалық вибростендтерге талдау

Вибростенд дірілдік қондырғының атқарушы мүшесі және талап етілген дірілді объектіге жіберу мен қалпына келтіруді қамтамасыз етеді. Вибростендтің түрі мен қасиеті қондырғының негізгі – энергетикалық (мәжбүрлеуші күш, жүк көтергіштік, ауысу амплитудасы, жылдамдық немесе жылдамдату, жиілік диапазоны), сол сияқты метрологиялық (рұқсат беру, үйлесімді бұрмалау, көлденең бағыттағы тербеліс және т.б) сипаттамаларын анықтайды. Конструкциясы мен әрекет ету принципі жағынан вибростендтерді электродинамикалық, гидравликалық, механикалық, электромагниттік, пьезоэлектрлік, магнитострикциялық, резонанстық және басқалар деп бөледі. Дірілді беріктікке және дірілді тұрақтылыққа сынау кезінде мына түрлерін жиі қолданады [10]:

- электродинамикалық;
- гидравликалық;
- механикалық вибростендтер.

Бүгінгі күнде зертхана жағдайында дірілді жаңғырту кезінде басқа принципен жұмыс істейтін вибраторлармен салыстырғанда қоздырушы күшті тудыратын мынадай техникалық сипаттамалары бар вибраторлар қолданылады: дірілді қалыптастырудағы кең динамикалық және жиіліктік диапазондар, басқарудың икемділігі, қарапайым баптау мен тағы басқалар.

Электродинамикалық вибростенд тұрақты магниттік өріс пен вибростендтің атқарушы құрылғысы қызметін атқарушы жылжымалы катушкада айнымалы токтың өзара әрекетінің есебінен динамикалық мәжбүрлеуші күш жасайды. Сыналатын объектінің қозғалысын беру үшін катушка оған үстел арқылы жалғанады. 1-ші және 2-ші суреттерде дірілді сынау құрылғыларының әлемдік жетекші өндірушілерінің шығарған заманауи вибростендтері көрсетілген.



1 сурет – TIRA компаниясының вибростенді (Германия)



2 сурет – Vibrotron компаниясының вибростенді (Ресей)

Құрамына электромагниттік вибростендтер кіретін дірілді қондырғыны электродинамикалық деп атайды. Ол генератор мен басқару жүйесін, қуат күшейткіш, катушканың қоректендіру көзі үстеме магниттеу, өлшеу құралдары мен қондырғының жұмысын қамтамасыз ететін көмекші құралдарды қамтиды. Қондырғының құрамына сырғанаудың көлденең үстелі кіруі мүмкін [11].

Электродинамикалық вибростендтерге тән ерекшеліктер мыналар болып табылады [12]:

- кез-келген түрдегі дірілдің қозу мүмкіндігі: үйлесімділік (белгіленген жиілікте және жиіліктің тербелуімен), кездейсоқ (кеңжолақты және таржолақты) және басқалар;

- басқарудың қарапайымдылығы мен қолайлылығы (қолмен және автоматты режимде);

- кең жиілік диапазоны: 0,5-тен 15000 Гц (әдетте 5-тен 5000 Гц-ке дейін). Әдетте номинальды мәжбүрлеуші күш аз болса, жиілік диапазонының жоғарғы шекарасы жоғары болады;

- қалпына келтірілген ауысулардың үлкен мәні: ± 25 мм-ге дейін (әдетте $\pm 12,5$ мм-ге дейін) және үдеткіш: 1500 м/с^2 (әдетте 1000 м/с^2 -қа дейін);

-мәжбүрлеуші күштің үлкен мәндері: 400кН-ге дейін (әдетте 200 кН-ге дейін);

-мүмкін болатын салыстырмалы жүктеме: 4000 кг-ға дейін (әдетте 1000 кг-ға дейін);

-үйлесімді бұрмалаудың аз деңгейі: 5%-ға жуық (вибростенд пен жүктеменің резонансы салдарынан бұрмалану өсетін жиіліктің жеке облыстарын шығарып тастағанда);

-вибростенд үстелінде дірілдің бірдей таралмауы мен көлденең тербелістің қолайлы деңгейі: 10%-ға жуық.

Электромагниттік вибростендтің кемшілігі үстел аймағында магниттік шашырау өрісінің болуы, бұл кезде өріс компенсациясында құрылғының дірілді қондырғысының құрамында бар болғанда оның мәнін 0,001 Т-ға дейін азайтуға болады.

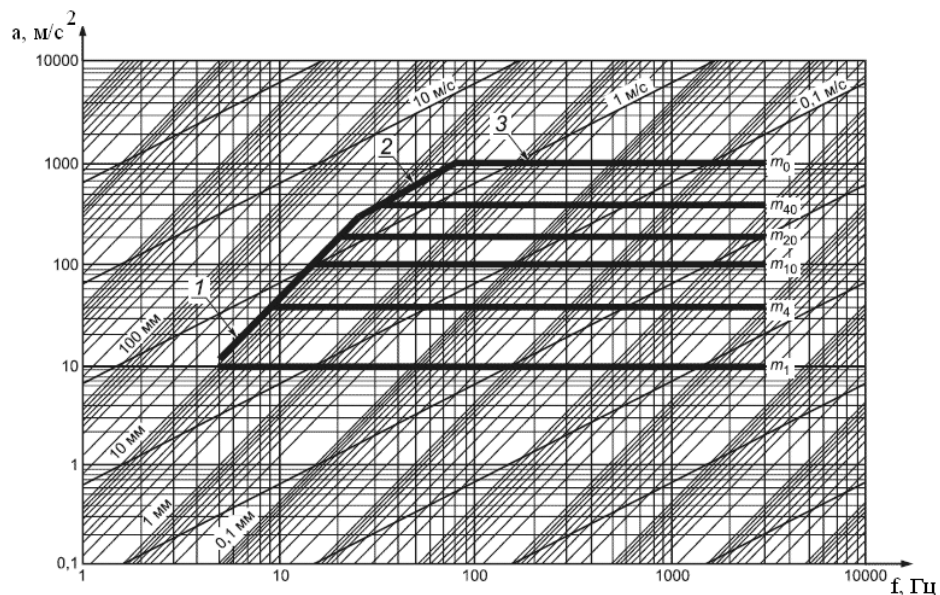
Номинальды мәжбүрлеуші күшті жиіліктің барлық номинальды диапазонында қамтамасыз етуге болмайды. Төменгі жиіліктерде ол үстелдің максимальды жүрісімен (ауысумен), ал орташа жиілікте – жылдамдықтың максимальды мәнімен, жоғарғы жиіліктерде – вибростендтің жылжымалы жүйесінің резонансымен шектелген. Үдеудің жеткен мәні жүктеменің салмағына байланысты. ISO 5344 алты сынау жүктемесін көрсетеді: m_0 , m_1 , m_4 , m_{10} , m_{20} , m_{40} , мұндағы бірінші жүктеме нөлге тең (вибростендтің жүктемесіз үстелі), ал қалғандары сәйкесінше 10, 40, 400*, 200 және 400 м/с² үстелдің үдеткішіне жететін салмаққа ие болады.

3 суретте әртүрлі жүктеме кезіндегі жиіліктегі үдеудің типтік қисық тәуелділігі (жылдамдық, ауысу) келтірілген.

Сенімді дірілдік сынау жүргізу үшін кез-келген сынау стендінің құрамына мыналар кіреді:

- салқындату жүйесі мен қуатты күшейткіші бар вибростенд;
- сыналатын бұйым;
- діріл сенсоры;
- вибростендті басқару жүйесі.

Дірілді беріктікке сынау басқаларынан вибростенд пен басқару жүйесі арасында кері байланыстың бар екендігімен ерекшеленеді. Контроллер қуат күшейткішіне сигнал жібереді, сол уақытта сенсормен бақылау каналы бойынша дірілді өлшейді.



1 – ауысу шекарасы; 2 – жылдамдық шекарасы; 3 – максимальды үдеу
3 сурет – электродинамикалық вибростендтің типтік сипаттамасы

4 суреттен вибростендтің құрамын көруге болады.

Дірілді өлшегіш аспаптар келесі түрге бөлінеді:

■ өлшеу мен жазуға арналған электрлік сигналдарда механикалық тербелістерді түрлендіру принципі бойынша:

- оптикалық – лазерлік интерферометрлер;
- индукциялық – ауысу сенсоры;
- пьезоэлектрлік сенсорлар – заманауи акселерометрлер;
- омдық аспаптар – тензорезисторлар;
- трансформаторлық;
- сыйымдылықтар мен басқалар.

■ өлшенген параметрлер бойынша:

- ауысу сенсорлары;
- жылдамдық сенсорлары;
- үдеу сенсорлары акселерометрлер.

■ дірілдің өлшенген бағыттарының саны бойынша:

- бір компонентті;
- екі компонентті;
- үш компонентті.



4 сурет - вибростенд құрамы

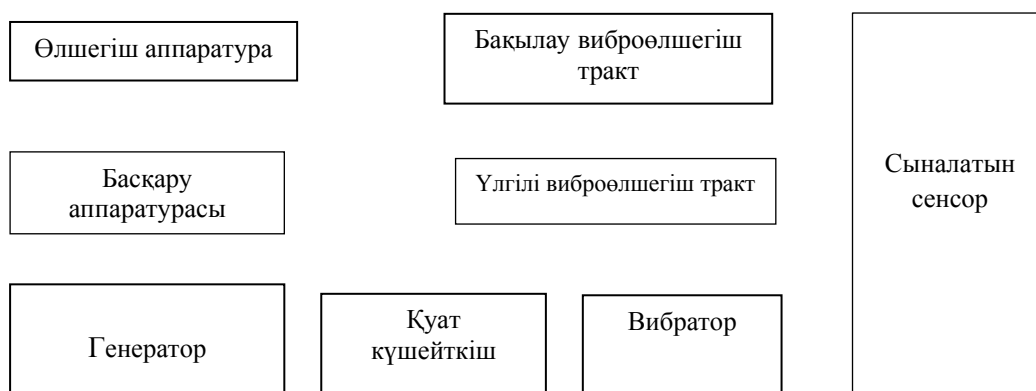
Дірілдік сынауды пайдаланудың кеңеюі дірілді сынау стендтеріне деген жоғары талап қоюды көрсетеді. Дірілді сынауды басқарудың негізгі мәселелерінің бірі қайта жүктеме уақыты бойынша еркін үйлесімді амплитуданы қалпына келтірудің минимальды қателігін қамтамасыз ету. Бұл талап етілген беріктік қорына аз рұқсат берудің артуының жеңілдетілген конструкциясы үшін маңызды. Мұндай конструкцияларды жасау салмақты азайтуға, мысалы, ғарыш аппаратына қойылатын талаптың өсуіне байланысты өзектілігі артады. Мұндай конструкциялар айқын көрінетін резонансты қасиеттерге ие және оларда артық тербеліс амплитудасының процесінде дірілдік жүктеменің алдын ала болжанбаған жағдайда берілген деңгейден артуы элементтің немесе конструкцияның бүлінуіне алып келеді. Сондықтан қазіргі кезде дірілді сынауды басқару жүйелеріне алғашында әрбір үлгі үшін дірілді сынаудың ең жақсы жағдайларына қарай бапталған басқару стратегиясының жиыны беріледі [13].

Вибростенд құрылғыларының (аспаптарының) келесі екеуі міндетті: вибратор мен қуат күшейткіші болып табылады. Вибратордың жұмысшы үстелінен соңғы сигналды басқаруды қалыптастыратын күшейткіштен тұратын жиынтықты көрсетеді. Вибратор мен қуат күшейткіші бір өндірушіден жұбымен жеткізіледі және толықтай сәйкес келеді. Бұдан бөлек вибростендтің құрамына жеке құрылғылар мен аспаптардан құралатын әртүрлі фирмалардың (синусоидальды сигналдар генераторы, шулы сигналдар, соққы импульстері, арнайы формалардың сигналдары, кең жолақты және жиілікті таңдау, сызықты емес бұрмалануды өлшеу, жиілікті өлшегіш, бастапқы сенсорлар мен сәйкес күшейткіштер, т.б. вибратордың түрлері мен вибростендтердің тағайындалуына байланысты) жасалатын әртүрлі аспаптар кіреді. Вибростендтің құрылымдық схемасы 5 суретте бейнеленген [4, 178 б.].

Енгізу-шығару құрылғысының техникалық және метрологиялық сипаттамасы вибратор мен қуат күшейткіштердің параметрлерінен (мысалы жиіліктік және динамикалық диапазон, гармоник коэффициенті, жұмыс

диапазонындағы жиілік пен амплитуда және т.б.) асып түседі, сондықтан автоматтандыру нәтижесінде вибростендтің жалпы техникалық және метрологиялық сипаттамалары сәйкес вибратордың мүмкіндігін толық іске асырып қана қоймай, сонымен бірге олардың жұмысын жақсартуға мүмкіндік береді. Дірілді сынау үшін вибростендте спектрді кездейсоқ дірілдетуді физикалық жүзеге асыру мен математикалық модельдеудің талап етілген дәлдік сипаттамасын бақылау мен қамтамасыз ету, орнату зор мәнге ие.

Жылжымалы объектілерді пайдаланғанда туындайтын дірілді процестер кездейсоқ стационарлы емес сипатқа ие, яғни бұл механикалық тербелістердің статистикалық сипаттамасы тұрақсыз және барлық уақыт бойы өзгеріп отырады. Стационарлы емес дірілді процестерді зертханалық жағдайда белгілі әдістермен қалпына келтіру стационарлы емес болудың қосымша қателіктерін туындатады. Көрсетілген қателіктер жиынтығы дірілдің берілген спектрін қалпына келтіру дәлдігін азайтады, осылайша кең жолақты кездейсоқ стационарлы емес дірілде (КЖКСЕД) сынау үшін жүйенің сапасы азаяды.



5 сурет – Вибростендтің құрылымдық схемасы

Пайдалану жағдайында болатын стационарлы емес дірілді процестердің, сонымен бірге стендті сынау кезіндегі спектральды сипаттамалардың дірілдік тұрақтылығына баға беру үшін, уақытша-жиілікті талдау (УЖТ), жылжымалы терезе ретінде Гаусс функциясын пайдаланатын, Фурье терезелік түрлендірулерінің әр түрлері болатын Габор түрлендіруін пайдаланған дұрыс.

Терезелік функцияны таңдау уақытша және жиіліктік облыстарда сигнал енін қалпына келтірудің минимум критерийіне негізделген. УЖТ уақытша жиіліктік талдауды пайдалану уақыт бойынша стационарлы емес қалпына келтірілген дірілдің жиіліктік қасиетінің өзгерісін зерттеуге көмектеседі.

1.2 Қазіргі таңдағы бар электродинамикалық вибростендтердің БЖ талдау

Қазіргі таңда дірілді құрылғыны басқару жүйелерінің үш түрі бар-интегралдық басқару жүйесі, мобильді басқару жүйесі және стационарлы басқару жүйесі [14].

Интегралдық басқару жүйесі

Интегралдық басқару жүйесі бар мобильді вибростендтер [15], акселерометрді калибрлеу, дірілдің жылдамдығының сенсоры, байланыссыз құйынды тоқ сенсорлары және стационарлы жүйелердің тұтас өлшеу каналдары үшін енгізілген аккумулятордан қоректенеді. Кең ауқымды генерацияланған жиілік пен амплитуда, сенсорлардың қолайлы бекітілуі, жүктеме мен өлшемдерінің аздығы, оларды стационарлы және жылжымалы өлшеу құралдарын сынау үшін маңызды етеді.

Мобильді басқару жүйелері

Мобильді басқару жүйелерінің мақсаты – жұмыс кезіндегі сынақ дірілді құрылғысының құрамындағы діріл параметрлерін өлшеу мен беру болып табылады. Жүргізілетін сынақтар: синусоидты діріл, классикалық соққы, әр түрлі енгізулер, өрістік сынақтарды жазу және іске асыру, вибростендтерді аттестациялау.

Стационарлы басқару жүйелері

Жеке вибростендтерді басқару үшін дірілді сынақтарды стационарлы басқару жүйелері 40-тан 1024 дейін енгізу каналдарын қолдайды. Сондай-ақ осындай жүйелер бір ось немесе бір мезетте бірнеше ось бойымен бірнеше (2 ден 16 дейінгі) вибростендтерді басқара алады [7].

Вибростендтерді (дірілмен) ZET 017-U- мен басқару жүйесі

Вибростендтерді ZET 017-U- мен басқару жүйесі (ВБЖ) тасымалдау мен пайдалану кезінде кездейсоқ дірілдің немесе үйлесімді шыққан дірілдің әсеріне ұшырайтын элементтер аппаратурасы мен басқа да бұйымдарды сынауға арналған спектр анализаторы базасындағы бағдарламалы-аппараттық кешенді қамтиды. Бұл сынаулар негізінен келесі түрдегі дірілдің үлгісіне әсер етуді көрсетеді:

- кең жолақты кездейсоқ діріл (ККД) (сынау теориясы);
- тұрақтандырылған жиіліктердегі синусоидалы діріл (сынау теориясы);
- жиіліктің тербелу әдісімен синусоидалы діріл (сынау теориясы);
- синусоидалы салынған кең жолақты кездейсоқ діріл (ККД) (сынау теориясы);
- соққы әсері (классикалық соққы, дірілді соққы);
- атқыш-зеңбіректі қаруландыру (АЗҚ) әсерінің имитациясы.

ZET 017-U вибростендпен басқару жүйесі (ВБЖ) электродинамикалық және гидравликалық вибростендте дірілдік сынау жүргізуге мүмкіндік береді.

Стендті басқару ZETLAB VIBRO бағдарламасының көмегімен спектр анализаторында жүзеге асырылады: синусоидальды сигнал, кең жолақты кездейсоқ дірілді классикалық соққы, дірілді соққы. Бағдарламада кері байланыс каналы бойынша спектр анализаторымен бақыланатын вибростендте жүргізілетін сынау профилі беріледі[8].

ASCV-010 дірілді сынауды басқару жүйесі

Гармоникалық, полигармоникалық және кездейсоқ дірілдің әсеріне объектілерге сынау жүргізу кезінде электродинамикалық дірілді қондырғыны басқаруға арналған. Бұл жүйе дірілді әсер етуге талдау мен синтездің ерекше әдісінің негізінде жасалған.

Жүйенің құрамына мыналар: бағдарламалық қамтамасыз етудің арнайы пакетімен компьютерді басқару, дірілді контроллер құрамындағы процестер мен сигналдардың синтезімен талдаудың арнайы модульдері, үлгілі дірілді өлшегіш түрлендірулердің жиынымен қуат күшейткіші бар жиынтықтағы электродинамикалық дірілді қондырғы кіреді.

Негізгі функциялары:

- ASCV-010 жүйесінің аппараттық құралының әртүрлі бағдарламалық қамтамасыз ету пакетін пайдаланған кезде келесі объектілерге дірілдік сынау режимін пайдаланады:

- белгіленген жиілік әдісімен гармоникалық діріл әсеріне сынау;

- амплитудалық спектрдің берілген формасымен полигармоникалық діріл әсеріне сынау;

- спектральды тығыздықтың берілген формасымен кең жолақты кездейсоқ діріл әсеріне сынау;

- амплитудалық және жиіліктік сипаттамамен, жіберудің шынайы коэффициентінің анықтамасымен дірілді өлшегіштерді түрлендіргіштерді тесттік (байқау) сынау[16].

Вибростендтерді басқару жүйесі (дірілмен басқару жүйелері)

Вибростендтерді басқару жүйесі (ВБЖ) тасымалдау және пайдалану процесінде кездейсоқ діріл немесе үйлесімді шыққан дірілге ұшырауы мүмкін аппараттар мен элементтер және басқа да бұйымдарды сынауға арналған бағдарламалық аппаратты кешенді қамтиды. Бұл сынаулар негізінен кездейсоқ және/немесе берілген жиілік пен белгіленген жиілікте белгілі уақыт аралығында синусоидальды діріл үлгісіне әсер етуді көрсетеді.

Дірілді басқару жүйесіне мыналар кіреді:

- Кеңселік орындау (A17) немесе USB 2.0 (A17-U8) шинасында спектр анализаторы;

- Дірілді түрлендіргіштер;

- Бағдарламалық қамтамасыз етулер: кері байланыстағы (ККВ-кең жолақты кездейсоқ вибратор) генератор, кері байланысты (синус, сызықты жиіліктік модуль СЖМ, логикалық жиіліктік модуль ЛЖМ) генератор.

- Сыналатын бұйымға (кездейсоқ немесе үйлесімді сипатта) дірілдің әсері үшін, қондырғының жұмысына вибростендте өлшеуді бақылау нүктесінде қолдау қажет діріл деңгейінің пайдаланушы көрсеткен деңгейімен сәйкес сигналды басқару генерациясын қамтамасыз етеді.

- Берілген деңгейге автоматты түрде бұйымға сыртқы әсерге тәуелсіз түрде жүйе қолдау көрсетеді.

BC-207 дірілді сынауды басқару жүйесі

BC-207 дірілді сынауды басқару жүйесі дірілдік басқару мен VisProbe бағдарламалық пакетін басқару контроллерін қамтиды. Контроллердің дербес компьютермен байланысы Ethernet жергілікті желісі арқылы жүзеге асырылады. Мұндай қосу жүйесі компьютерге қосымша кеңейту карталарын орнатуды қажет етпейді, ол контроллерді компьютерден қашықта (150 м-ге дейін) орналасуына мүмкіндік береді, контроллер мен компьютер арасында

гальваникалық түйінді қамтамасыз етеді, компьютер қатып тұрып қалған жағдайда немесе компьютердің тоқсыздануы кезінде сынауды қауіпсіз аяқтауды қамтамасыз етеді.

BC-207 дірілді сынауды басқару жүйесіне 24601-09 нөмірлі өлшеу құралының (соның ішінде арнайы бөлімде) Мемлекеттік реестріне кіреді.

Жүргізілген сынаулардың түрлері:

- бекітілген немесе өзгертін жиілікті синусоидальды діріл;
- кең жолақты кездейсоқ діріл;
- дірілді соққы (соның ішінде СПВ имитациясы);
- резонансты іздеу мен ұстап тұру;
- ККВ (SOR) синусына салу;
- ККВ-ны ККВ-ға (ROR) салу;
- синус пен ККВ-ді (SROR) ККВ-ге салу;
- өрістік сынауларды қалпына келтіру мен жазу;
- соққы спектрін қалпына келтіретін соққы (ShockResponseSpectrum, SRS).

Контроллермен байланыс Ethernet желісі арқылы жүзеге асырылады. Контроллердің ішкі бағдарламалық қамтамасыз ету шығыс сигналды (вибростенд күшейткішіне берілетін сигнал) қалыптастыру мен акселерометр сигналының деңгейін өлшейді. Бұл басқару жүйесінің жұмысын жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді. Контроллер өз бетінше дірілдің мүмкін болатын деңгейін арттырған жағдайда кері байланыс тізбегін ажырату немесе басқа да штаттан тыс жағдайларда апатты ажыратуды атқарады.

VisProbe бағдарламалық пакеті орыс тілді интерфейске ие болған. Сынау бағдарламаларын енгізуге, сақтау мен қосуға мүмкіндік береді. Сынау жағдайы туралы ақпарат береді, қолмен және автоматты режимде басқаруды қамтамасыз етеді. Уақытша және жиіліктік облыстарда сигналдардың графигін шығарып береді, осциллограммаға нақты уақыттағы шығыс сигналдар мен үдеткіштерді қарауға мүмкіндік береді[17].

Бірнеше басқару каналдары бар VR9500 VibrationResearch (АҚШ) діріліді сынауға арналған жүйе

Жүйе әрқайсысы 2 шығыс канал (1 басқарушы канал мен 1 COLA) және 4 кіріс каналдан тұратын модуль түрінде орындалады. Алдыңғы панель –әрбір модульге 4 BNC акселерометрлер мен жарықдиоды индикаторының арналған жалғағыш. Артқы панель – басқарушы шығыс пен COLA шығыс, Ethernet жалғағыш пен сандық кіріс-шығыс терминалды блогы.

Осындай мүмкіндіктің арқасында жүйе оңай масштабталады. Кіріс сигналдардың санын арттыру үшін жеке модульдерді тауып, оларды бұрыннан бар жүйеге қосу жеткілікті болады. Барлық модульдер бірдей, сондықтан екі немесе одан көп модульді жүйеге ие бола отырып, сіз әрбір модульді қосымша бағдарламалық қамтамасыз етуді тапқан жағдайда жеке басқару жүйесі ретінде пайдалана аласыз. Сәйкес бағдарламалық қамтамасыз етуді тапқанда COLA шығыс каналын көп каналды басқаруды жүзеге асыруда пайдалану мүмкіндігі

болады. (Бірнеше басқару каналдары бар дірілді сынауды басқару жүйесін қараңыз).

Басқару жүйесі келесі режимдерде сынау жүргізуді қамтамасыз етеді:

- көп осьті жүктелу кезіндегі синусоидальды діріл;
- көп осьті жүктелудегі кездейсоқ діріл;
- көп осьті жүктелудегі екпінді импульстің классикалық формасының соққылы әсері;
- көп осьті жүктелудегі кезінде жауапқа берілген спектр бойынша соққы[18].

CATS (Puma, Jaguar, Cougar) дірілді сынауды басқару жүйелері

Дірілді сынауды басқару жүйелері сынау режимдерін басқару мен өлшеуге арналған. Сынау режимдері – сырғанақ синусоида, кездейсоқ кең жолақты діріл мен соққы. Сынау параметрлері: орташа шаршы, орташа, дірілдік үдеудің шындық мәні, дірілдік жылдамдықтары мен дірілдік ауысу.

Жүйелер ғылыми зерттеу, сертификаттау, өндіріс өнімдеріне және т.б. жағдайларда сынау жүргізу үшін ғылыми мекемелер мен сынау зертханаларында пайдаланылады.

Жүйе сынау объектісіне дірілдік әсерге еліктейтін сынау жабдығына ұсынылған талаптардың кең спектрімен құрылған сандық сынау кешенін көрсетеді.

Жүйенің жұмыс істеу принципі сандық процессорлар мен тірек спектрлі және сынау объектісіне берілген дірілдік әсерді қамтамасыз ететін осындай шығыс сигналдарды әрі қарай қалыптастыруда пайдаланылған дірілді түрлендірулерден келіп түсетін ұқсас сигналдарды түрлендіру мен күшейтуді, оларды қабылдауды жүзеге асыруға негізделген. Бағдарламалық қамтамасыз ету сынау жүргізу мен әсер ету сигналдарын өңдеуге, жауап беруге, талдау жасауға, сынауға хаттама жасау мен әсер етуді автоматты түрде реттеуге арналған. Жүйе заряд күшейткіштермен бірге зарядты түрлендіргіштер сияқты кернеу бойынша шығыс түрлендіргіштердің (ICP) жұмысына арналған.

Жүйенің құрамына келесі негізгі түйіндер кіреді:

- шығыс каналдар;
- сандық-ұқсас түрлендіргіштер;
- уақытша рандомизация блогы;
- сандық сүзгілер;
- кері байланыс контурының процессоры;
- дербес компьютерді басқарушы.

«Сырғанақ синусоида» режимі синусоидальды сигнал генераторының көмегімен іске асырылады. Бұл кезде жиіліктің тұрақтандырылған, пропорционалды өзгеретін жолақтарымен сүзгілерді көпканалды сандық бақылаушы пайдаланады; пропорционалды реттеу аймағы бар шынайы бақылаушы сүзгі жасау үшін деректерге қайтадан сандық талдау жасайды. Жиіліктерді 0,1 ден 10000 Гц-ке дейінгі диапазонда резонанста болу мен іздеуді жүзеге асырады. Бұл режимде әрбір канал үшін амплитудалы-жиіліктік сипаттама анықталады, сонымен бірге әрбір канал үшін орнатудың тәуелсіз шектік мәндері беріледі. Минималды сызықты емес бұрмалауды қамтамасыз

ету үшін кері байланыс контурында екілік дәлдіктің фазалық алгоритмі пайдаланылады.

Кең жолақты кездейсоқ дірілді режимі гаусстық кездейсоқ сигнал көмегімен іске асырылады. Режимде спектральды сызықтар 3200-ге тең болатын максимальды санмен берілген, орташа мән арқылы басқарылатын, шектік мәндерді тәуелсіз баптау мен әрбір канал үшін амплитудалы-жиіліктік сипаттаманы анықтайтын, сонымен бірге басқа сынау жабдықтарымен интеграциялау мүмкіндігі болатын жылдам Фурье түрлендіруі жүзеге асырылады.

Режимді басқару алгоритмі кері байланыстың бірнеше тәуелсіз контурымен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Реттеу жүйесінің тұрақтылығы мен жылдамдығын үйлесімді жұмыс жасау үшін алгоритм спектр формасы мен басқару сигналының орташа квадраттық құрамына бақылау жүргізеді.

Соққы режимінде сигналдың келесі формалары қолданылады: синусоидалы жартылай толқын, трапециялы, тікбұрышты және оператор (импортталған) берген. Бұл режимде әрбір белсенді өлшегіш канал бойынша 10 кГц-ке дейін (екпінді жауап берудің спектріне талдау) SRS талдау жасау, деректерді өңдеу, SRS мәліметтерді өңдеу (абсолютті шама, максимальды оң, максимальды теріс, қалдық оң, қалдық теріс) және деңгейді диспетчерлендіру мен қайта-қайта тест жүргізу кезінде минимальды теңестірудің уақытын қамтамасыз етуге арналған сигнал формасының өтемі (компенсация) автоматтандыру және қолмен басқару іске асады.

Соққы режимінде уақыт өткен сайын өзгертін сызықты емес жүктеме жағдайында жылдам әрі дәл өтемақы үшін байланысқан тербелістерді деңгейлестірудің өзгертіліп берілген функциясымен бейімделген алгоритмді көрсетеді.

Кіріс каналдарының саны мен жиілік диапазонына, пайдаланатын бағдарламалық қамтамасыз етуіне байланысты жүйенің бірнеше түрі: Puma, Jaguar, Cougar шығарылады.

Puma жүйесі каналдарының санына байланысты ерекшеленетін үш түрлі нұсқада: Puma Basic, Puma Foundation, Puma Premier шығарылады. Puma жүйесі дербес компьютер негізіндегі үстелге қойылатын жүйелік блок түрінде жасалған.

Cougar ауспалы жүйесі дербес компьютер мен блокты басқарудан тұрады.

Jaguar жүйесі дербес компьютер мен үш түрлі басқару: стандартты 2560 пен 2580, үлкен 2570 және кішкентай 2565 блогынан тұрады. Блоктардың түрі кіріс каналдардың саны мен тұтынылған қуаттың мөлшеріне байланысты. Жүйені бірнеше вибростендтерде объектілерді сынауға пайдалануға болады [19].

1.3 Электродинамикалық вибростенді APC-БЖ. Сынауларды АБЖ

Соңғы он жылда өнеркәсіптік өндірісті басқаруды жетілдірудің барлық деңгейлерінде қарқынды процесс жүріп жатыр. Бұл процестің ерекшелігі қазіргі

замандағы математикалық әдістерді басқару мен есептеу техникасын қоса алғанда автоматтандырудың жаңа құралдарын кеңінен пайдалануда болып отыр. Осының нәтижесінде көптеген кәсіпорындарда әртүрлі объектілерді автоматты басқару жүйелері пайда болды. АБЖ-сі тікелей технологиялық қондырғыны басқаратын төменгі деңгейдегі объектілерді (қондырғы, агрегат, участке) басқаратын және онда өтетін процестер: олар технологиялық процестерді автоматты басқару жүйелері (ТП АБЖ) деген атауға ие болды.

ТП АБЖ-ның әртүрлі салаларында іске асырылатын алгоритм мен техникалық құралдардың құрамы бойынша да әртүрлі болады. Бірақ ТП АБЖ – бұл берілген техникалық-экономикалық критерийлер бойынша нақты уақытта технологиялық процестерді басқаруды қамтамасыз ететін және басқару аппаратуралары мен оперативті персоналды басқаратын тиімді басқаруды қамтамасыз ететін әдістер жиынтығын қамтитын жүйе.

ТП АБЖ-ны сынама стендінде пайдалану - бүгінгі күннің қажеттілігі болып отыр. Технологиялық агрегаттар мен өндірістің өсетін бірлік қуаты жағдайында ол басқару сапасын арттырудың қуатты құралы болады. Оны сериялық және тәжірибелік өндірістің сынау стендінде пайдалану өндіріс тиімділігі мен шығарылатын өнімнің сапасын әлдеқайда арттыра түседі. Бұл жерде мына жағдайды көрсету керек [20]:

- визуалды және сандық өлшеудің болуы, қолмен басқару сынау объективтілігінің дәрежесін арттырады;
- деректердің дұрыстығы артады, өлшеулер мен бақыланатын параметрлер саны артады;
- жөндеу процесі оңтайлы болады, сынау кезінде ресурс аз мөлшерде өңделеді, өлшеу қателігі азаятындықтан, бұйым ресурсы мен сенімділік артады;
- деректерді жөндеу, өлшеу мен өндеу уақыты азаяды;
- сынауды оңтайландыру бұйымның сипаттамасына тиімді баға берудің қазіргі заманғы реттегіш қондырғыларды қашықтықтан дәлдеудің математикалық әдістерінің, ақпараттық модельдердің негізінде жүзеге асырылады;
- сынаудың еңбек ауқымдылығы мен энергетикалық шығындары азаяды;
- адамдар қауіпті және зиянды жағдайда жұмыс істемейді;
- еңбек өнімділігі артады;
- процесті басқару кезінде бұйымның шығарылатын номенклатурасына (технологиялық қондырғының режимін жедел қайта жасау арқылы, жұмыстарды бір түрлі қондырғыда қайта бөлу және тағы басқаларға) арналған өндірістік жоспардың динамикасы есепке алынады;
- күрделі құрылысқа кететін шығын азаяды, бұл кезде жоғарыда аталған жағдайларда сол бір өндірістік қуаттағы өнімдерді шығару өседі.

ТП АБЖ орындайтын нақты функциялар басқарылатын процестің күрделілігі мен сипатына, сонымен бірге ТП АБЖ-ның техникалық мүмкіндіктеріне байланысты. Бұл төмендегілер:

- сыналатын бұйымның технологиялық процесі күйі туралы ақпаратты жинау мен өңдеу;

- сынау процесін бақылау мен оның идентификациясы;
- реттеу мен тұрақтандыру, соның ішінде көп байланысты басқару;
- логика-бағдарламалық (соның ішінде мультибағдарламалық басқару);
- оңтайлы басқару мен оңтайлы шешімді іздеу;
- сынаудың технологиялық процестерінің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін есептеу;
- апатты жағдайларды болдырмау мен оны талдау;
- жеке бөліктер мен жүйеге бүтіндей техникалық диагностика жасау.

Жалпы бұйымды стендті сынаудың ТП АБЖ-ы өлшеу-ақпараттық жүйенің дамуы болып табылады. Сондықтан кез-келген ТП АБЖ-да эксперименттің негізгі мәселесін шешетін (ақпараттарды өңдеу, жинау мен өлшеу) АӨЖ болады.

Бүгінгі күнде құрылып жатқан ТП АБЖ-ның көбі автоматты емес, автоматтандырылған. Оларда есептеу машинасында көрсетілген ақпаратты шешуге немесе ПК-ның өңдеген шешімін іске асырып оны бағалайтын оператор орасан зор роль атқарады.

ТП АБЖ-ның жеке өндірістік тапсырмалардың өндірістік тиімділігін арттыру мәселелерін өз бетінше шеше отырып, бүтіндей өндіріс пен кәсіпорынның автоматты басқару жүйелерінің ақпараттық және техникалық базасын құрады. Бұл аспектіде технологиялық процестерді тікелей басқарумен қатар сәйкес бөлімшелердің ұйымдастыру жұмыстарын кешенді түрде шеше алатын ТП АБЖ-сі шешуші роль атқарады.

Кез-келген қазіргі кездегі ТП АБЖ күрделі құрылымды дамыған адам және машиналы жүйені қамтиды. Әлемдегі әуе мен космонавтика қатаң бәсекелестік жағдайында, күрделі әуе және ракета-ғарыш өнеркәсібін құрудың тәсілдері мен талаптарының жаңа деңгейін ұсынады. Бұйымды дірілдік сынаудың тиімділігін арттыру әсіресе сынау объектілерінің дірілдік тұрақтылығы мен дірілдік орнықтылығына сай объективті әрі жан-жақты баға беруді қамтамасыз ететін алынған нәтижелердің дәлдігі мен анықтығын, ақпараттың дұрыстығын арттыруды көздейді.

Дірілдік сынаудың нәтижелерінің дәлдігі мен анықтығын арттыруды көздейтін шешімдердің негізгі ғылыми-техникалық мәселелерінің бірі дірілдік әсердің дәлдік сипаттамаларын, сонымен бірге кездейсоқ дірілдік процестердің статистикалық нормалау принциптерін қалыптастыру болып табылады. Бұл кезде кездейсоқ діріл спектрін вибростендтердің математикалық модельдері мен физикалық тұрғыдан жүзеге асырылуы талап етілген дәлдік сипаттамаларды бақылау мен қамтамасыз етуді анықтауға көбірек мән беріледі.

Кездейсоқ дірілдік процестердің қуатының спектральды тығыздығы (ҚСТ) бағалаудың кез-келген әдісін пайдаланғанда мүмкін болатын максимальды рұқсат беру, деректердің соңғы мөлшері бойынша статистикалық тұрақты спектральды баға берілетін ымыралы шешім қабылдауға тура келеді. Мұндай ғылыми негізделген ымыралы шешім қабылдау үшін деректерді өлшеу, корреляциялық функциялар мен спектрдің жанама қауызының деңгейін төмендету, ансамбль бойынша тиімді орташалау мен қолайлы спектральды

рұқсат алуды қамтамасыз ететін талаптарды теңестіруге мүмкіндік беретін уақытша және жиілікті облыстарда мұндай орташалау параметрлері үшін осындай терезе функциясын таңдау стратегиясын жасау қажет.

Дірілдік сынау тәжірибесінде пайдалы сигналдарды шынайы уақыт жағдайында өлшеу бақыланбайтын шу көздері мен кең жолақты және тар жолақты процестерден жасалатын тосқауыл негізінде жүргізіледі. Сондықтан кездейсоқ дірілдік процестер кезінде бұйымдарға дірілдік сынау жүргізгенде берілген және тіркелген статистикалық сипаттамаларды бағалау шамасына көрсетілген тосқауылдардың әсерін бағалау қажет. Берілген мәселені шешуде көбірек тәжірибелік қызығушылық туғызған сызықты динамикалық жүйенің екі моделіне: бір өлшемді және көп өлшемді түріне қатысты.

Жоғарыда көрсетілген мәселелерді шешу жолдарының бірі экспериментальды деректердің минимальды мөлшерінен дәлдікпен шектеулі уақытында талап етілген нәтижелер алу мақсатында математикалық модельдеу әдісін кеңінен тарту болып табылады. Бұл дірілдік сынау объектілеріне дірілдік әсердің дәлдік сипаттамасымен, сонымен бірге кең жолақты және тар жолақты тосқауылдардың әсері кезінде кездейсоқ дірілдік процестердің статистикалық сипаттамасын бағалауды зерттеуге бағытталған сызықтық бір өлшемдік және көп өлшемдік жүйені сандық модельдеу КТЖ-дың теория мен практикадағы дірілдік сынаудың өзектілігін айқындайды.

Жұмыстың мақсаты математикалық модельдеу әдісінің негізінде дірілдік сынау нәтижелерінің анықтығы мен дәлдігін арттыру болып табылады.

Бұл мақсатқа жету үшін күрделі техникалық жүйенің зертханалық-стендтік дірілдік сынаудың дәлдік талдауын жүргізуге мүмкіндік беретін сызықтық динамикалық жүйелердің математикалық моделін жасау мәселесі қойылған.

Жылжымалы объектілерге орнатылған аппаратуралардың істен шығуының көбі қарқынды механикалық дірілдің әсерінен болады. Сонымен қатар, дірілдің әсері кезіндегі беріктік пен сенімділік те машиналарды құрастыру мен жасауда шешуші мәнге ие болған. Алайда дірілдің әсерінен туындайтын сандық анықтау мен аспаптар мен аппараттарды сынау кезінде машина жасауда осындай сұрақтарды қарастыруға қарағанда болатын жағдайлар күрделі болады [21]. Аспаптар мен аппараттар діріл әсеріне реакциялары әртүрлі болатын түрлі конструктивті элементтері мен түйіндерінің көп мөлшерін қамтиды. Аспап пайдалану кезінде түрлі сипаттағы діріл әсеріне – периодты, үйлесімдіге жақын, екпінді немесе кездейсоқ болуы мүмкін.

Механикалық сынаудың мынадай түрлері бар:

Құрылымның резонансты жиілігін табу мен олардың берілген аймақта болмауын тексеру;

- дірілдік тұрақтылық пен дірілдік беріктікке тексеру;
- соққыға беріктік пен соққыға тұрақтылыққа тексеру;
- жеке соққының әсеріне;
- сызықтық жылдамдату әсеріне;
- акустикалық шудың әсеріне.

Барлық механикалық сынаулар жүктемемен немесе жүктемесіз қалыпты климаттық жағдайларда жүргізіледі. Сынау кезінде температураны арттыруға ортаның жұмысшы температурасын арттырмаған жағдайда рұқсат етіледі.

Сенімді жұмыс конструктивті қосалқылардың болуының арқасында қамтамасыз етіледі. Резонанстық жиіліктегі конструктивті қосалқыны конструктивті қосалқы коэффициентінің көмегімен бағалайды [22]:

$$K_3 = f_{OH} / F_b, \quad (1)$$

мұндағы:

f_{OH} —бұйымның ең аз резонансты жиілігі;

F_b —жұмыс диапазонының жоғарғы жиілігі.

Яғни f_{OH} арттырған кезде басқа тең шарттар жағдайында конструкцияның дірілге беріктігі артады.

1.4 Құрылғының динамикалық сипаттамасын анықтау үшін қазіргі таңда бар құралдар мен әдістердің дамуының болжамы

Жарияланған зерттеулердің нәтижелерін талдау ЭҚ-ның діріл сынағының техникалық тиімділігі мәселесі күрделі және төрт өзара байланысты мәселелерді шешуге байланысты екенін көрсетеді [23]:

- 1) Сынаудың және нақты діріл режимдерінің адекваттығын арттыру.
- 2) Стендтерде сынақ режимдерінің іске асуының дәлдігі.
- 3) ЗО-нің діріл режимдері мен динамикалық реакцияларындағы өлшеу туралы ақпараттың сенімділігі.
- 4) Діріл сынақтарының ақпараттылығы (СА).

Бірінші мәселе - СА режимдерінің адекваттылығы – ЗО-нің нақты жағдайдағы және стендтік тестілерде әр түрлі жүйелерде жұмыс істейтіндігінен туындайды. Бірінші жағдайда, ЭҚ сыртқы ортаға (электронды құралдармен жабдықталу объектісіне) өзара әрекеттеседі, екіншісінде - қоршаған ортаның ең маңызды әсерлерін жаңғыртып, нақты жағдайға сәйкес келетін сынақ өнімінің жұмыс істеуі үшін жағдайды қамтамасыз ететін стендпен.

Екінші мәселе - дірілдік сынақ режимдерінің іске асуының дәлдігі – ЗО мен стендтің елеулі өзара іс-қимыл нәтижесінде туындайды және стендтер осы режимдерді іске асыруының шектелуі. Осы мәселе бойынша зерттеулер тек инерциялық (резонанстық емес) жүктемемен жүзеге асырылады[24]. Жалпы және маңызды ЭҚ жағдайлары үшін ЗО күрделі тербеліс жүйесі болған кезде, сынақ режимдерінің бұрмалануының физикалық себептері толығымен анықталмаған және бұл бұрмалануларға қарсы қарапайым және тиімді құралдар табылмағанда. Сондықтан қазіргі таңда ЭҚ-ны сынаған кездегі діріл режимдерінің бұрмалануы жүз пайызды құрайды.

Үшінші мәселе өлшеу ақпараттарының сенімділігі, шынайы шарттардағы және стендтік сынақтардағы динамикалық режимдердің әрекеттері аутометрия мен дірілдік метриямен зерттеледі.

Соңғы мәселе - стендтік сынақтардың ақпараттылығы - қазіргі кезде әртүрлі ғылым салаларында: іркіліс физикасы, техникалық диагностика, техникалық жүйелерді модельдеу теориясы және аутометрияда қаралады. Ақпараттылық 30 тербелу қасиеттерінің сипаттамасының толықтығына байланысты стендтік сынақтардың маңызды аспектілерінің бірін сипаттайды.

Шынайы эксперимент жүргізу аумағында және ЭҚ құрылымдық элементтерінің тербеліс процестерін физикалық модельдеу саласында шешілуі қажет негізгі мәселелер - бұл діріл әсерінің деформациялық компоненті, зерттелетін объектіге сенсорлардың әсерін ескермеу және өлшеу қателігінің жиілікке тәуелділігін жою [25], [26].

1.5 1-ші бөлімге қорытынды

Сонымен 1-ші бөлімге қорытынды келесідей: зертханалық жағдайда дірілді сынақтарда гидравликалық вибростенд пен механикалық вибростендтерге қарағанда электродинамикалық түрдегі вибростендтер кең сұранысқа ие болды. Оның себебі басқа вибростендтермен салыстырғанда келесі техникалық сипаттамаларының артықшылығында: дірілді әсерді тудыратын кең жұмыс диапазоны, басқару икемділігі мен қарапайым баптауында (1 кесте) [10].

1 кесте

Параметр	Вибростенд түрі		
	электродинамикалық	гидравликалық	механикалық
Қозғалыс күші, кН	0,1 ден 400 дейін	5 тен 10000 дейін	0,5 тен 150 дейін
Жүктеме массасы, кг	1000	5000	500
Орынауыстыруы, мм	±25, әдетте ±12,5	±200, әдетте ±50	±100, әдетте ±5
Үдеу (жүктемесіз), м/с ²	1500, әдетте 1000	1000, әдетте 100	300, әдетте 100
Жиілік, Гц	0,5 тен 20000 дейін, әдетте 5 тен 500 дейін	0 ден 800 дейін, әдетте 1 ден 200 дейін	0,1 ден 300 дейін, әдетте 5 тен 100 дейін
Дірілдің жұмыс үстеліне таралу біркелкілігі, %	5 10 дейін, кейбір жиілікте 25 және жоғары	2 ден 5	5 тен 10
Тербеліс түрлері	Барлық	Барлық	Белгілі бір жиілікте
Бағасы	Қымбат	Қымбат	Арзан

ЭДС БЖ талдаудан шыққан қорытынды: дірілдің бірнеше көздерінің әсерін модельдеу кезінде объектінің динамикалық сипаттамаларын зерттеуге мүмкіндік беретін сынақ жабдығын дамытуға жеткілікті көңіл бөлінбейді. Осылайша, келесі қорытынды жасау керек – ЭДС арналған автоматтандырылған адаптивті басқару жүйесін әзірлеу қажет.

Сынауларды АБЖ талдаудан шыққан қорытынды экспериментальды деректердің минимальды мөлшерінен дәлдікпен шектеулі уақытында талап

етілген нәтижелер алу мақсатында математикалық модельдеу әдісін кеңінен тарту болып табылады. Бұл дірілдік сынау объектілеріне дірілдік әсердің дәлдік сипаттамасымен, сонымен бірге кең жолақты және тар жолақты тосқауылдардың әсері кезінде кездейсоқ дірілдік процестердің статистикалық сипаттамасын бағалауды зерттеуге бағытталған сызықтық бір өлшемдік және көп өлшемдік жүйені сандық модельдеу КТЖ-дың теория мен практикадағы дірілдік сынаудың өзектілігін айқындайды.

Діріл сынағы - сыртқы факторларға төзімділік үшін сынақ циклындағы алғашқы қадам, оның нәтижелері бойынша одан әрі сынау әдістері мен режимдері таңдалады. Сынақ үлгісінің конструкциясының динамикалық сипаттамаларын қате анықтау, ол стендтік сынақтарда толық қанды сыналмауына және өнімнің мақсатты пайдалануын толық масштабты сынау сатысында сәтсіздікке әкелуі мүмкін. Бұл жағдайда бүкіл сынақ циклін қайта өткізуге елеулі шығындар кетеді. Сондықтан, сынақтар кезінде іске асырылатын дірілдеу әсері іс жүзіндегі жұмыс жағдайларына толығымен сәйкес болуы керек. Сонымен қатар, егер барлық резонанстық жиіліктердің мәндері діріл мен дірілге төзімділік сынақтарының басталуына дейін белгілі болса, сынақ кезінде дірілдеу жүктемелерін азайтуға болады, осылайша оның жұмыс істеу ұзақтылығын арттырады, сондай-ақ діріл сынақтарының ұзақтығын азайтады. Жұмыстың мақсаты математикалық модельдеу әдістеріне негізделген діріл сынақтарының нәтижелерінің дәлдігі мен сенімділігін арттыру болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін - күрделі техникалық жүйелердің зертханалық - стендтік дірілдеуін дәл талдау үшін сызықтық динамикалық жүйенің математикалық моделін жасау болып табылады.

2- БӨЛІМ. БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЭЛЕМЕНТТЕРІ МЕН ҚҰРЫЛЫМЫН МОДЕЛДЕУДІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ БӨЛІМІ

2.1 Алмастырудың эквиваленті схемасы және ЭВ динамика тендеуі

Электродинамикалық типтес вибраторлар электрлік энергия күшейткіш қуатын механикалық түрде іске асырады.

Вибратор электродинамикалық қозғаушысы бар қозғалмалы жүйемен қамтамасыз етілген. Вибратордың жұмыс істеу принципі келесідей:

Тұрақты токпен қоректенетін, электромагниттің сақиналық қуысына, катушка орналастырылады, оны серпімді қозғалмалы жүйеге бекітеді. Амплитудасы мен жиілігі реттелетіндей мүмкіндігі бар, айналмалы тоқты катушкадан өткізген кезде, ол қуыстан итеріліп шыға бастайды немесе оған жіберілетін ток жиілігінің қадамына сәйкес қуысқа тартылады. Катушканың сызықты орынауыстыру шамасы одан өтетін айнымалы ток шамасынан тәуелді (жуық шамамен, бұл әдетте дауысұлғайтқыштарда кездеседі) [27].

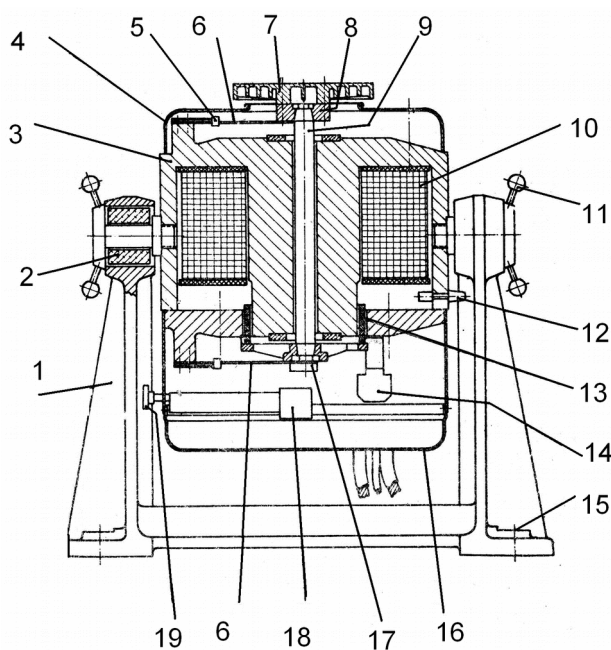
Катушка бағытталған пружиналармен механикалық қозғалмалы жүйесіндегі қатты байланыста болады.

Вибратормен қуаттандырылған күш [28],

$$f_0 = B \cdot 1 \cdot i_0 \cdot \sin \omega \cdot t, \quad (2)$$

мұндағы B - (*магнитная индукция в кольцевом*) магниттік өткізгіштің сақиналық қуысындағы магниттік индукция, 1 - қозғалмалы катушканың сымның жалпы ұзындығы, $i_0 \cdot \sin \omega \cdot t$ - қозғалмалы катушкадан өтетін айналмалы ток.

6 суретте электродинамикалық вибростендтің құрылымы келтірілген. (Виброкұрылғы) Вибратор цилиндрлік магниттік өткізгіш- 3 болып табылады, ол болаттан құйылған. Ол резінке төлкерімдері- 2 бар, темір төсегішке- 1 орнатылған (созылмалы амортизаторлар), онда ол вертикальдық жағдайда 0° ден $\pm 90^\circ$ қа дейінгі бұрыш диапазонында бұрылуға мүмкіндік алады. Созылмалы амортизаторлар, негізіне болар болмас шамадағы қалдық вибрацияны береді, сондықтан вибростенд үшін ерекше фундамент талап етілмейді. Вибратордың магнит өткізгіш қорабының (корпус) ішіндегі жүрегінде (сердечник) магниттендіру 10 орамы орналасқан, ол тұрақты магнит өрісін жасау үшін қажет. Магниттік өткізгіштің ауадағы қуысында басқару 13 катушкасы орналастырылған, ол негізін салушы (на несущем стержне) стерженге 9 фланцпен 8 бекітілген, онда планшайбтардың 7 бірі бекітілуі мүмкін. Соңғы екеуі де бірігіп тербелу жүйесін құрайды. Төрт жазық серпілгіштер 6 (пружиналар) екеуі астында екеуі үстінде айтылған жүйені қуысқа параллель жүргізеді. Қозғалмалы жүйенің резонансты облысында тербелісті шектеу үшін серпімді элементтер амортизаторлы шектеуіштермен 5 жабдықталған. Сынақталушы объектіні 4 винт көмегімен фланцқа 8 бекіту мүмкін (мысалы қатандығы жұмсақ болатын стерженьді, немесе ауыспалы планшайбтардың 7 бірін қолдану арқылы).



1-Төсегіш (станина); 2- резіңке амортизаторлар; 3- магниттік өткізгіш; 4- үстіндегі қорғаушы қалпақ; 5- вибрацияның амортизаторы; 6- жазық пружиналар (серпілгіштер); 7- объекті сынау үшін планшайба; 8- қосу фланеці; 9- серпілгіш (стержень); 10- магниттеу катушкасы; 11- қысу тетігі (рычаг); 12- ауаны суықтату штуцері; 13-дірілдегіш (басқару) катушкасы; 14- қосушы қысу клеммдері; 15- төсегіш (заземление); 16- төменгі қалпақ; 17- үдеу датчигі; 18- осциллятор; 19- үдеу датчигінің «нөл» реттеуші тұтқасы.

6 сурет - Электродинамикалық вибратор

Магниттік өткізгіш қуысында таралған магниттік өріс ағымының сыналушы объектке керексіз әсерін азайту үшін дірілдегіш катушканы магниттік өткізгіштің төменгі бөлігіне орналастырылған.

Қозғалмалы жүйеге көлемдік үдеу сенсоры 17 қатаң қосылған, ал қорапқа үдеудің өлшегіш құрылғысы 40 бар осциллятор 18 қосылған. Осциллятор 18 дің тыныштық (покоя) анодты тоғы реттеуіш тұтқасын 19 бұру және қысу арқылы анықталады. Магниттік өткізгіш 3тің төменгі бөлігінде басқару пультіне қосу үшін клеммдер 14 орналасқан.

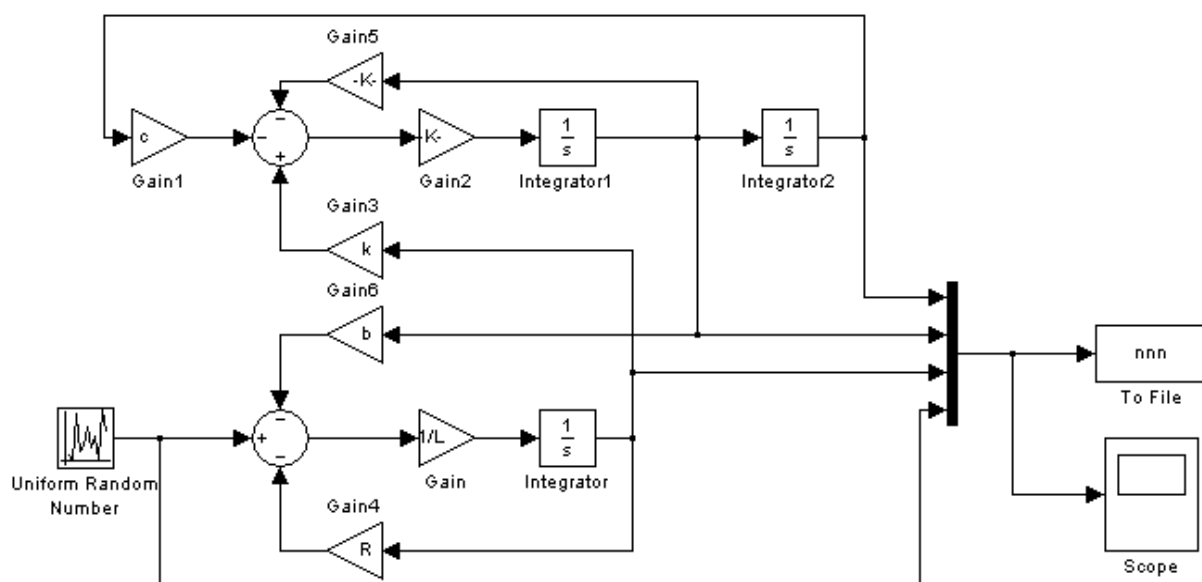
Барлық қозғалғыш және тоқөткізгіш бөлшектер жанасудан 4 пен 16 қалпақтарымен қорғалған. 4 жоғарғы қалпақтың қуысы резіңке мембранамен жабылған, ол магнит өткізгіш қорабының ішкі көлемі мен дірілдеуші катушка қуысын темір қалдықтарынан, бөтен заттар мен шаңнан қорғайды. Екі қысқыш тетікшелері 11 үстелдің көлбеу орналасуын 0 мен 90^0 аралығында қамтамасыз етіп, бекітеді.

Максимальды күшпен ұзақ жұмыс істеу барысында катушканы ауамен суыту мүмкіндігі қарастырылған. Ол үшін фильтрі бар, 12 штуцерге шаңсорғыш немесе центрге тартқыш вентиляторын қосу қарастырылған не центрдегі пневможүйелерге құрғақ, тазартылған, қысылған ауа жүргізіледі [20, 96 б.].

Электрлік өлшемдер (I ток, U катушка кернеуі) келесі теңдеулер жүйесіндегі механикалық өлшемдермен (қозғалмалы жүйенің V_m жылдамдығы мен вибратор қорабының V_M жылдамдығы) байланысты[29]:

$$\begin{cases} U = Z_{эл} \cdot I + \theta (V_m - V_M), \\ Z_M V_M + Z^H (V_m - V_M) + \theta I = 0, \\ Z_M V_M + Z^H (V_m - V_M) - \theta I = Z^H V_m \end{cases} \quad (3)$$

мұндағы $\theta = B \cdot l$ -электромеханикалық байланыс (B қуыстағы индукция, l өткізгіштің ұзындығы), $Z_m = j \cdot \omega \cdot m$, $Z_M = j \cdot \omega \cdot M$, $Z^H = K^H (1 + i \cdot \lambda^H) / j \cdot \omega$ -серпімді тоқтатқыш пен қораптың, қозғалмалы жүйенің механикалық кедергісі, $Z_{эл} = r + j \cdot \omega \cdot L$ -орамның электрлік кедергісі (мұндағы λ^H жоғалту коэффициенті), Z^H -сынаушы объектінің кіріс кедергісі (жүктеме), U , I , V -комплекстік амплитудалар.



7 сурет - Электродинамикалық вибратор моделі

$M \rightarrow \infty$ кезде, бірінші және үшінші теңдеулер (3)- жүйесіндегі электромеханикалық түрлендіргіш теңдеумен сәйкес келеді.

$i = I_0 \cdot e^{j\omega t}$, $I_0 = \text{const}$, берілген ток режимінде вибратор жұмыс істеу мүмкін немесе $U = U_0 \cdot e^{j\omega t}$, $U_0 = \text{const}$ берілген кернеу режимінде.

$$\begin{cases} RI + a\omega = LU, \\ \beta\omega + c\varphi = KI. \end{cases} \quad (4)$$

(4) теңдеулер жүйесі негізінде MatLab-та электродинамикалық вибратордың моделі жасалынған (7- сурет)[30].

2.2 Электродинамикалық вибростенд моделін параметрлік идентификациялау

2.2.1 Модельдің түрі мен идентификация әдісін таңдау

Адамзат өзінің күнделікті тәжірбиесінде әртүрлі модельдерді кең пайдаланады, олар объектер мен жүйелерде болатын құбылыстардың механизімін оқып, талдау үшін, не олардың функционалдығын болжау үшін пайдаланылады. Осылайша, басқару теориясы облысында объектінің басқарудың математикалық моделі кең таралды, олар тек талдау үшін емес, сонымен қатар реттеуші жүйе синтезі үшін де пайдаланылады. «Басқару объектісі» түсінігін қарастырайық. Әдетте, басқару объектісі ретінде бізді қоршаған орта бөлігін қарастырамыз. Бізді оның іс әрекеті қызықтырады, осы іс әрекетке белгілі бір бағытта әсер ету, яғни оны басқару қызықтырады. Әртүрлі объектілерді басқарумен жұмысты жеңілдету үшін оларды топтарға бөледі:

- статикалық объектілер;

- динамикалық объектілер;
- сызықты объектілер;
- сызықты емес объектілер;
- дискретті объектілер;
- үзіліссіз объектілер;
- стационарлы емес объектілер;
- көзделген параметрлері бар объектілер;
- таратылған параметрлері бар объектілер және т.б.

Модель ретінде әдетте объектінің ең елеулі сипаттамалары туралы қандай да бір формадағы өрнекті қарастырамыз. Берілген ақпараттың берілу тәсіліне қарай модельдің келесі түрлерін көрсетуге болады:

- сөздік немесе вербальды модель;
- физикалық модель (шын өмірдегі объектілердің кішірейтілген көшірмесі, кейде басқа физикалық табиғаттан, ол зертеліп отырған объектінің процесстерін имитациялауға мүмкіндік береді);
- математикалық модель (зерттеліп отырған объект немесе жүйе туралы ақпаратты математикалық терминдер түрінде беру).

Өз кезегінде математикалық модельдер келесідей бөлінеді:

- графикалық;
- кестелік;
- алгоритмдік;
- аналитикалық.

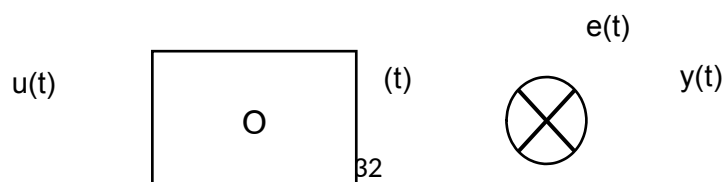
Жеке жағдайда, аналитикалық модельдер объектінің айнымалылардың бір бірімен өзара байланыстарын көрсететін математикалық формулалар немесе осындай формулалар группасы түрінде келтірілген.

Модельдеу негізгі екі қасиетке негізделген:

- табиғаттың фундаментальды заңдарының санын тәжірбиелік шектеу принципіне;
- физикалық табиғаты әртүрлі құбылыстар бірдей математикалық тәуелділікпен берілуі, ұқсастық принципі деп аталады;

Модельді құру процедурасын идентификация деп атау қабылданған және ол әдетте динамикалық объектінің аналитикалық математикалық моделін құру кезінде қолданылады.

Динамикалық объект, бұл шығысы кіріс сигналдарының аралық өлшемдеріне ғана тәуелді емес, сонымен қатар өткен уақыт моментінің өлшемдеріне тәуелді. 6 суретте көрсетілгендей түрде идентификацияланатын объекті келтіру қалыптасқан, мұндағы t - уақыт; $u(t)$ - бақыланатын (кейде басқарылатын) кіріс сигналы; $\hat{y}(t)$ - объектінің теориялық шығысы; $y(t)$ - объектінің бақыланатын шығысы; $e(t)$ - ескерілмейтін факторлар іс әрекетін көрсететін (бақылау шуы), аддитивті кездейсоқ кедергі.



8 сурет - О идентификацияланатын объектінің жалпы көрінісі

Әдетте кіріс және «теориялық» шығыс сигналдарының арасындағы байланыс қандай да бір Ψ (қандай да бір функцияны басқа функцияға түрлендіру ереже операторы түрінде беріледі[45]:

$$\hat{y}(t) = \Psi[u(t)], \quad (5)$$

сондай-ақ объектінің бақыланатын шығысы келесі қатынаспен сипатталуы мүмкін:

$$y(t) = \Psi[u(t)] + e(t). \quad (6)$$

Идентификациялау мақсаты: $u(t)$ кіріс және $y(t)$ шығыс сигналдарын бақылау негізінде, қандай да бір уақыт интервалында кіріс және «теориялық» шығыс сигналдарын байланыстыратын оператор түрін анықтау.

Динамикалық объектілер гені деп олардың математикалық модельдерінің параметрлері мен құрылымдарын анықтайтын процедураларды айтады, олар әдетте объектінің бірдей кіріс сигналдары мен модельдері кезінде, қандай да бір сапа критерийі бар болған жағдайда, модельдің шығысы мен объектінің шығысын жақындатуды қамтамасыз етеді.

Әдетте идентификация — көпсатылы процедура. Оның негізгі сатылары келесідей:

1. Құрылымдық идентификация теориялық ойларға негізделген математикалық модельдердің құрылымын анықтайды.
2. Параметрлік идентификацияға идентификациялық тәжірибие жүргізу жатады және тәжірибиелік деректер негізінде модельдің параметрлерін бағалауды анықтайды.
3. Барабарлыққа (adequacy) тексеру — объекті мен модельдің шығыстарының жақындық критерийін таңдау негізіндегі модельдің сапасын тексеру.

Объект модельдерінің түрлері

Іс жүзінде көптеген үзіліссіз сигналдарды өлшеу дискретті уақыт моментінде жүргізіледі, бұл өз кезегінде компьютерде деректерді өңдеу үшін белгілі жеңілдіктер береді.

Осы жағдайды ескере отырып және үзіліссіз уақыттай (берілген жағдайда $t = 0, 1, 2, \dots$) уақыттын дискретті моменттерін t символымен белгілей отырып, бақылау шуылының іс әрекетін ескеретін, уақытша облыс үшін бірнеше кең таралған дискретті объектілер моделін көрсетейік.

1. Авторегрессия моделі AR (AutoRegressive) — ең қарапайым сипаттама болып саналады:

$$A(z) \cdot y(t) = e(t), \quad (7)$$

мұндағы

$$A(z) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{na} z^{-na} \quad (8)$$

2. ARX- моделі (AutoRegressive with external input) — қиынырақ:

$$A(z) \cdot y(t) = B(z) \cdot u(t) + e(t) \quad (9)$$

немесе ашып жазатын болсақ,

$$b_1 u(t) + b_2 u(t-1) + \dots + b_{nb} u(t-nb) + e(t). \quad (10)$$

мұндағы және төмендегі $e(t)$ — дискретті ақ шуыл,

$$B(z) = b_1 + b_2 z^{-1} + b_3 z^{-2} + \dots + b_{nb} z^{-nb+1}. \quad (11)$$

3. ARMAX-моделі (Autoregressive-Moving Average with external input - жылжымалы ортаның авторегрессия моделі):

$$A(z) \cdot y(t) = B(z) \cdot u(t-nk) + C(z) \cdot e(t), \quad (12)$$

мұндағы nk - кешігу өлшемі (кешіктіру),

$$C(z) = c_1 + c_2 z^{-1} + c_3 z^{-2} + \dots + c_{nc} z^{-nc}. \quad (13)$$

4. «Кіріс- шығыс» моделі (ағылшын дереккөздерінде мұндай модельді «Output-Error» деп атайды, яғни «шығыс-қате», қысқаша ШҚ):

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)} u(t-nk) + e(t), \quad (14)$$

мұндағы

$$F(z) = f_1 + f_2 z^{-1} + f_3 z^{-2} + \dots + f_{nf} z^{-nf}. \quad (15)$$

5. Бокса—Дженкинс (BJ) моделі деп аталатын:

$$y(t) = \frac{B(z)}{F(z)} u(t-nk) + \frac{C(z)}{D(z)} e(t), \quad (16)$$

ертерек анықталған $B(z)$, $F(z)$, $C(z)$ полиномдар,

$$D(z)=d_1+d_2z^{-1}+d_3z^{-2}+...+d_{nd}z^{-nd}.(17)$$

Берілген модельдерді жалпы параметрлік сызықты құрылымның жеке жағдайы ретінде қарастыруға болады:

$$A(z)y(t)=\frac{B(z)}{F(z)}u(t-nk)+\frac{C(z)}{D(z)}e(t),(18)$$

Сонымен қатар олар көп өлшемді объектілер үшін кеңейтулерге рұқсат береді (бірнеше кірістері мен шығыстары бар).

Бағалау әдістері

Берілген құрылымның моделінің параметрлерін жалпы жағдайда бағалау жүргізіледі, айтқандай, модельді сапа критерийін таңдауды минимизациялау жолымен (жиі кездесетіні объектінің шығысының ауытқуларының орташа квадраты және оның анықталған модельдері).

Осындай бағалаудың бірнеше мүмкін болатын жолдарын қарастырайық.

Параметрлік модельдерді бағалау

Параметрлік модельдерді бағалау (қате болжау әдісі Predictive Error Method, қысқаша PEM) келесі түрде жүргізіледі. Зерттеліп отырған объектінің моделі жалпы сызықты модель деп аталатын түрде берілсін:

$$y(t)=W(z)u(t)+v(t),(19)$$

Бұл кезде $v(t)$ шуылы келесідей беріледі

$$v(t)=H(z)e(t), \tag{20}$$

мұндағы $e(t)$ - дискретті ақ шуыл, $H(z)$ - z тен шыққан қандайда бір полином.

Берілген өрнектерден алатынымыз:

$$e(t)=H'(z)[y(t)-W(z)u(t)]. \tag{21}$$

Сапа критерийін (жоғалту функциясы) таңдау кезінде келесіні аламыз:

$$V_N(W,H)=\sum_{i=1}^N e^2(t). \tag{22}$$

Модельдің полиномдарының коэффициенттерін бағалау келесі оңтайландыру есептерін шешу нәтижесінде табылуы мүмкін (жалпы жағдайда сызықты емес):

$$[\hat{W}, \hat{H}] = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^N e^2(t). \quad (23)$$

Мұндай шешімді (әр түрлі сызықты емес оптимизация сандық әдістерімен) табу, әдетте өте ауыр және қиын.

Ескере кету керек, тура сол сияқты айнымалы күй үшін параметрлік модельдерді бағалау процедуралары одан қиын болып табылады. Бірақ, көптеген жеке модельдер қатарлары үшін бағалау әдістерінің қарапайым түрлері де болады.

Импульсты сипаттамаларды бағалау

Айталық, зерттеліп отырған (дискретті) объектінің кіріс сигналдарының математикалық күтілімі (математическое ожидание) нөлге тең және дискретті ақ шуыл болсын, яғни автокорреляциялық функциясы (АКФ) бар:

$$R_u(\tau) = E[u(t+\tau)u(t)] = \begin{cases} \lambda, & \text{егер } \tau=0 \\ 0, & \text{онда} \end{cases}, \quad (24)$$

мұндағы $E\{\bullet\}$ — математикалық күтілім операторы, $\lambda = \text{const}$ — сигнал интенсивтілігі ($\lambda, > 0$), және корреляциялық емес бақылау шуылы (сондықтан кез келген t мен τ үшін $E\{e(t+\tau)u(t)\} = 0$).

Онда орнықталған режим үшін, дискреттік аналогтарынан шығатын бұру теңдеулерін келесі түрде жазамыз:

$$y(t) = \sum_{i=0}^{\infty} \omega(i) u(t-i) + e(t), \quad (25)$$

аламыз:

$$R_u(\tau) = E[y(t+\tau)u(t)], \quad (26)$$

$$R_u(\tau) = E\left[\sum_{i=0}^{\infty} \omega(i) u(t+\tau-i)\right] + E[e(t+\tau)u(t)], \quad (27)$$

$$R_u(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} \omega(i) E[u(t+\tau-i)u(t)], \quad (28)$$

$$R_u(\tau) = \sum_{i=0}^{\infty} \omega(i) R_u(\tau-i), \quad (29)$$

Белгілен болжалмалы АКФ түріндегі кіріс сигналдары және қосындыда нөлге тең емес $\tau=i$ сәйкес келетін қосылғыш қана, сондықтан соңында келесі аламыз:

$$R_{yu}(\tau)=\lambda\omega(\tau), \quad (30)$$

мұндағы $R_{yu}(\tau)$ – шығыс және кіріс сигналдарының өзара корреляциялық функциясы (ӨКФ).

Осыдан оларды тәжірбиелік деректер бойынша бағалауға келеміз:

$$\hat{\omega}(t)=\frac{1}{\lambda N}\sum_{i=1}^N y(t+\tau)u(t), (31)$$

мұндағы оң жақтағы қосынды көпмүшелік дәлдікке дейін $\{y(t)\}, \{u(t)\}, t= 1, 2, \dots, N$ таңдауларда ізделінетін $y(t)$ және $u(t)$ сигналдарының өзара корреляциялық функцияларының бағасы.

$u(i)$ кіріс сигналы ақ шуыл емес, кездейсоқ процесс болған жағдайда келтірілген $w(t)$ бағалау әдісін пайдалану мүмкін, егерде $u(t)$ ақ шуыл іспеттес сигналын $\Phi(\tau)$ (әктеу фильтірі) арнайы қалыптастыру фильтрі көмегімен алдын ала түрлендірсе (жуықтап болсын).

$$u_{\Phi}(t)=\Phi(z)u(t). (32)$$

Осылайша $y(t)$ түрлендіріп алып, $\hat{\omega}(t)$ бағалауын табу үшін жоғарыда берілген формуланы ($\{y_{\Phi}(t)\}, \{u_{\Phi}(t)\}$) таңдауларын қолдана отырып) пайлануға болады.

Ескере кету керек, қарастырылған процедура корреляциялық талдау әдісіне жатады.

Жиілік сипаттамалар мен спектрлерді бағалау

Берілген жағдайда (дискретті) объект модельдерді параметрлік бағалау кезіндегідей беріледі, ал кіріс сигналы математикалық күтілімі нөлге тең, $S_u(\omega)$ спектральды тығыздықпен, берілген жағдайда $S_v(\omega)$ спектральды тығыздығы бар, $v(t)$ корреляциясы жоқ бақылау шуылымен кездейсоқ процесс болып болжалады.

Берілген модель үшін сигналдардың спектрлерінің өзара байланыстары келесі белгілі қатынаспен анықталады:

$$S_y(\omega)=|W(e^{j\omega T})|^2 S_u(\omega)+S_v(\omega), (33)$$

$$S_{yu}(\omega)=W(e^{j\omega T}) S_u(\omega), (34)$$

мұндағы $S_{yu}(\omega)$ — $y(t)$ және $u(t)$ сигналдарының өзара спектральдық тығыздық, оны объектінің $W(e^{j\omega T})$ комплексті беру коэффициенті мен $S_v(\omega)$ спектр шуылының бағалауын табу үшін қолдануға болады.

Бағалау әдісі келесідей:

1. Ең алдымен тәжірбие деректеріне сүйене отырып авто- және өзара корреляциялық функцияларды анықтаймыз:

$$\hat{R}_u(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u(t+\tau)u(t), (35)$$

$$\hat{R}_y(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(t+\tau)y(t), (36)$$

$$\hat{R}_{yu}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(t+\tau)u(t). (37)$$

2. Содан спектральды сипаттамалар бағасын анықтаймыз:

$$\hat{S}_u(\omega) = \sum_{-\tau=-M}^M \hat{R}_u(\tau)g_M(\tau)e^{-j\omega\tau}, (38)$$

$$\hat{S}_y(\omega) = \sum_{-\tau=-M}^M \hat{R}_y(\tau)g_M(\tau)e^{-j\omega\tau}, (39)$$

$$\hat{S}_{yu}(\omega) = \sum_{-\tau=-M}^M \hat{R}_{yu}(\tau)g_M(\tau)e^{-j\omega\tau}, (40)$$

мұндағы $g_M(\tau)$ — уақытша терезе деп аталады, ал M — оның ені.

3. Соңында бізге керек бағалаулар келесі қатынастармен анықталады:

$$\hat{W}_N(e^{j\omega T}) = \frac{\hat{S}_{yu}(j\omega)}{\hat{S}_u(\omega)}, (41)$$

$$\hat{S}_y(\omega) = \hat{S}_y(\omega) - \frac{|\hat{S}_{yu}(j\omega)|^2}{\hat{S}_u(\omega)}, (42)$$

Келтірілген процедура спектральды талдау әдісіне жатады.

System Identification Toolbox (немесе System Identification) пакеті бақыланатын кіріс/шығыс мәліметтер негізінде сызықты динамикалық объектілердің (жүйелер) математикалық моделін құруға арналған құралдарды қамтиды. Ол модель құру мен мәліметтерді ұйымдастыруға арналған ыңғайлы графикалық интерфейсті көрсетеді. Пакетке кіретін идентификация әдістері –

басқару жүйелерін жобалау мен сигналдарды өңдеуден бастап уақытша қатарларға талдауға дейінгі есептерді шешуде қолданылады. Пакеттің негізгі қасиеттері мыналар:

- карапайым әрі икемді интерфейс;
- сүзгілеуді қоса алғанда мәліметтерді алдын ала өңдеу, трендтер мен ығысуды жою;
- талдау жасау үшін мәліметтердің мөлшерін таңдау;
- авторегрессияның тиімді әдістері;
- уақытша және жиіліктік аймақтарда жүйенің жауап беруіне талдау жасау мүмкіндіктері;
- жүйенің функциясының берілу полюстері мен нөлдерін бейнелеу;
- модельді тестілеу кезіндегі үйлеспеушілікке талдау жасау.

Пакеттің графикалық интерфейсі мәліметтерді алдын ала өңдеу сияқты, модель идентификациясының диалогты процесін жеңілдетеді. Жүктеме операциялары мен мәліметтерді сақтау, олардың ауқымын таңдау, трендтер мен ығысуларды шығару аз күш жұмсау арқылы орындалады және басты мәзірден (Main menu) қолжетімді болады.

Мәліметтерді беру мен жүйенің моделі мен объектілері пайдаланушы интерактивті идентификациялау процесінде жұмыстың алдыңғы кезеңіне қайтадан оңай келе алады. Жаңадан бастаған пайдаланушылар үшін келесі кезеңдерді қарастыру мүмкіндігі бар. Маманға графиктік құралдар бұрын алынған модельдердің кез келгенін іздеуге, басқа модельдермен салыстырғанда оның сапасына баға беруге мүмкіндік береді. Пакет берілу функциясын, айнымалы күйді сипаттау (үзіліссіз уақыттағыдай дискретті уақыт үшін) мен басқа да еркін кіріс және шығыс сандары үшін әдеттегі модельдердің барлық түрлерін қолдайды.

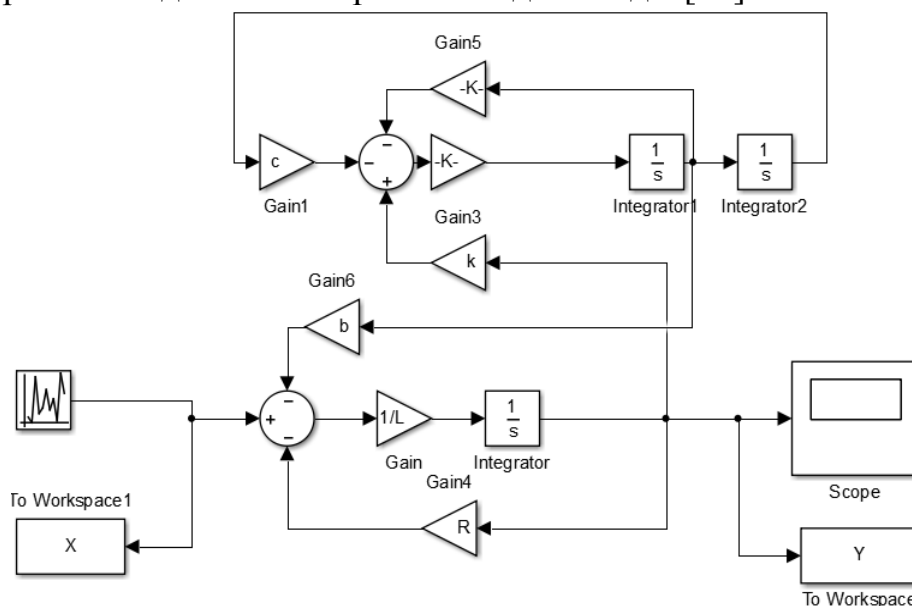
Қарастырылып отырған модельде матрицалық көрсетудің үш түрі: біріншісі (уақытша модельдер үшін) – тета-формат деп аталады, екіншісі (жиіліктік сипаттамалар үшін) – жиіліктік формат, ал үшіншісі – нөлдер мен полюстер форматын пайдаланылады. Модельдердің барабарлығы (адекватность) қателер квадратының қалдық қосындысы – жоғалту функциясы (Loss function)-теориялық ақпараттық критерий деп аталатын (Akaike's Information Theoretic Criterion - AIC) критерийлерді пайдалану арқылы жасалады [31].

2.2.2. Вибростендтің математикалық моделін идентификациялау үшін System Identification Toolbox графикалық интерфейсін пайдалану

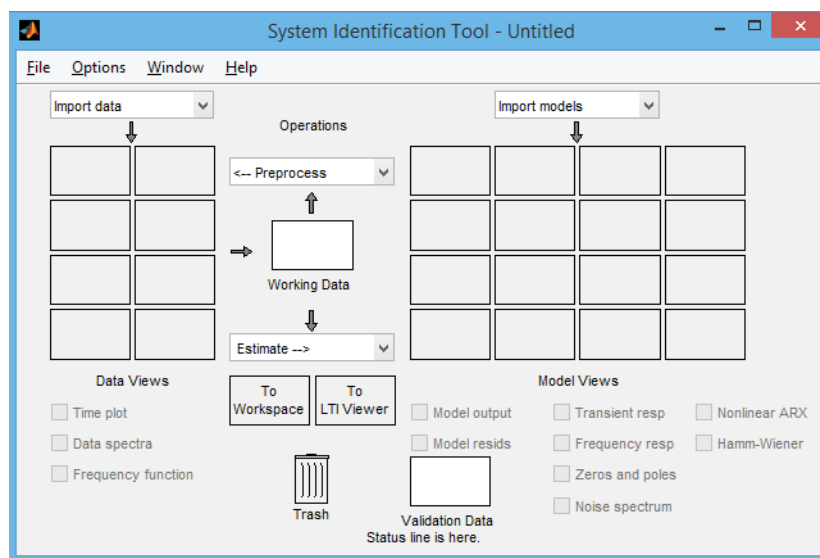
Модельдің параметрлерін идентификациялау (сәйкестендіру) үшін сәйкестендіру объектісінің кірісіне кең спектрлі сигнал беріп және объектінің кірісі мен шығысындағы мәліметтерді тұрақтандыру қажет. 9 суретте жүйенің кіріс және шығыс сигналдарының жазбасы көрсетілген.

Кіріс пен шығыстан сигналдар алынған соң, идентификация процесіне көшеміз. System Identification пакетінің графикалық интерфейсі командалық

қатар режимінде ident командасымен беріледі. Оның орындалу нәтижесінде 10 суретте көрсетілген диалогты терезесі пайда болады [32].



9 сурет - жүйенің кіріс және шығыс сигналдарының жазбасы

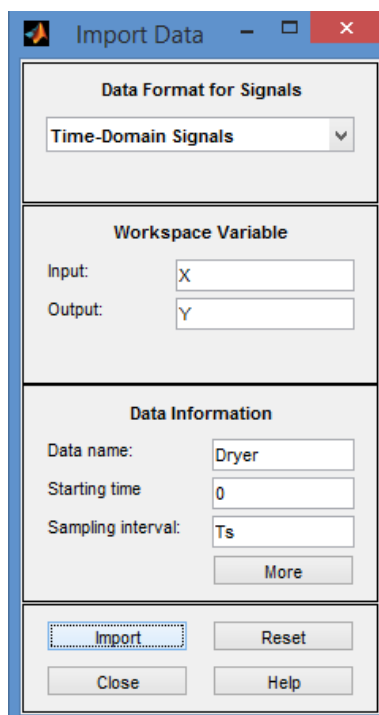


10 сурет- System Identification Toolbox графикалық интерфейсінің сұқбат терезесі

Терезенің сол жақ жоғарғы бұрышында ашылған тізімнен Import нұсқасынан Data (Деректер)-ді таңдаймыз. Бұл 11 суреттен диалогты терезенің ашылғанын көреміз.

Оған Input (Кіріс) деген жерде X аты, Output (Шығыс)-та Y-ті, Sampling деген жерге interval сөзін енгіземіз. (Дискреттеу интервалында) Ts дискреттеу интервалын, Data name қатарында (Деректердің атын) өз бетінше аттарды көрсетеміз, мысалы Druer деп жазамыз. Сосын Import батырмасын басамыз. Әрі

карай Close (Жабу) батырмасын басу арқылы деректерді импорттауды жабамыз. Көрсетілген әрекеттер «Dryer» жазбасымен берілген түрлі түсті сызық түріндегі белгі интерфейс терезесінің сол жақ жоғарғы бұрышында пайда болады. Бұл импортталатын деректер интерфейс ортасына енгізілуіне алып келеді. Бұл деректер жайында хабар Working Data (Жұмыс деректері) мен Validation Data (Модельді тексеруге арналған деректер) белгісімен пайда болады. Ағымдағы деректерді тексереміз, ол үшін интерфейс терезесінің сол жақ төменгі бөлігінде Time plot (Уақытша график) белгісін орнатамыз. Бірден $X(t)$ және $Y(t)$ сигналдар графигін қамтитын графиктік терезе пайда болады (12 сурет) - Output №1 (Шығыс №1) жазбасы бұл жағдайда $Y(t)$ -ға, ал Input № 1 (Кіріс №1) жазбасы бар график $X(t)$ -ға қатысты болады.

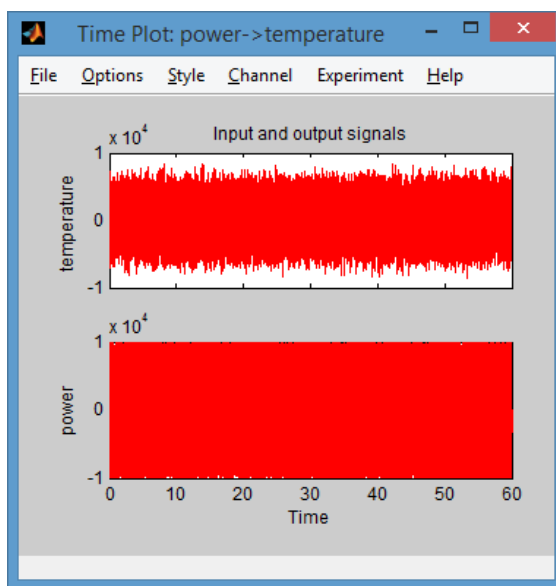


11 сурет- Мәліметтерді импорттаудың диалогты терезесі

Графикті жақсырақ көріну үшін бізді қызықтыратын жерлерін үлкейтіп қоюға болады – ол үшін тышқанмен бірнеше тіктөртбұрыш аймақтарды бөліп алу қажет. Сигналдың бөлінген жері барлық сәйкес терезені алып тұратындай өлшемге үлкейтіледі. Бұрынғы өлшемге қайта келу үшін үлкейтілген графикке екі рет басу керек. График масштабын өзгерту үшін график аймағында тышқанды бір рет басу керек: сол жақ батырманы-бейнені үлкейту үшін, оң жағын – оны кішірейту үшін (масштабты бұлай өзгерту Style (Стиль) менюінде Timerplot терезесінде Zoom нұсқасы таңдалған жағдайда) жүргізіледі.

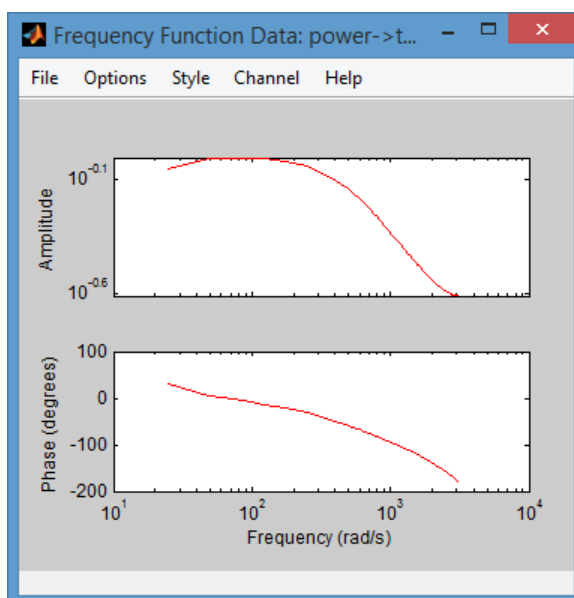
Келесі түрдегі модельге – объектінің жиіліктік сипаттамасына баға береміз. Estimate тізімінен Spectralmodel нұсқасын таңдаймыз және модельді бағалауды табуға байланысты операцияны қайталаймыз. Нәтижесінде интерфейстің басты терезесінде (оның оң жақ бөлігінде - ModelViews) тағы бір

спектральды әдіспен табылған жиіліктік сипаттама түріндегі модельді көрсететін *spad* атты бір белгі пайда болады.



12 сурет- $X(t)$ мен $Y(t)$ сигналдардың уақытша диаграммасы

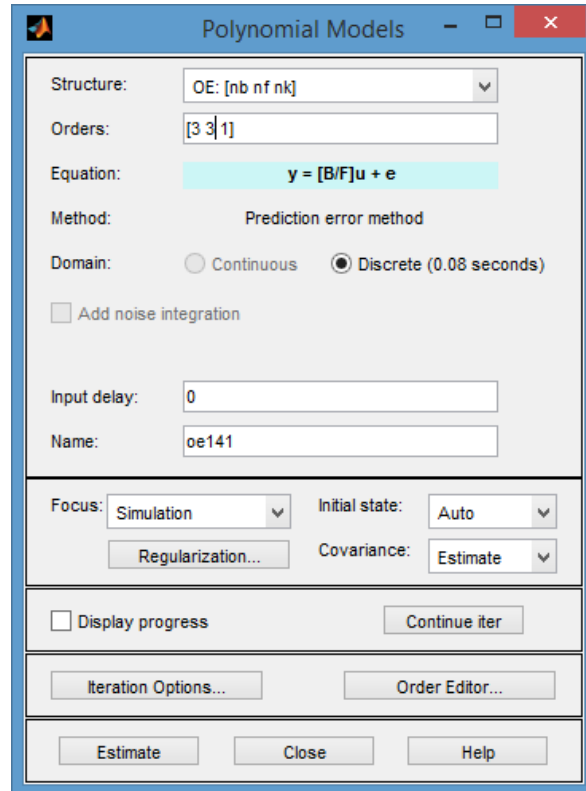
Нәтижелер 13 суретте көрсетілген (frequencyresponse – жиіліктік сипаттама) Frequencyresponse графигтік терезесін активациялауда көрсетіледі.



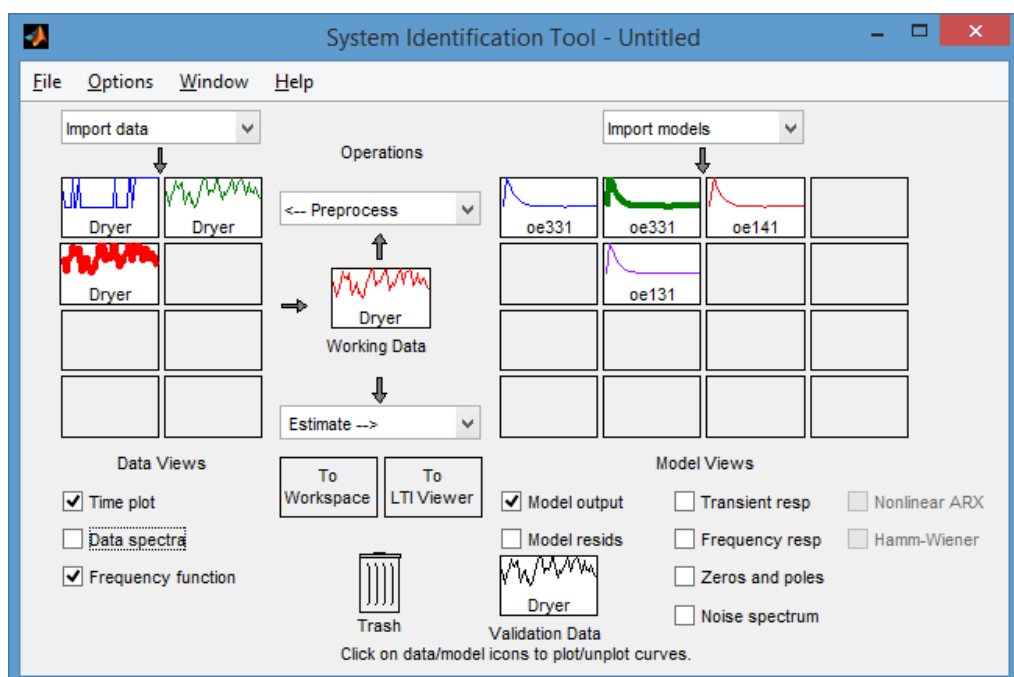
13 сурет – Спектральды әдіспен табылған жиіліктік сипаттамалар

Estimate тізімінен Parametric Models нұсқасын таңдай отырып, параметрлік модельдерді бағлауға көшеміз. Бұл таңдау 14 суреттегі модельдің құрылымын беретін диалогты терезе ашылады. Пайдаланушының үнсіз келісімі бойынша $n_a = 4$, $n_b = 4$, $n_k = 1$ параметрлері бар ARX типіндегі модель ұсынылады. Берілген мәндермен келісуге және келіспеуге да болады. Соңғы

жағдайда параметрлерді тікелей қатарда немесе сәйкес батырма арқылы іске асырылатын (Order editor) моделінің редакторының көмегімен өзгертуге болады. Ашылған тізімнен терезенің жоғарғы жағынан (ARX, ARMAX, OE, BJ, StateSpace типіндегі модельдер мен пайдаланушы таңдаған модель) басқа параметрлік модельді таңдауға болады.



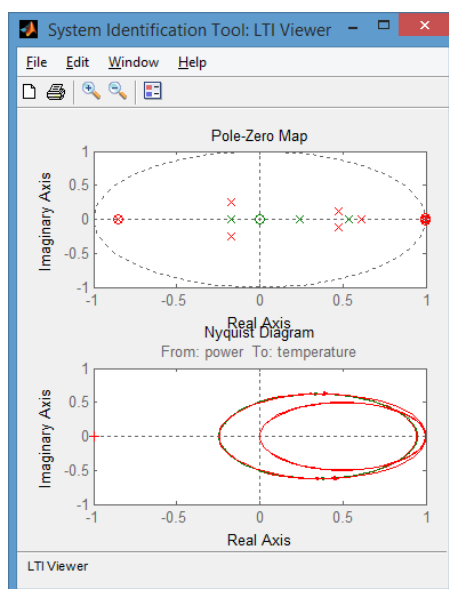
14 сурет - модельдің құрылымын берудің диалогты терезесі



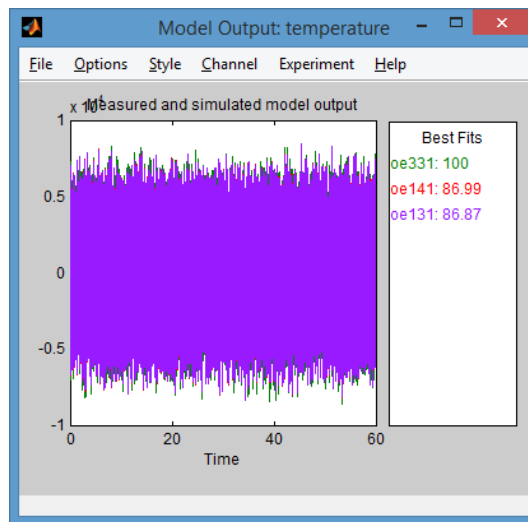
15 сурет – ОЕ-моделін құру және бағалау операциясы терезесі

Үнсіз келісім бойынша (ОЕ 3,3,1) мәндерін сақтаймыз және Estimate (Бағалау) батырмасын басамыз. Әрекеттің нәтижесі oe331 деген атпен көрсетілген модельдің белгісі пайда болуынан көрінеді. (Ordereditor) моделінің мүмкіндіктерін әрі қарай пайдаланып, $n_a = 1$, $n_b = 3$, $n_k = 1$ параметрлерімен ОЕ-моделін құрамыз және бағалау операциясын қайталаймыз. Осыдан кейін тағы да *oe131* атты модельдің белгісі пайда болады (15 сурет).

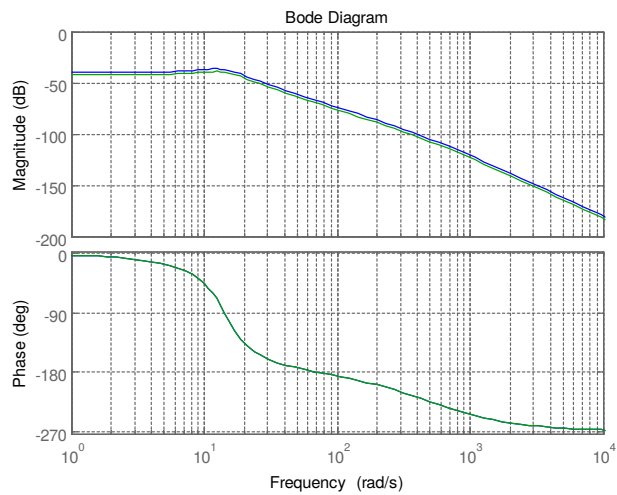
Алынған модельдерді салыстыру үшін уақытша және жиіліктік сипаттамалары мен кешенді жазықтықта нөлдер мен полюстердің орналасуын көруге болатын, LTI-Viewer блогына жібереді. Параметрлік модельдерді салыстырудың тағы бір тәсілі – ол Modeloutput (сәйкес белгі интерфейс терезесінің ортаңғы бөлігінің төменгі жағында орналасқан) графикалық терезесін активациялау жолымен жүргізіледі.



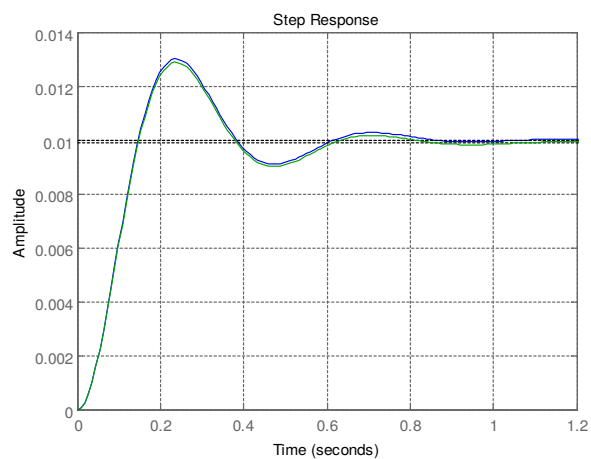
16 сурет - LTI-Viewer терезесі



17 сурет - Модельдердің шығысын салыстыру терезесі
oe331 және oe131 таңдалған модельдер үшін Modeloutput терезесінің түрі 17 суретте келтірілген.



18 сурет



19 сурет

Толық сай келетін модельді таңдап, оны Matlab программасының айнымалылар аймағына жіберуге болады. Берілетін функциясы бар модельдің параметрлік идентификациясы нәтижесінде төмендегі [33]:

$$W_i(s) = \frac{1000s}{(s+500)(s^2+10,2s+204,2)} ; \quad (43)$$

берілу функциясы алынды:

$$W_i(s) = \frac{1000s}{(s+499)(s^2+10,4s+187)} . \quad (44)$$

18 суретте объектінің сызықты амплитудалық сипаттамасының (ОАС) идентификациясы мен моделі, ал 19 суретте ауыспалы сипаттамалар жасалды.

2.3 ACOR процедурасын пайдалану арқылы басқару жүйесін синтездеу

2.3.1. Басқару жүйелерін жобалаудың есептерінің қойылымы

Басқару жүйесін құрастыру міндетін басқару жүйесін синтездеу әдістерін пайдаланып шешуге болады. Басқару мен реттеу жүйелері синтездеудің барлық әдістерін шартты түрде екі топқа бөледі: параметрлік синтездеу мен функционалдық синтездеу әдістеріне [34].

Әдістердің бірінші тобын пайдаланған кезде басқару және реттеу заңы алдын ала беріледі, ал синтез есебі басқару заңының параметрлерінің таңдалған критерийлерінің оптимальды түрін таңдау. Бұл түрге ең алдымен кеңейтілген жиіліктік сипаттамалар әдісін, координатаның бағынышты реттеу арқылы тізбекті түзету әдісін, модальды басқару әдісін, түбірлік әдісті, түбірлік годографтар әдісін, стандартты ауыспалы сипаттамалар әдісін, логарифмдік амплитудалық сипаттамалар әдісін, сапаның жиіліктік критерийі негізінде синтездеу әдісін жатқызамыз. Әдістердің екінші тобына оңтайлы басқару теориясын пайдалануға негізделген синтездеудің тиімді әдістері кіреді. Қазіргі кезде бұл әдістер кең таралған және келесі кезеңдерден тұрады:

- оңтайланған процестердің математикалық моделін құрастыру;
- оңтайлану критерийлерін таңдау;
- оңтайлану әдісін таңдау;
- оңтайлану есебін шешу.

Оны шешу күрделілігі біріншіден, толық емес және жүйенің математикалық сипатына жақын болады, сондықтан оңтайландырылған есептерді жуық математикалық модель бойынша кешенді шешу кезінде нәтижелер оңтайлы болмауы да мүмкін. Екіншіден, күрделі жүйелер үшін қазіргі кезде меңгерілген көп критерийлі оңтайлау теориясына байланысты оңтайлы критерийді таңдауда қиындықтар туындайды. Осыдан кез келген әдіс негізінде критерий толық емес, ал кейде қарама-қайшы болады. Осы жағдайды

ескере отырып, жабдықтың жұмыс режимінің оңтайлы есебін шешу екі кезеңде өткізген жөн. Бірінші кезеңде оңтайландыру модельдерді бір уақытта параметрлеу мен модельдің белгісіз параметрлерін бағалау мақсатында объектіде алынған экспериментальдық мәліметтерді статикалық өңдеу арқылы объектінің статикалық сипаттамасы бойынша жүргізіледі. Бірінші кезеңде оңтайлау есебін шешу нәтижелері оңтайлы жұмыс траекториясын немесе процестің нүктесін анықтау болып табылады.

Екінші кезеңде процестің немесе жүйенің құрастырылған динамикалық моделі бойынша оны жұмыс нүктесінің аймағында немесе траекториясында сызықтандыру (линеаризация) жүргізіледі. Сосын критерийдің физикалық мағынасына ұқсас статикалық есебін оңтайлаудың (функционал) интегралды критерийі енгізіледі. Максимум принципі мен динамикалық бағдарламалау, вариациялық есептеу әдістерін пайдалана отырып, динамикалық есептердің оңтайлау шешімінің нәтижесі сияқты экстремалдар теңдеуі анықталады.

Екінші кезеңде оңтайланған есептің шешімінің нәтижесі жүйені жұмыс траекториясының немесе процесс нүктесінің аймағында ұстап тұратын оңтайлы басқару заңын табу керек. Соңғы уақытта қатты дамып кеткен тағы да үшінші басқару әдісін атап айтқан дұрыс. Бұл тақ сандар жиынынан немесе фази-басқару деп аталатын әдістерге негізделген басқару әдістері. Бұл әдістердің ерекшеліктері мынада 2.3.2 вибростендпен автоматты басқару жүйелері үшін реттегіштердің аналитикалық құрылымдалуында.

2.3.2. Оңтайлы реттегіштерді аналитикалық құрылымдау

1960 жылы ССРО ҒА-ның автоматика және телемеханика институтының қызметкері профессоры А.М. Летовтың сапаның квадратты функционалы кезінде сызықты стационарлық объектілерді оңтайлы тұрақтандыру туралы есептің аналитикалық шешімі алынған жұмысы жарық көрді. Бұл жұмыс есептің айқын көрсетілуі мен конструктивті нәтижелердің арқасында оңтайлы тұрақтандыру туралы есепті шешу кезінде максимум принципінің шеттік есептері мен динамикалық бағдарламалау әдістері шешу қиынға соғатын (сызықты үзіліссіз, дискретті, кешігетін, сызықты емес) объектілердің әртүрлі кластары үшін реттегіштердің синтезі бойынша көп мөлшердегі басылымдардың көзі болды. Бұл бағыт реттегіштердің аналитикалық құрылымдауы деп аталды. 1960 жылы шығарылған шетелдік баспаларда ол сызықты-квадратты оңтайландыру деп аталды. Америка математигі Р. Калманның жұмысында стационарлы емес, сызықты объектілер үшін оңтайлау есебі шешілді [35].

Ауытқу қозғалысы бірінші жуық теңдеуде сипатталған басқару объектісін қарастырамыз[36]:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu; x_0(t_0) = x_0; t_0 = 0 \quad (45)$$

мұндағы A және B – $n \times n$ және $n \times m$ сәйкесінше өлшемді сандардың берілген матрицасы.

Реттегіштің C ($m \times n$ өлшемді) теңдеулер санының матрицасын табу талап етіледі:

$$u = -C^T x \quad (46)$$

x_0 бастапқы еркін ауытқумен көтерілген (45), (47) жүйелердің тұрақты асимптотикалық қозғалысында келесі функционал минимизацияланады

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T N u + u^T R u) dt, \quad (47)$$

мұнда Q , R , N - реттеу сапасы мен басқару шығындары арасындағы арақатынасты анықтайтын және пайдаланушы тағайындайтын салмақтық матрицалар.

C матрицасын (47) басқару заңын кейде реттегішті күшейткіш коэффициенттер матрицасы деп те атайды.

Динамикалық бағдарламалау әдісінің негізінде оңтайлы тұрақтандыру жайлы есептерді шешуге көше отырып, $n=m=1$ жағдайымен шектелеміз. Мұнда жүйенің теңдеуі мен функционалы келесі түрде болады [37],[38]:

$$\frac{dx}{dt} = ax + bu; \quad (48)$$

$$u = cx; \quad (49)$$

$$J = \int_0^{\infty} (qx^2 + u^2) dt. \quad (50)$$

онда динамикалық бағдарламалау әдісінің теңдеуі былай жазылады:

$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = qx^2 + u^2 + \frac{\partial \vartheta}{\partial x} (ax + bu); \quad (51)$$

$$2u + \frac{\partial \vartheta}{\partial x} b = 0 \quad \text{немесе} \quad u = -\frac{1}{2} \frac{\partial \vartheta}{\partial x} b. \quad (52)$$

Соңғы теңдеудің алдыңғысы оң жақ бөліктің экстремумының қажетті жағдайын өрнектейді (44). Бұл кезде теңдеу оның минимумына жететінін тексеру қиын болмайды. Шындығында,

$$\frac{d^2 \left[qx^2 + u^2 + \frac{\partial \vartheta}{\partial x} (ax + bu) \right]}{du^2} = 2 > 0$$

(53)

Бұл минимум – жалғыз, сондықтан (53) түрдегі теңдеудің басқарылуын жүргізеді.

(52)-тен u -ды (53)-теңдеудің көмегімен алып тастап, дербес туындыда сызықты емес теңдеу аламыз[39]:

$$-\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial \vartheta}{\partial x} ax - \frac{1}{4} \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial x} b \right)^2 + qx^2.$$

(54)

Шеттік жағдайларда бұл теңдеудің шешімі

$$\vartheta[x(t_1)] = 0 \quad (t_1 \rightarrow \infty)$$

(55)

мына түрдегі теңдеуді іздейміз

$$\vartheta = px^2; p = \text{const}.$$

(56)

Бұл өрнекті (51)-дың орнына қоя отырып, келесі теңдеуді аламыз

$$0 = 2pax^2 - (pb)^2 x^2 + qx^2.$$

(57)

Бұдан (59)-ші теңдеудегі p белгісіз коэффициентін анықтау үшін алгебралық теңдеу шығатынын айту керек:

$$2pa - p^2 b^2 + q = 0.$$

(58)

Бұл теңдеудегі екі шешімнен

$$p_1 = a/b^2 + \sqrt{a^2/b^4 + q/b^2};$$

(59)

$$p_2 = a/b^2 - \sqrt{a^2/b^4 + q/b^2};$$

(60)

ϑ функциясының оң синтездеуші жүйенің асимптотикалық тұрақтылығын қамтамасыз ететін, осыған сәйкес шеттік жағдайлар орындалатын кезде, біріншісін таңдаймыз

$$\vartheta|_{x \rightarrow \infty} = 0 \quad (61)$$

осының негізінде келесі теңдеуді аламыз

$$u = (-p_1 b) x, \quad (62)$$

және осылайша, ізделіп отырған сан

$$c = -p_1 b. \quad (63)$$

қарастырылып отырған $(n=2, m=1)$ жағдайда (58), (63) теңдеулерінің реттегіштерінің аналитикалық құрылымдалуы мынадай түрде жазылады

$$PA + A^T P - PBB^T P + Q = 0; \quad (64)$$

$$C = -PB, \quad (65)$$

Осылайша, оңтайлы реттегішті аналитикалық құрастыру (ОРАҚ) (ACOR) үш операциядан тұрады:

- Сызықты емес алгебралық теңдеулер жүйесін шешу (65);
- Осы шешімдер жиынынан $P > 0$ матрицасын бөліп алу;
- Ізделініп отырған матрицаның C реттегішінің күшейту коэффициентін (65) формула бойынша есептеу.

(65) қатынаста анықтаған P матрицасы жүйенің асимптотикалық тұрақтылығын (46) қамтамасыз ететініне көз жеткіземіз.

Жүйенің тұрақтылығын зерттеу үшін:

$$\frac{dx}{dt} = (A + BC^T) x; \quad (66)$$

C матрицасы (65)-өрнекпен анықталатынын көрсетіп, P (54)-теңдеуді қанағаттандыратынын аламыз,

$$\frac{d\vartheta}{dt} = x^T [PA + A^T P - PBB^T P - PBB^T P] x = \quad (67)$$

$$=-x^T Qx - x^T P B B^T P x = -x^T Qx - u^T u < 0$$

Егер (68) объект толық басқарылса және $Q > 0$ болса, онда (62)-ші жүйе шешімдерінің ішінде жалғыз ғана анықталған P матрицасы болады. Объектінің толық басқарылу шарты (A, B) жұбын басқарылатын жағдай деп атайтын теңдеу болады

$$\text{Rang} [B, AB, \dots, A^{(n-1)} B] = n, \quad (68)$$

Егер Q матрицасы $(Q \geq 0)$ теріс-анықталған матрица болса, онда келесі түрде көрсетуге болады:

$$Q = H^T H, \quad (69)$$

мұндағы $H - x \times n$ -өлшемді матрица ($x - Q$ матрицасының рангісі) .

(59) шешімдердің ішінде егер Q (61) функционалында (A^T, H^T) жұбының толық басқарылу шартын қанағаттандыратын теріс-анықталған матрица болса, онда бұрынғыдай P матрицасы бар болады:

$$\text{Rang} [H^T, A^T H^T, \dots, A^{(n-1)T} H^T] = n. \quad (70)$$

$P > 0$ жалғыз әрі бар болуы үшін $(A, B), (A^T H^T)$ жұбының толық басқарылуын талап етуді, оны бұл жұптардың тұрақтылық шартымен алмастыру арқылы әлсіретуге болады.

Оңтайлы бақылаушы.

Оңтайлы бақылаушы теңдеуі алғаш рет оңтайлы сүзгілеу бойынша А.Н. Колмогоров пен Н. Винердің алған нәтижелерін әрі қарай дамыту болып табылатын Р. Калман мен Бьюсидің жұмыстарында алынды.

Оңтайлы бақылаудаға есептің ағымдағы берілуі келесі түрде өрнектеледі. Объектінің айнымалы жағдайларын барлығы тікелей өлшеуге мүмкін болсын және сонымен бірге өлшеулер кедергілер арқылы жүзеге асатын болсын. Бұл жағдайда басқару объектісі келесі теңдеулермен сипатталады [40]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu + Df, \\ y = Cx = v, \\ x(t_0) = x(0). \end{cases} \quad (71)$$

мұндағы теңдеуде өлшемі объект өлшемінен асып кетпейтін және өлшемділігі y айнымалысымен өлшенетін вектор өлшемділігіне тең болатын y шу векторын өлшейтін f сыртқы ауытқу векторы қосымша енгізіледі. Бұл векторлар нөлдік матрицалық күтулер мен $R_1(t)$, $R_2(t)$ ковариациялық матрицалардың «ақ шу» түріндегі тәуелсіз (корреляцияланбаған) гаусстік кездейсоқ процестері болып табылады. Бастапқы жағдайлар ауытқулар мен кедергілерге тәуелді емес, ал математикалық күтулер мен бастапқы жағдайдағы вектор дисперсиясы белгілі.

$$M[x(0)] = \bar{x}(0); \quad R(0) = M\{[x(0) - \bar{x}(0)][x(0) - \bar{x}(0)]^T\} \quad (72)$$

K матрицасы e қалпына келтіру қателігінің орташа квадратының минимум жағдайынан анықталатын толық реттік жағдайдың бақылаушысын жасау талап етіледі

$$\frac{d\hat{x}}{dt} = A\hat{x} + K[y - C\hat{x}] + Bu, \quad \hat{x}(t_0) = \hat{x}(0) \quad (73)$$

$$J = M\{e^T A e\} \quad (74)$$

мұндағы A - салмақ коэффициентінің берілген оң анықталған матрицасы.

Екі жақтылық қасиетінің негізі бұл есеп көмекші жүйелер үшін реттегішті аналитикалық құрастырудың сызықты квадратты басқару әдісімен шешуге ұқсас болады.

(72) минимальды мәнге жететін функционал кезінде (68) объектісі үшін K толық реттік бақылауды күшейту коэффициентінің матрицасы (69) келесі өрнекпен анықталады

$$K = PC^T R_2^{-1} \quad (75)$$

мұндағы P — ($n \times n$ өлшемді) сандар матрицасы Риккати алгебралық теңдеулерді шешу арқылы анықталады:

$$AP + PA^T - PC^T R_2^{-1} CP + DR_1 D^T = 0 \quad (76)$$

Бұл есептің екіжақтылық күшіне оңтайлы бақылау жасау айнымалы күй векторы жайлы толық емес ақпарат кезінде жалпы жағдайда оңтайлы стохастикалық басқару есебінің шешімі болады. Бақыланатын параметр бойынша сызықтық-квадратты реттегіштің кері байланысының

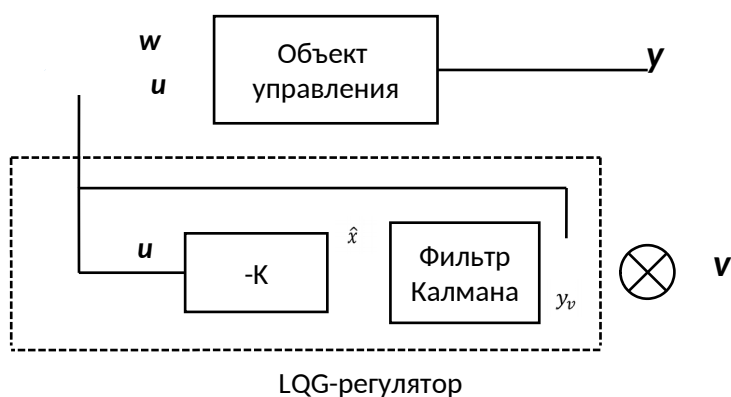
коэффициентінің матрицасын табу объектіні (68) ағымдық басқару үшін аналитикалық құрастыру процедурасымен, ал толық реттік бақылауды күшейту коэффициентін есептеу де бірақ көмекші (екіжақты) объект үшін (66) аналитикалық құрастыру процедурасымен іске асырылады.

2.3.3 Вибростендтің автоматтандырылған басқару жүйесі үшін ACOR қолдану

ACOR үздіксіз жүйелері үшін келесі бақылауды орындайды [41]:

$$u = -K \cdot \tilde{x} \quad (77)$$

мұндағы $\tilde{x}$ - Кальман сүзгісі көмегімен алынған нысанды бақылау айнымалылары векторын бағалау.

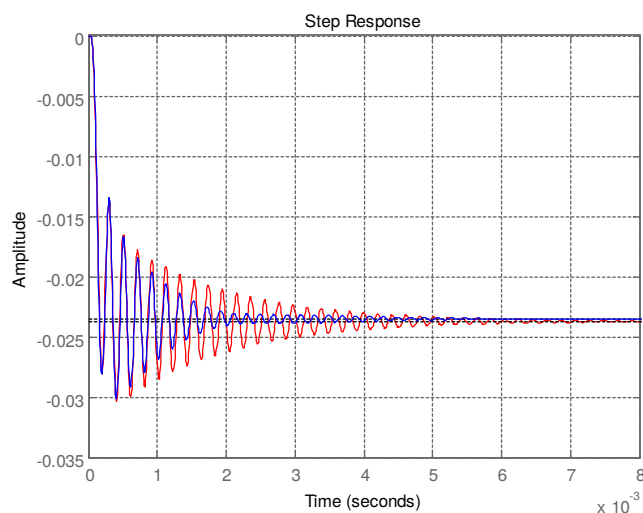


20 сурет – ACOR мен объектіні басқарудың байланысы

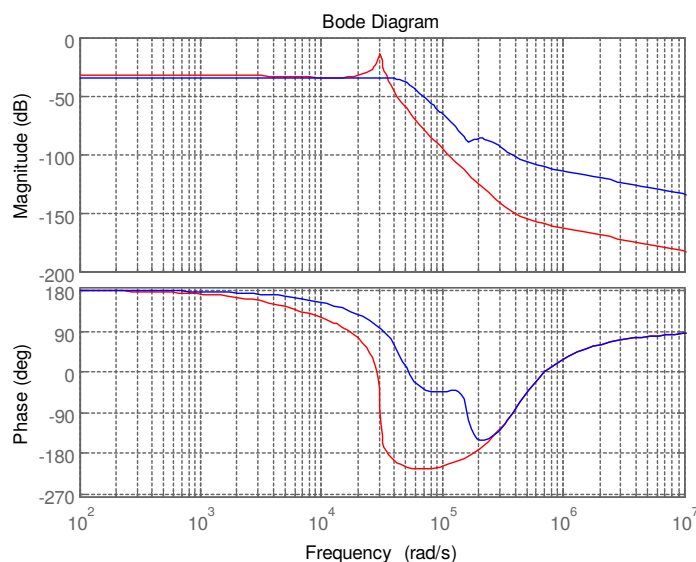
ACOR мен объектіні басқарудың байланысын көрсететін құрылымдық сызба (20 сурет).

ACOR бағдарламасының MatLab ортасында іске асуы берілген.

21 мен 22 суреттерде экспериментальді модель мен ACOR қолданылғаннан кейінгі уақыт пен жиіліктің сипаттамалары көрсетілген [42].



21 сурет - Өтпелі сипаттамалар



22 сурет – САЖС және ФЖС.

2.4 APC-басқаруы бар жүйенің SCADA-жобасын жасаудың теориялық бөлімі

Технологиялық процесстерді басқаруды жаңғырту (қысқартылған APC - Advanced Process Control) - 90-жылдардың басында пайда болған өнеркәсіптік автоматтандырудың салыстырмалы жаңа бағыты. Соңғы онжылдықта танымал болды. APC - ның негізгі идеясы технологиялық құрылғыларға қосымша элементтерді енгізу арқылы басқару жүйесін жаңғырту болып табылады [43]. Бұл элементтер технологиялық процесстер (ТП) модельне негізделген көп өлшемді болжамды басқару алгоритмдерін іске асыратын арнайы бағдарламалық жасақтама болып табылады. APC-жүйесі - бұл технологиялық қондырғы үшін «автопилот» болып табылады: ол оператордың белгілі бір

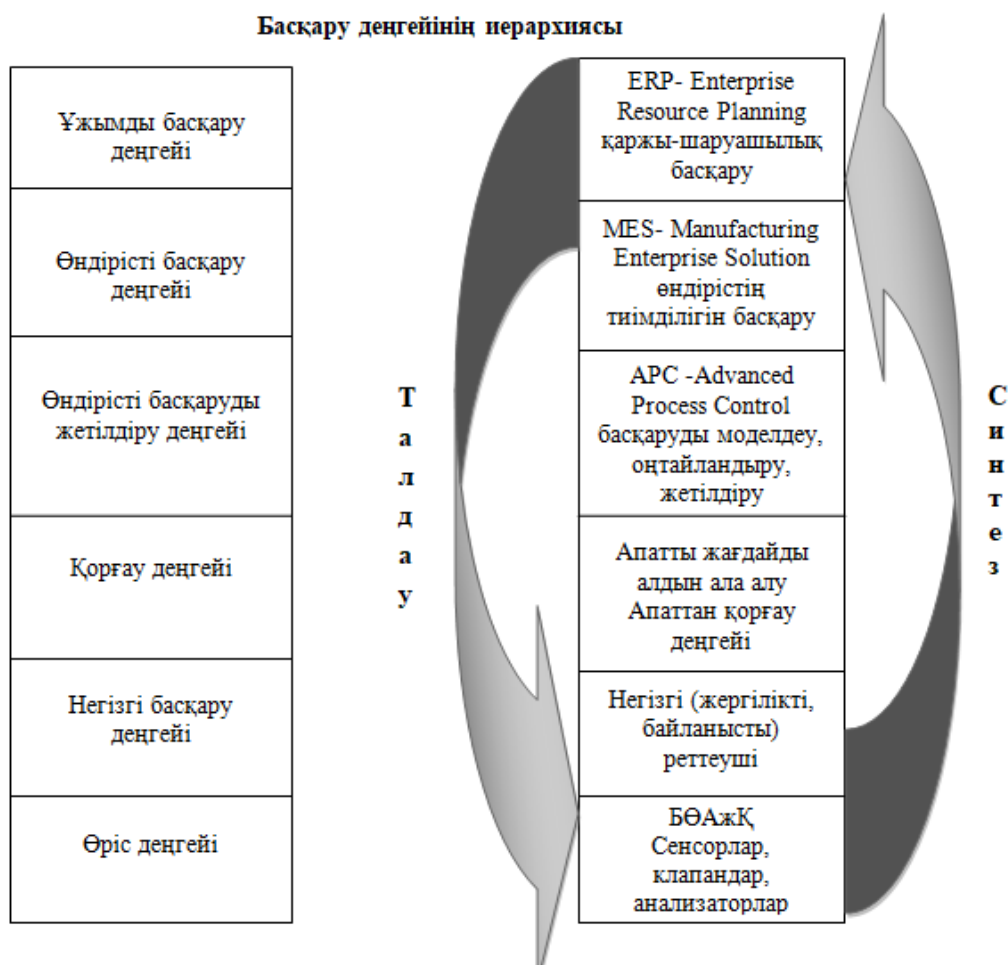
функцияларын орындайды және APC-жүйелеріне көптеген жылдар бойы жүргізілген көптеген математикалық әдістері мен сараптамалық талдаулары көмегімен алынған нәтижелерде көрсетілгендей, ол тұтастай алғанда операторларға қарағанда бұл функцияларды жақсы орындайды [36, 149 б.].

23 суретте өнеткәсіпті басқару деңгейлерінің жалпы иерархиясы көрсетілген.

«Honeywell» және «Yokogawa» фирмаларының тәуелсіз бағалауы бойынша, алдыңғы қатарлы басқару пакеттерін енгізудің экономикалық әсері интеграцияланған автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізуден түскен табыстың жалпы үлесінде 40% -дан 60% -ға дейін артады. Сондықтан, электродинамикалық вибростенді басқару процессін жетілдірген кезде дәл біз осы деңгейде оны оңтайландырамыз.

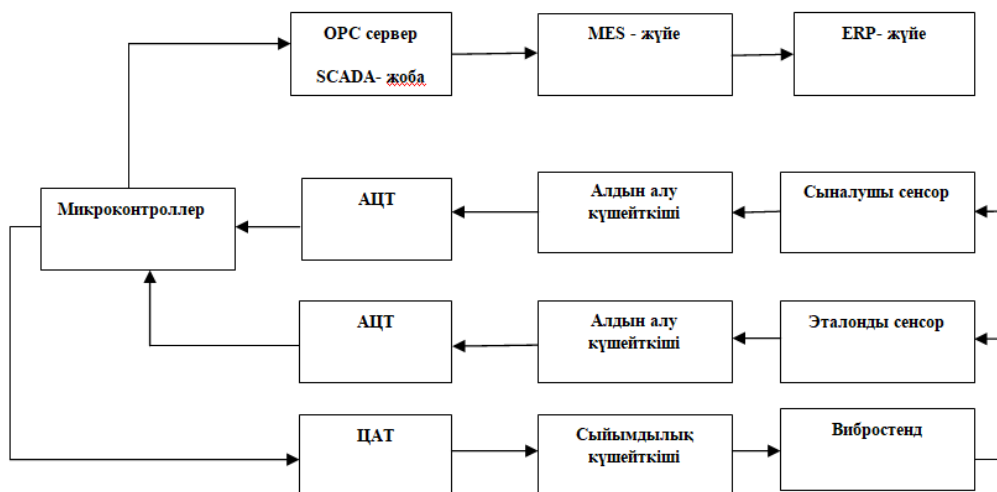
Контроллер сызықтық квадратуралық бақылау негізінде электродинамикалық діріл стендінің басқару параметрлерін оңтайландырады және процесте деректерді OPC сервері және SCADA жүйесі орнатылған оператордың компьютеріне жібереді.

Контроллердегі сызықтық-квадратуралық бақылау, онда жұмыс істейтін адаптивті LQC - контроллер алгоритмінің көмегімен жүзеге асырылады [44].



23 – сурет

Электродинамикалық вибростенд үшін ұсынылатын бақылау жүйесінің толық құрылымы 24 суретте көрсетілген.



24 сурет– Электродинамикалық вибростендтің басқару жүйесінің құрылымы

Құрылымдық схема электродинамикалық вибростендтен және оның жұмыс үстелінде орналасқан эталондық діріл сенсоры (ЭС) және сынақ сенсорынан (СС) тұрады. ЭС және СС діріл сенсорларының шығысы алдын ала күшейткіштер мен АЦТ арқылы ОПС серверін пайдаланып DataRate SCADA жүйесі негізінде жасалған вибростендтің автоматтандырылған жүйесіне контроллермен қосылған. Вибростендке ЦАТ және сыйымдылық күшейткіші (СК) арқылы өтетін сигнал беріледі. SCADA жүйесі жоғары деңгейлі MES - жүйесімен (Manufacturing Execution Systems - өндіріс және маркетингті жобаларды басқарудың жедел тапсырмалары) және ERP - жүйесі (Enterprise Resource Planning - кәсіпорын ресурстарын жоспарлау) жүйелермен байланысты.

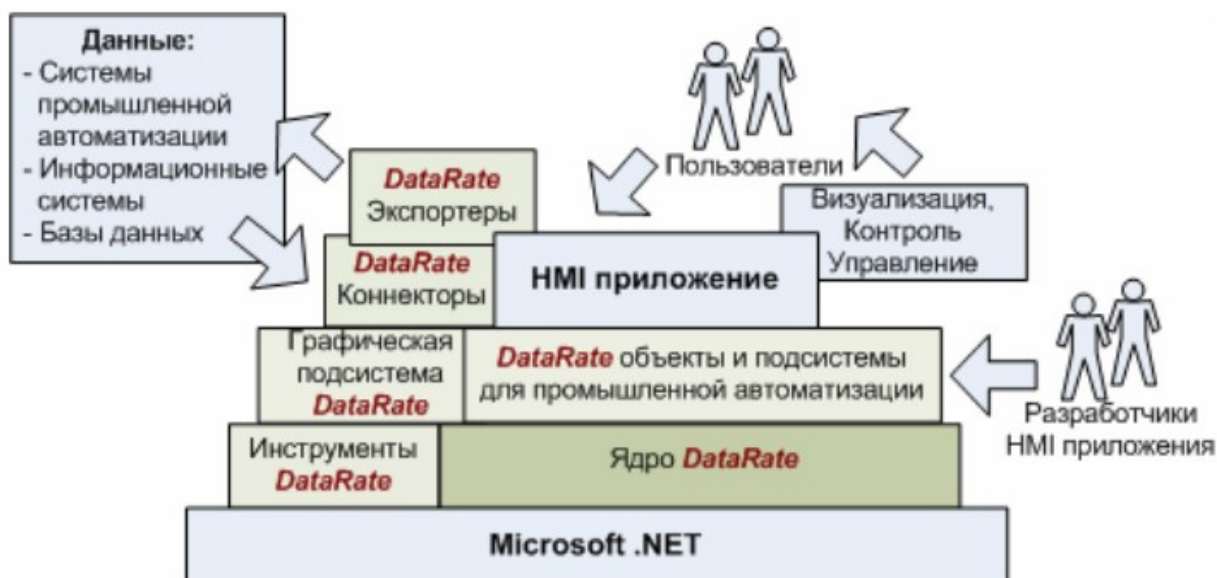
Оператор процесс деректерін көре және басқара алады. SCADA-жүйесін енгізу өндірісті басқаруға мүмкіндік береді (MES- Manufacturing Enterprise Solutions компаниясының өндіріс тиімділігін басқару), сондай-ақ кәсіпорынды басқаруға (ERP-Enterprise Resource Planning қаржылық басқару).

Бұл жүйе:

- өнімділікті арттыру;
- дірілдің нақтылығын арттыру үшін;
- вибростенд жұмысында төтенше жағдайларды алдын алу.

«DataRate4» ортасында бағдарламалар жасау және түзету технологиясы

DataRate әзірлеушіге адам-машина интерфейс (HMI - Human Machine Interface) қосымшасы ретінде белгілі, ол өнеркәсіптегі автоматтандыру объектілерінің жиынтығымен және құрылатын жүйенің және оның ортасының өзара әрекеттесуін сипаттау мүмкіндігімен қамтамасыз етеді (25-сурет).



25 сурет – DataRate қосымшасы

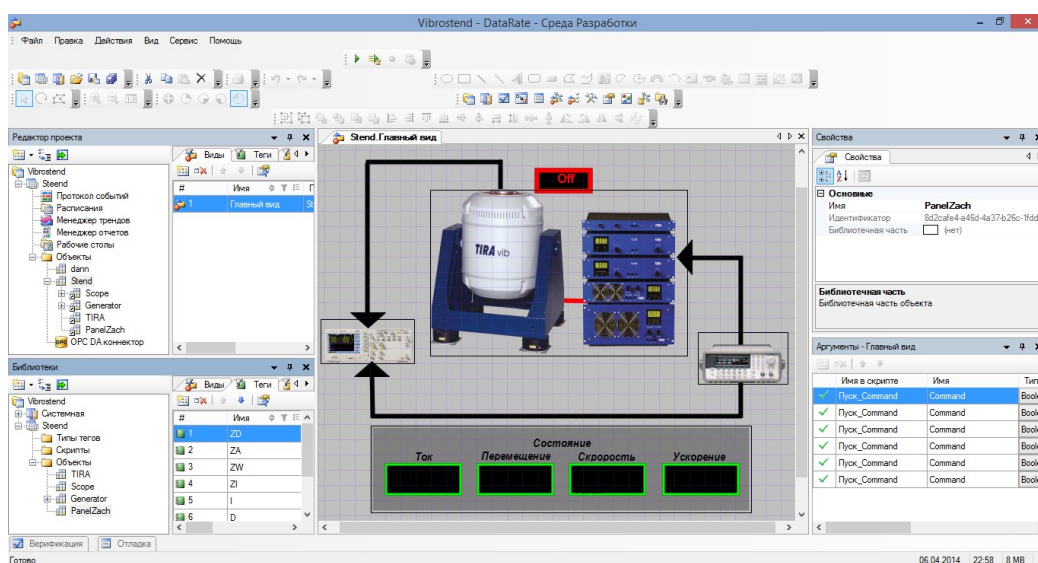
2.4.1 Объекті модель

Сенсорлардан келетін ақпаратты бейнелеу үшін, біз вибростендтің автоматтандырылған басқару жүйесіне арналған HMI қосымшасын әзірлейміз.

Қосымша бақыланатын параметрлерді көрсете отырып, электродинамикалық вибратордың мнемокұрылымының көрсетуін қамтамасыз етуі керек.

DataRate ядросында HMI қосымшаларын жасау үшін негізгі нысандар бар. Мұндай нысандар: жоба, жоба элементі, тег, тегтің атрибуты және басқалар.

26 суретте жоба редакторы мен кітапхананың нұсқасы көрсетілген:



26 сурет – жоба редакторы мен кітапхана

Объектіге мыналар кіреді:

Түрі - графикалық ұсыну;

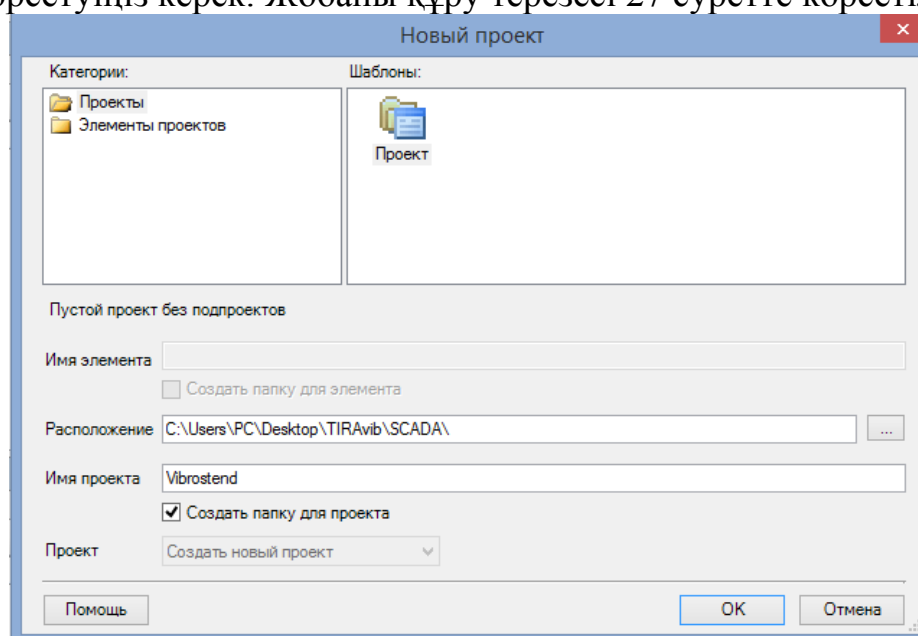
Тег - кіріс / шығыс (сенсорлардың деректері, басқару тетіктерінің сигналдары, операторлық командалар және басқалар);

Мінез-құлық алгоритмдері.

Кез-келген нысанды нысан кітапханасына орналастыруға болады. Осыдан кейін кез-келген жобаның кез-келген санын көбейтуге болады. Нысанның көшірмесін кітапханадан жасағанда, кітапханаға сілтеме жоғалмайды. Кітапхананың кез-келген өзгерістері объектінің өзінде көрсетіледі (бұл функция нақты объект үшін өшірілуі мүмкін).

Кітапханадан алынған нысан «статикалық емес» болып табылады - ол жаңа қасиеттерді қосып, мұраланғандарды қайта анықтай алады. Бұл өзгерістер басқа нысандарға ешқандай әсер етпейді.

Жобаны құру үшін «Файл» контекстік мәзірін ашып, «Жобаны жасау» бөлімін таңдаңыз. Ашылған терезеде, сіз жасаған жобаның орнын және оның атауын көрсетуіңіз керек. Жобаны құру терезесі 27 суретте көрсетілген.

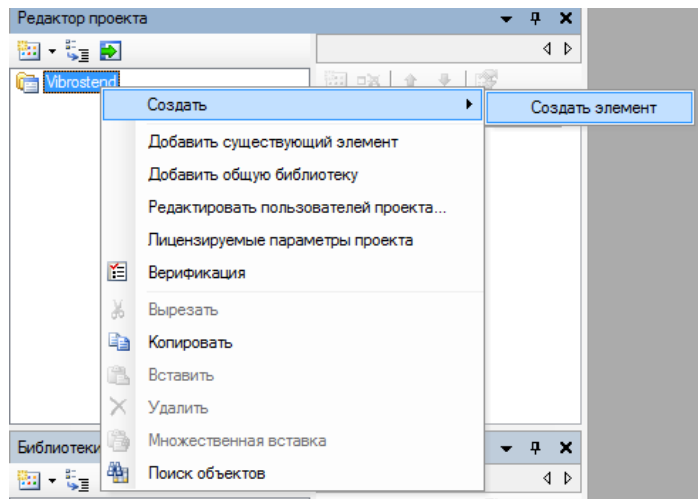


27 сурет – жобаны жасау терезі.

Объектілер.

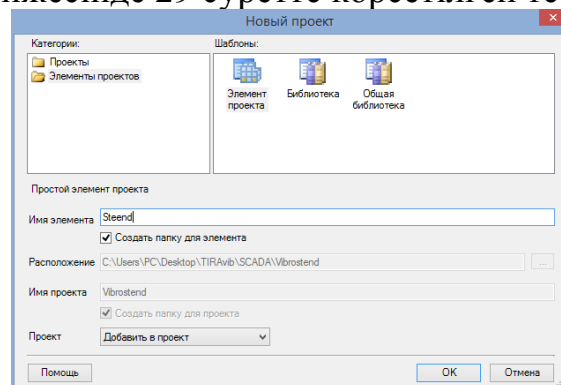
Объект - тегтер, көріністер және сценарийлер жиынтығы. Объектілерді бір-біріне орналастырып, ағаш құрастыруға болады

Объекті жасау үшін алдымен жоба өңдегіші терезесінде жоба элементін жасауыңыз қажет. Ол үшін жобаның түбірлік қалтасын таңдап, контекстік мәзірді тінтуірдің оң жағымен нұқыңыз. Мәтінді мәндік мәзірден таңдаңыз: элемент жасау/ жасау. Бұл операция 28-суретте көрсетілген.



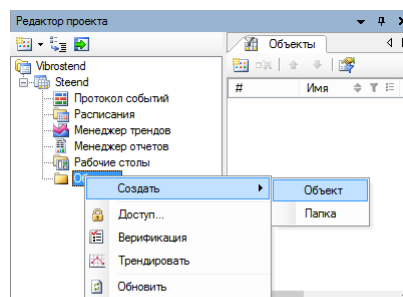
28 сурет.

Операция нәтижесінде 29 суретте көрсетілген терезе ашылады.

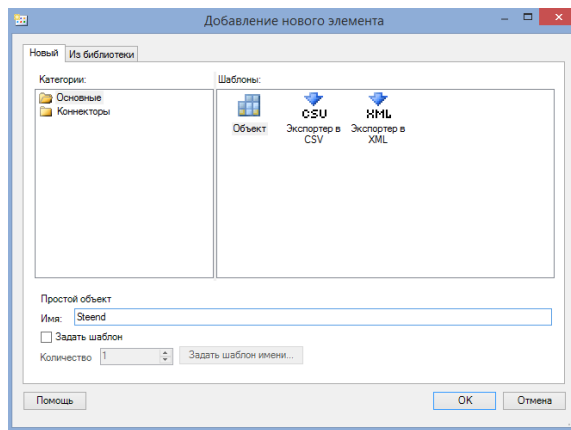


29 сурет.

Элементті құрудың ұқсастығы бойынша, объект жасалды. Объектті құру 30-суретте және 31-суретте көрсетілген.



30 сурет.



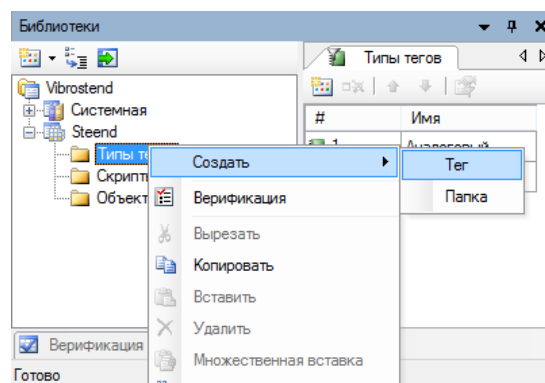
31 сурет.

Тегтер.

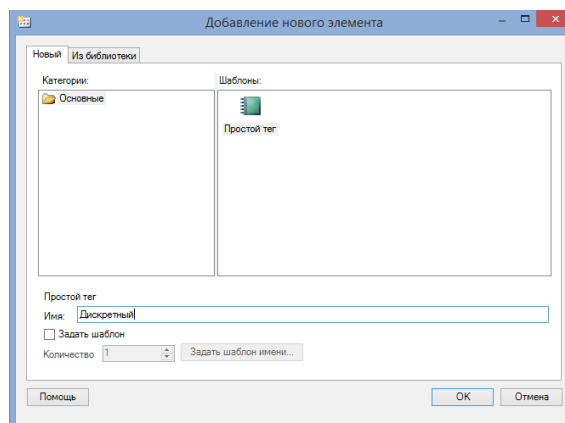
Тегтер - объектінің кірістері мен шығарылымдары. Тегті құру үшін тег (тег класс) түрі негіз болып табылады.

Тег түрі – кітапхана анықталған, атрибуттарды (скриптер) жинау мен «өңдеу».

Кейіннен басқа тегтерді жасауға болатын, негізгі тегтерді жасау үшін кітапхана терезесінде, «Тег түрі» қалтасына тінтуірдің оң жақ түймешігімен нұқыңыз, тілқатысу терезесіндегі тиісті элементті таңдаңыз, құрылған сәйкес үлгі және атауына тегті көрсетіңіз. Тег құру тәртібі 32-суретте және 33-суретте көрсетілген.

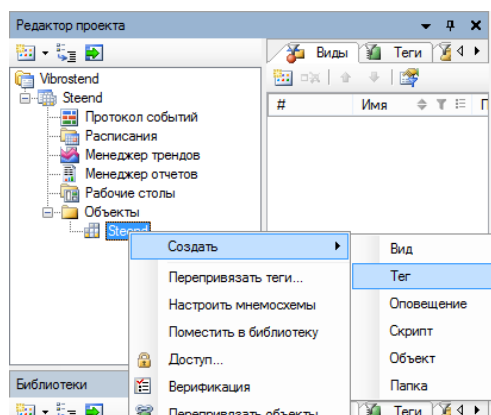


32 сурет.



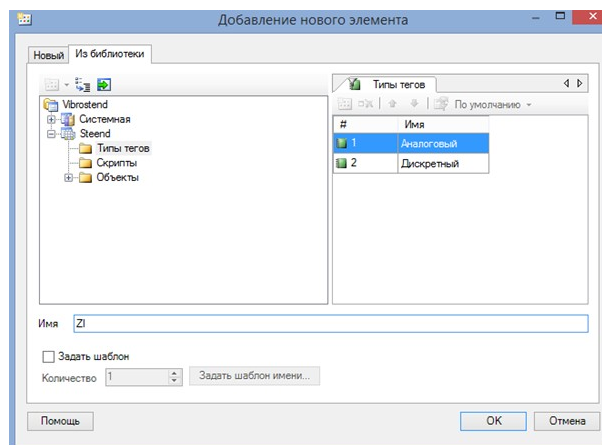
33 сурет.

Сол нұсқа бойынша, жоба объектілерінің тегтері жасалады. Бірақ кітапханадағы нысандарға арналған тегтерді жасаған кезде, ол жасалатын негізінде тег таңдалады. 34-сурет және 35-сурет нысан үшін тег құру жұмысын көрсетеді.



34 сурет.

Тегте атрибуттар жиынтығы бар. Атрибуттардың саны ерікті болып табылады. Тег атрибуттарының мәні анимация механизмдерін қолдана отырып, сценарийлерде және көріністерде орнатылады және трендтерде қолданылады. Бір тегте төлсипат мәндерін өзгерткен кезде, жаңа мәндер олармен байланыстырылған тег атрибуттарына көшіріледі.



35 сурет.

Атрибуттық сипаттамалары:

Аты - атрибуттың бірегей атауы. Сценарийлерде және басқа өндеуде қолданылады;

Пайдаланушы аты - атрибуттың атауы (мысалы, атрибуттың орысша атауы);

Түрі - тегтің түрі;

Өлшем (жол үшін) - егер төлсипат түрі - жол болса, жолдағы таңбалардың саны көрсетіледі;

Тек оқу үшін - «Иә» мәні осы атрибутқа жазуды тыйады;

Мән - ағымдағы мән;

Діріл үстелінің автоматтандырылған басқару жүйесіне арналған тегтер 36-суретде көрсетілген:

Аналоговый					
Атрибуты	#	Имя	Пользовательское имя	Тип	Размер (для строк)
Обработка	1	Name	Имя	String	256
Сигнализация	2	Value	Значение	Double	

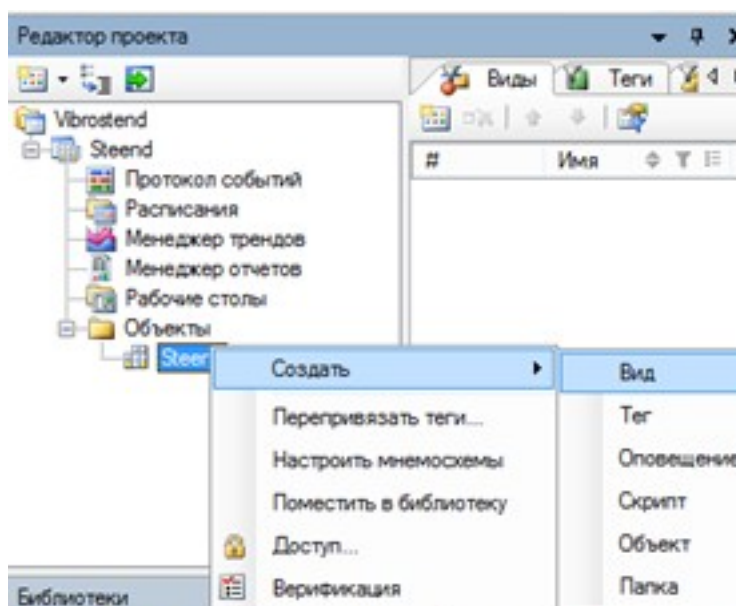
Дискретный					
Атрибуты	#	Имя	Пользовательское имя	Тип	Размер (для строк)
Обработка	1	Name	Имя	String	256
Сигнализация	2	Comand	Команда	Boolean	

36 сурет. Тегтер.

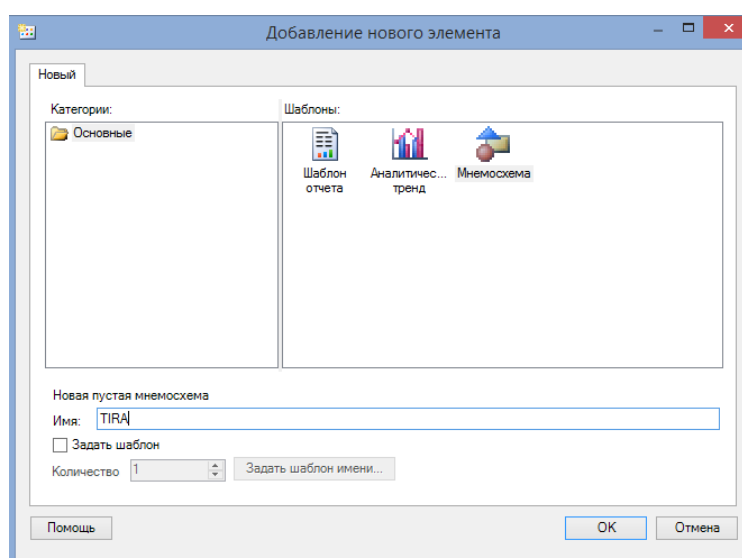
Түр - технологиялық объектінің графикалық көрінісі. Көрнекі редакторлар мен сценарийлер көмегімен сурет жасау және жандандыру.

Тег құру нұсқасы бойынша нысанның түрі де жасалады.

Нысанды жасау 37 суретте және 38 суретте көрсетілген.



37 сурет.



38 сурет.

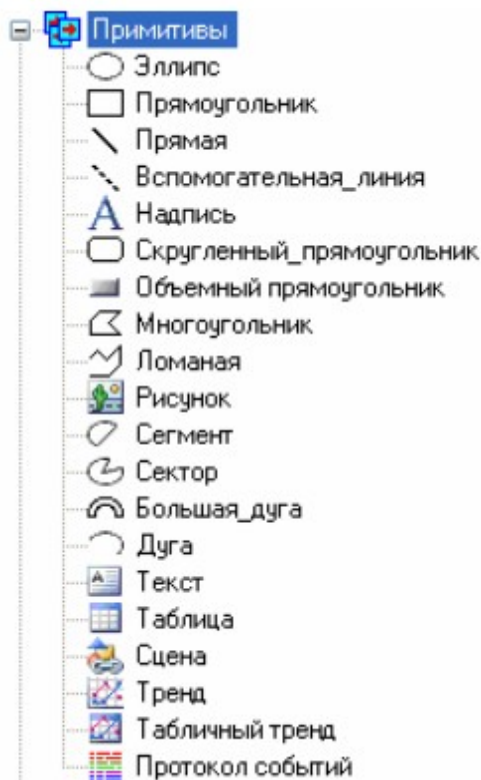
Мнемосұлба графикалық примитивтерден тұратын технологиялық объектінің анимациялық бейнесі. Мнемосұлба объектілердің негізгі түрі болып табылады.

Графикалық примитивтер стандартты редакциялау операцияларының толық жиынтығымен графикалық кескіндерді құрудың негізгі нысандары болып табылады, жандандыратын және динамикалық түрде бейнелеу мүмкіндігі. Графикалық примитивдердің мысалдары 39-суретте көрсетілген.

Скрипт - бұл шағын C # бағдарламасы. Скриптті пайдалану арқылы кез-келген күрделіліктің алгоритмін іске асыруға болады. Жоғары жылдамдықты машиналық кодтарға скрипттерді жасау арқылы қол жеткізуге болады.

Скрипттерді пайдалана отырып, сіз:

- графикалық элементтердің қасиеттерін өзгерту;
- Оқу / төлсипат мәндерін орнату;
- .NETFramework класстарын пайдаланып деректерді өңдеу алгоритмдерін іске асыру.



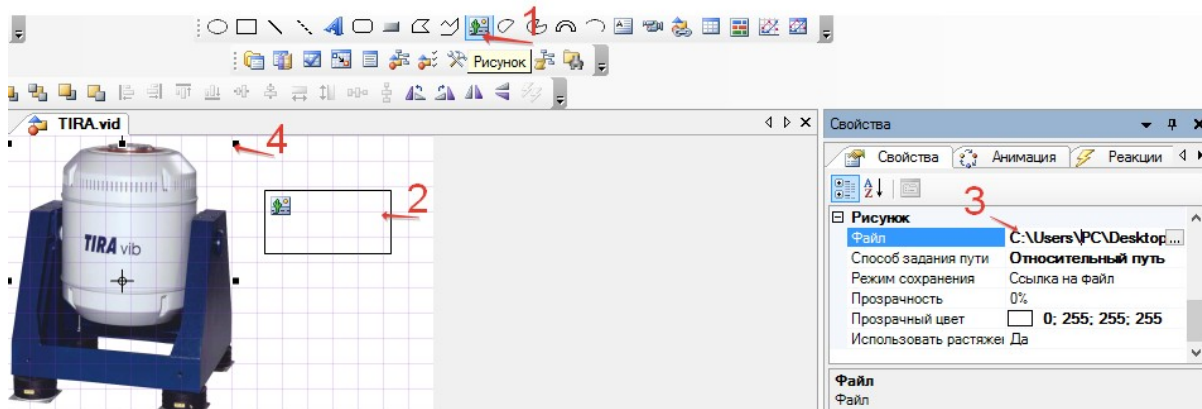
39 сурет – Графикалық примитивдердің мысалдары

Сурет салу.

Кең қолданылатын қарапайым примитивдердің бірі. Бұл примитивдерді қолданудың мысалы 40-суретте көрсетілген.

Орындалатын әрекеттер тізбегі келесідей:

1. Құралдар тақтасындағы белгішені басыңыз;
2. Жұмыс аймағында болашақ сызбалардың орналасуын көрсетіңіз;
3. Сурет сипаттарында нысан көрінісінде орналасатын сурет жолын көрсетіңіз және қосымша параметрлерді таңдаңыз (мөлдірлік, созылуды қолдану және т.б.)
4. Суреттің өлшемін анықтаңыз (сипаттар терезесіндегі арнайы сипаттарды пайдаланып немесе кескінді жұмыс кеңістігінде созу арқылы).



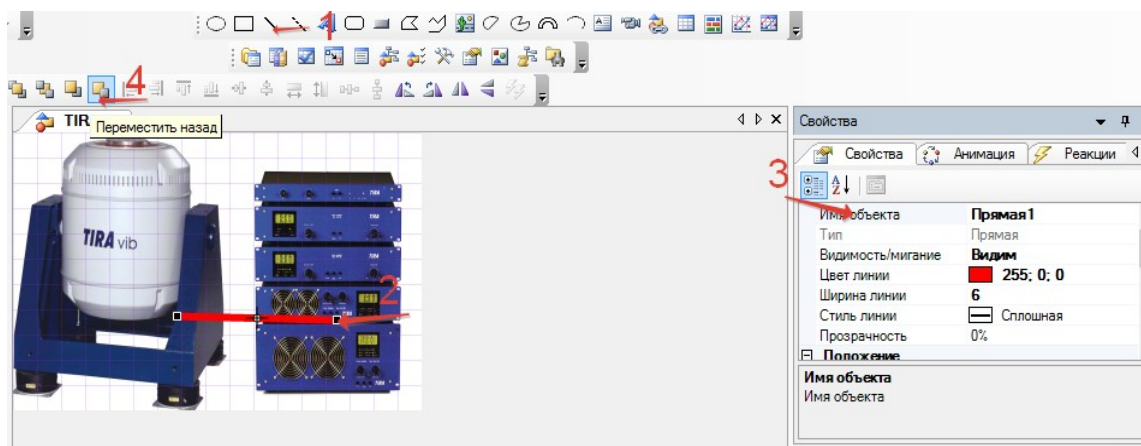
40 сурет.

Түзу.

Бұл примитивдерді жасаудың ең қажетті құралы, өйткені ол күрделі формаларды да, екі элементті бір-біріне қосатын сызықтар ретінде де пайдаланылуы мүмкін. 41-сурет желіні екі блоктың (кабель) арасындағы байланыс сызығы ретінде пайдаланудың мысалын көрсетеді.

Іс-әрекеттердің реті:

2. Құралдар тақтасында примитивдердің ішінен «түзуді» таңдаңыз;
3. Жұмыс аймағында жолдың жиектерін көрсетіңіз;
4. Жолдың қасиеттерінде қажетті параметрлерді (түс, жолдың ені, сызық стилі және т.б.) көрсетіңіз.
5. «move back» функциясын пайдаланып жолды арқа жылжытыңыз.



41 сурет.

Жасалған әрекеттердің нәтижесі 42 суретте көрсетілген.

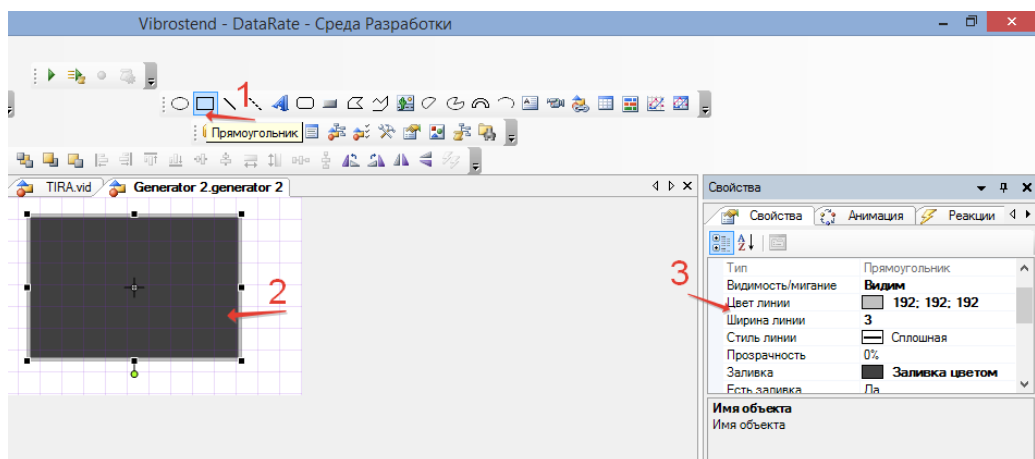


42 сурет.

Тікбұрыш.

Ақпараттық және басқару элементтерін (батырмалар, ақпарат тақтасы, кіріс өрісі) құру кезінде өте танымал примитив болып табылады.

43 суретте тіктөртбұрыш примитивімен жұмыс істеудің мысалы көрсетілген.



43 сурет

Әрекеттер тізбегі:

1. Құралдар тақтасында «тіктөртбұрыш» примитивін таңдаңыз;
2. Жұмыс аймағында болашақ тіктөртбұрыштың орнын көрсетіңіз;
3. Жолдың қасиеттерінде қажетті параметрлерді көрсетіңіз (түсті сызықтар, желінің ені, сызық стилі, түстерді толтыру және т.б.)

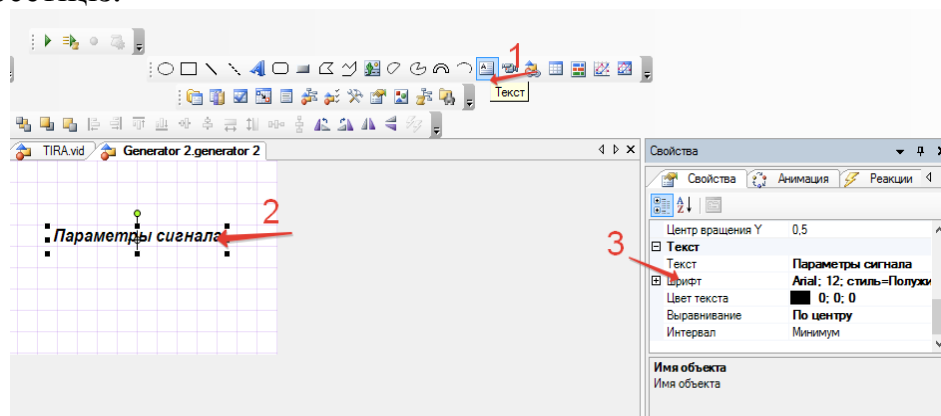
Мәтін.

Бұл примитивтің басқару элементтері мен ақпаратты SCADA-жүйелерін жасау кезінде пайдаланылатын тіктөртбұрыш сияқты. 44- сурет примитив мәтінмен жұмыс істеудің мысалын көрсетеді.

Әрекеттер тізбегі:

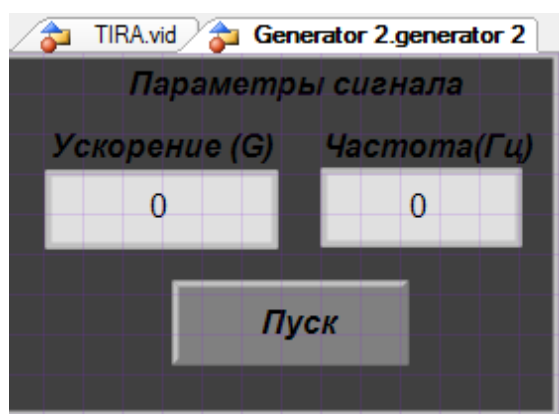
1. Құралдар тақтасында «тікбұрыш» примитивін таңдаңыз;
2. Жұмыс облысында мәтін позицияларын көрсетіңіз;

3. Қасиеттерде қажетті параметрлерді (мәтін, туралау, қаріп, мәтін түсі және т.б.) көрсетіңіз.



44 сурет

Сондай-ақ, тікбұрыш пен мәтін примитивтер тіркесімін пайдалануға болады. Бірлескен қосымшаның мысалы 45-суретте көрсетілген.



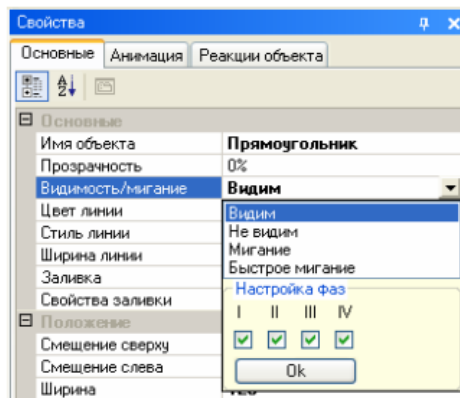
45 сурет

Динамикалық деректерді визуализациялау.

DataRate графикалық ішкі жүйесі әзірлеушілерге бақыланатын үрдістің объектілі-бағдарлы графикалық көріністерін және технологиялық процесті бақылау және бақылау үшін интерактивті режимдегі операторларды оңай жасауға мүмкіндік береді.

Көріну / жыпылықтау.

Көріну / жыпылықтау қасиеті графикалық примитивтің имитацияда көрсетілу жолын белгілейді. Параметрлері Сипаттар терезесі арқылы жасалады (46 сурет)



46 сурет. Көрінууді баптау.

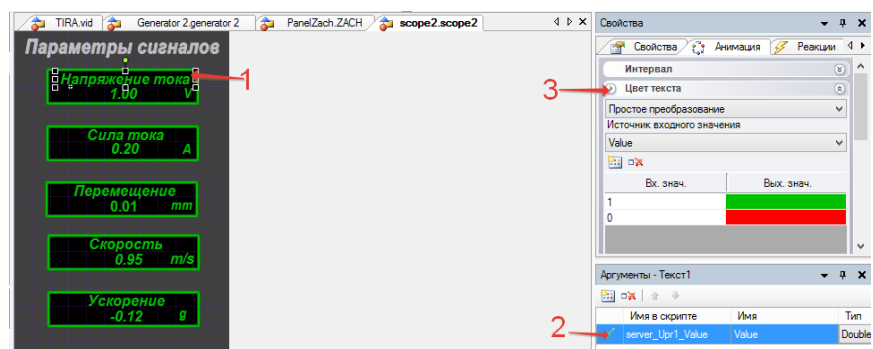
Анимация.

Графикалық примитивтің қасиетін оның аргументтерінің тәуелділігінен анықтау - бұл объектінің анимациясын белгілеу.

Сіз примитивтің кез-келген қасиетін анимациялай аласыз, кіріктірілген түрлендіру алгоритмін немесе скриптерді реттей аласыз.

47-суретте анимациямен жұмыс істеудің мысалы көрсетілген.

Бұл анимация тегтің мәніне байланысты мәтіннің түсін өзгертеді.

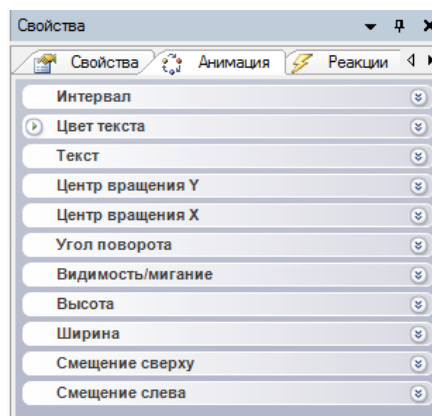


47 сурет.

Әрекеттер тізбегі:

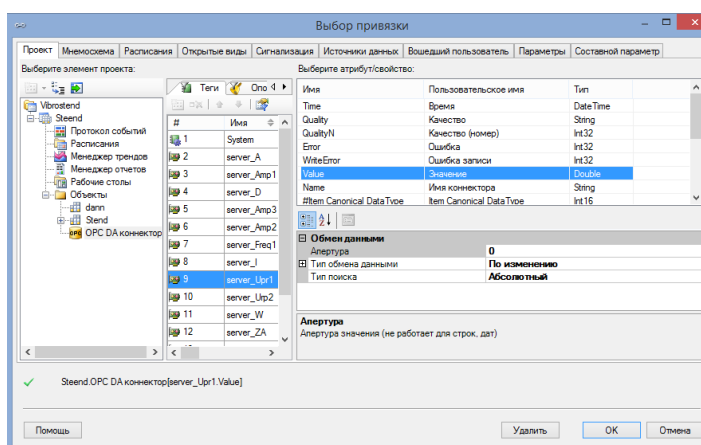
1. Анимация орнатылатын мәтінді таңдаңыз;
2. Түс өзгертін мәніне байланысты тегті тіркеңіз;
3. Анимацияның қасиеттерінде, тегтің мәніне байланысты мәтіннің түсін өзгертуге жағдай жасаңыз.

Барлық анимациялар осы жүйелілік үшін тағайындалады, 48- суретте мүмкін анимациялар тізімі берілген.



48 сурет

49-суретте тегті анимация объектісіне байланыстыратын терезе көрсетілген.



49 сурет

Реакция.

Нысанның реакциясы - белгілі бір оқиғаға жауап ретінде автоматты түрде орындалатын әрекет.

Оқиға:

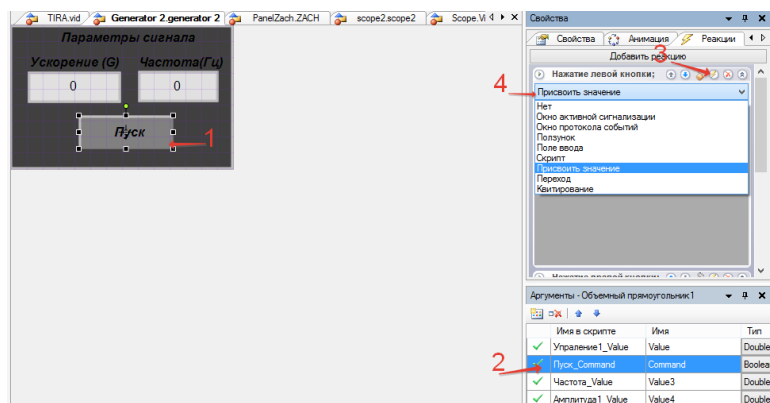
- Пайдаланушының белсенділігі (мысалы, пернетақта пернесін басу, тінтуір түймесін басу);
- жүтіргі көрсетілген аймаққа түседі;
- және басқалар;
- іс-шараға реакция:
- мәнді өзгерту;
- мнемосұлбасына өту;
- скрипті орындау.
- функционалдығын өзгерту (мысалы, енгізу өрісі).

50-сурет нысанның реакциясымен жұмыс істеудің мысалы көрсетілген.

Әрекеттер тізбегі:

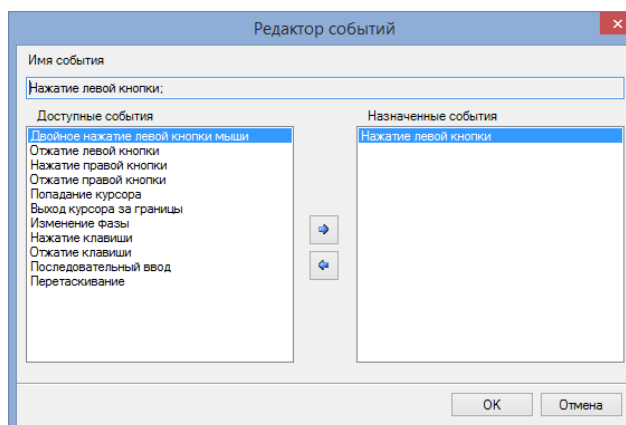
1. Реакция орнатылатын объектті таңдаңыз;

2. Тегті осы реакция әсер ететін мәннің өзгеруіне тіркеңіз;
3. Реакциялардың қасиеттерінде оқиға қосу белгішесін басу арқылы оқиғаны қосыңыз және пайда болған терезеде оқиғалардың нұсқаларын таңдаңыз;
4. Реакцияның қасиеттерінде осы оқиға үшін реакция түрін реттеңіз.



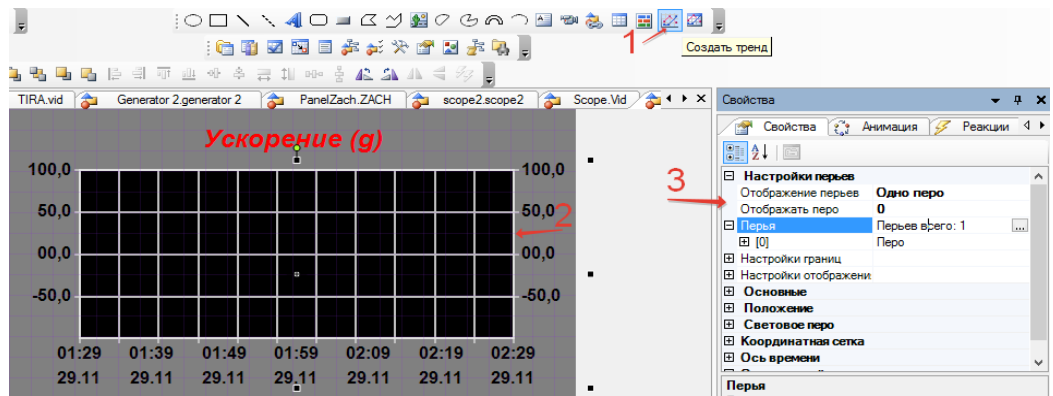
50 сурет.

51 суретте барлық оқиғаларды көруге болатын объект үшін оқиға таңдау терезесі көрсетілген.



51 сурет.

Тренд- бұл тегтердің атрибуттарындағы уақыттың графикалық көрінісі. Трендтер басқару объектісінің мінез-құлқын зерттеу үшін қолданылады. Графикалық дисплей бақыланатын параметрдің динамикасын жақсы көрсетеді. 52-суретте трендті құрудың мысалы көрсетілген.

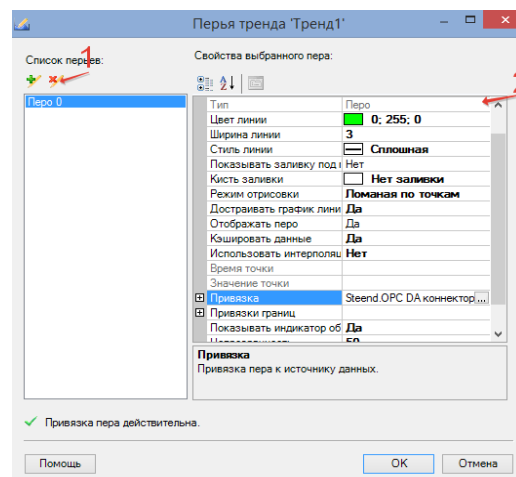


52 сурет.

Әрекеттер тізбегі:

- Прimitives құралдар тақтасын таңдап, үрдісті жасау үшін тінтуірдің сол жақ батырмасын басыңыз;
- Мнемосұлбада трендтің орналасуын анықтаңыз және жақтауды графикалық элементтің қажетті өлшеміне дейін созыңыз.
- Тренд элементінің сипаттар терезесінде, қауырсындар бөлімін басып, суретті 53 суретте көрсетілген «Перья тренда» терезесіндегі қауырсындарды орнатыңыз, сипаттар терезесіндегі тренд параметрлерін орнатыңыз.

Трендтің қауырсындары қызықтыратын атрибуттармен байланысты болуы керек.

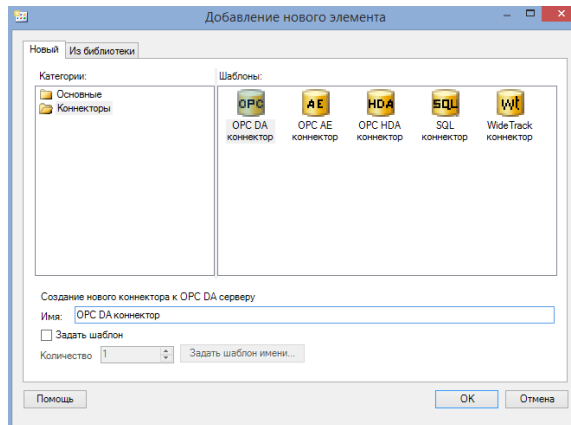


53 сурет.

OPCDAC коннекторы арқылы деректерді беру.

Математикалық модельдің мағыналарына сәйкес келу үшін, жобаға OPCDAC конверторын қосыңыз. OPCDAC қосқышы Simulink моделі мен жылу объектісінің автоматтандырылған басқару жүйесінің құрылған мнемосұлбалық жүйесі арасындағы байланыс болып табылады.

OPC-коннекторларын жасау объектілерді құру сияқты бірдей орындалады. Қосқышты қосу мысалы 54 суретте көрсетілген.



54 сурет

Өзіміз жасаған объектілердің өздерінің айнымалы мәндерін алу үшін, әрбір нысан үшін жеке-жеке, біз OPCDAS конверторындағы қажетті параметрге қосыламыз.

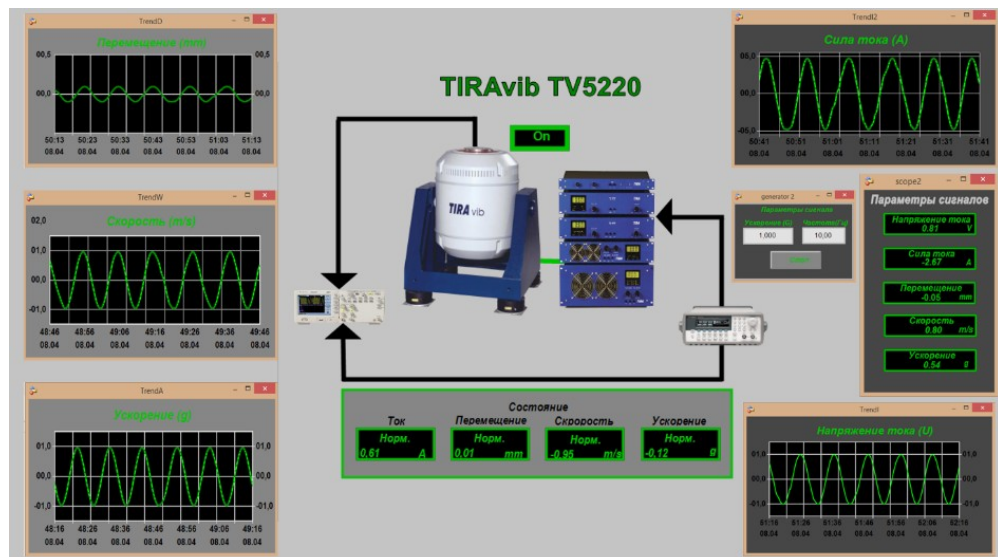
Өнеркәсіптік автоматтандыру үшін НМІ қосымшаларын құру.

«Мнемосұлба» типіндегі бейне кадрлар жеке секциялардың технологиялық схемаларын, әртүрлі жабдықтардың жай-күйін және қабылдау үшін ыңғайлы нысанда осы тізбектің маңызды технологиялық параметрлерінің мәндерін көрсетеді. Осы бейне кадрлармен әр түрлі электр жабдықтарын, контроллерлерді басқара аласыз, деректер қорының айнымалы мәндерінің параметрлерін көре және өзгерте аласыз.

Бейне кадрларда мнемосұлба, бақыланатын, жауап беретін және басқарылатын айнымалы мәндерді бір айнымалы мәннің түріне және күйіне немесе бірнеше айнымалылардың жай-күйіне байланысты түрлі көрсету объектілері ретінде ұсынады.

Нәтижесінде объектілердің мәтіндік сипаттамасы және оларды пайдалану қағидалары баламалы сызбалармен және сұлбалармен ауыстырылады. Осылайша, осындай ақпаратты қабылдау және өңдеу жылдамдығы едәуір арттады. Оператор құрылымы мен өзара байланысты тұтас қабылдайды.

Графикалық дизайнның негізгі құрылымдық бірлігі - бұл мнемосұлба. Сондықтан кітапханадан шаблондарды қосу арқылы «TIRAvibTV5200» графикалық жобасы жасалды. Жоба сегіз мнемосұлбалардан тұрады. Бірінші мнемосұлбада TIRA түріндегі вибростенд пен параметр күйінің панелі сызылды. Сигналдардың трендтерін таңдау үшін мнемосұлбаға өтіп осциллографтын суретін таңдаңыз. Ал вибростендтің кіріс сигналдарының параметрін анықтау үшін мнемосұлбаға өтіп генератордың суретін таңдаңыз. Трендті таңдау мнемосұлбасынан вибростендтің параметрлерінің қызықтыратын трендін таңдау мақсатында сол тренд мнемосұлбасына өтуге болады, айталық кернеу, ампер, қозғалу, жылдамдық, үдеу) сияқты. SCADA-жүйесінің жалпы түрі 55- суретте көрсетілген.



55 сурет.

2.5 2-ші бөлімге қорытынды

Екінші бөлімде қолданыстағы дірілді стендтер мен басқару жүйелерінің негізгі техникалық сипаттамалары мен функционалдығы талданды. Басқару жүйесінің элементтері мен құрылымын моделдеу теориясы талданды. Алмастырудың эквиваленті схемасы және электродинамикалық вибратордың

$$\begin{cases} RI + a\omega = LU, \\ \beta\omega + c\varphi = KI. \end{cases} \quad (4) \text{ динамика теңдеуі анықталды. Осы теңдеулер жүйесі негізінде}$$

MatLab-та электродинамикалық вибратордың моделі жасалады. Электродинамикалық вибростенд моделін параметрлік идентификациялауды

$$W_i(s) = \frac{1000s}{(s+499)(s^2+10,4s+187)}$$

талдау қорытындысы: түріндегі берілу функциясы анықталды және объектінің сызықты амплитудалық сипаттамасының (ОАС) идентификациясы алынды. Модельдің түрі мен идентификация әдісі тандалды. ACOR процедурасын пайдалану арқылы басқару жүйесін синтездеу талданды. Басқару жүйесін құрастыру міндеттері қойылды. Оның қорытындысы келесідей: Бірінші кезеңде оңтайландыру модельдерді бір уақытта параметрлеу мен модельдің белгісіз параметрлерін бағалау мақсатында объектіде алынған экспериментальдық мәліметтерді статикалық өңдеу арқылы объектінің статикалық сипаттамасы бойынша жүргізіледі. Екінші кезеңде процестің немесе жүйенің құрастырылған динамикалық моделі бойынша оны жұмыс нүктесінің аймағында немесе траекториясында сызықтандыру (линеаризация) жүргізіледі. Сосын критерийдің физикалық мағынасына ұқсас статикалық есебін оңтайлаудың (функционал) интегралды критерийі енгізіледі. Оңтайлы реттегіштерді аналитикалық құрылымдау талданды: оңтайлы реттегішті аналитикалық құрастыру (ACOR) үш операциядан тұрады: сызықты емес алгебралық теңдеулер жүйесін шешу $C = -PB(65)$; осы шешімдер жиынынан $P > 0$ матрицасын бөліп алу; ізделініп отырған матрицаның C реттегішінің

күшейту коэффициентін (65) формула бойынша есептеу. Вибростендтің автоматтандырылған басқару жүйесі үшін ACOR қолданылды. APC-басқаруы бар жүйенің SCADA-жобасын жасау қарастырылды. Вибростендтің автоматтандырылған басқару жүйесіне DataRate ядросында HMI қосымшасы талданды.

3- БӨЛІМ. БЕЛСЕНДІ ДІРІЛДІ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ.

Осы жұмыстың ақылға қонымды шегінде белсенді дірілдің тұрақтандыруының барлық аспектілерін қамту мүмкін емес. Механикалық және акустикалық дірілдер, олардың физикалық және математикалық көрінісі ұзақ талқылауды талап етеді, сондықтан осы аспектілер осы есепте қарастырылмайды [45].

Пьезоэлектрлік құбылыстар мен оның сандық бейнелеу құралдары қарастырылады. Барлық ықтимал белсенді дірілдің демферлеу әдістері ұсынылмайды, алдағы кезеңде осы жобаға сәйкес келетін тәсіл ұсынылған. Белсенді дірілдеудің күрделі тәртібі қазіргі уақытта оқулықтарда әлдеқайда аз қамтылған тақырып болып табылады, бірақ жақсы материалдар бар, мысалы, және басқалар.

Алдыңғы екі онжылдықта белсенді дірілдің демферлеудің құралдары мен қасиеттерін талдауға арналған арнайы зерттеулер жүргізілді. Өткен кезеңде құрылымдардың массасы, күші мен демпферлік қасиеттері бастапқы контурға қатысты өзгерді. Бұл құрылыстың қалаусыз қозуына ұшыраған жағдайда, діріл деңгейін қалыпты жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл ең қарапайым және қарапайым әдіс болғанымен, өкінішке орай, маңызды жетіспеушілік - салмақтың ұлғаюы. Кейбір жағдайларда бұл мүлдем қолайсыз. Сондай-ақ дизайн және геометриядағы өзгерістер әрдайым өмір сүре алмайды. Пассивті емдеу әдетте жоғары жиіліктегі діріл үшін қолайлы, бірақ олар төмен жиілікте үлкен және қымбатқа түседі.

Белсенді жүйелерден басқа, жартылай белсенді дірілді демферлеу оның қарапайым электроникасына байланысты қызығушылыққа ие болды. Жартылай белсенді жүйелерде, A/D және D/A түрлендіргіштері, кернеу немесе зарядтау амплифтерлері, микроконтроллерлер қажет емес; сондықтан өнімді интеграциялау қарапайым және үнемді болады. Бұл әдіс пьезоэлектрлік түрлендіргіштер мен резисторлар мен конденсаторлар сияқты қарапайым электронды компоненттерді пайдаланатын тізбекті діріл сіңіргішке теңестіруге мүмкіндік береді. Бұл әдісдің кемшілігі, бір абсорбердің діріл режимінің ылғалды болуына байланысты реттелуі мүмкін [47].

Басқарудың қарапайым логикасы бар күйдегі резистивті тізбектер - бұл идеяның келесі итерациясы. Мысалы, белгілі бір нүктедегі жылдамдық пен жылдамдық теңдеуді теңестіретін болса, тізбек ашық күйге ауысады. Барлық қалған жағдайларда ол тұйықталған болады. Оңтайлы орналасу мен қарсылықты қамтитын осындай жүйе [48] -да талқыланады. Күйді ауыстыру туралы заң:

$$\omega(x, y, t) \dot{\omega}(x, y, t) \geq 0 \quad (78)$$

мұндағы ω - x, y және уақыт t координаттарына байланысты ауыстырылады; және оның туындысы параметрлері онымен бірдей болатын жылдамдық.

3.1 Смарт материалдар

Құрылымдық тұрғыдан классикалық материалдардың мінез-құлқы олардың икемділік тұрақтыларымен сипатталуы мүмкін: серпімді тұрақты кернеу мен деформация сипаттайды, жылу тұрақты температура мен деформацияға қатысты. Бүгінгі таңда көптеген материалдар бар, оларда өте қажетті қасиеттер бар. Бұл қасиеттер белсенді діріл бақылауында оңай пайдаланылуы мүмкін. Сонымен материалды ақылдылыққа жатқызу критерийі қандай? Мұндағы кілт сөздер, яғни мынадай екі өріс (немесе одан да көп) арасындағы байланыстар: температура, заряд, деформация, магнит және жарық. Бұл байланыстар осы материалдардың мінез-құлқын сипаттайтын конструктивті теңдеулер арасында айқын көрінеді. Белсенді құрылымдарда қолданылатын ең кең таралған ақпараттар - формаларды еске сақтайтын қорытпалар, магнитті- және электрорезистентті материалдар, жартылай қатаң магниттік және электрорезистентті сұйықтықтар және пьезоэлектриктер.

Пішінді жадта сақтайтын қорытпалар

Пішінді жадта сақтайтын қорытпаларда (ПЖСК) пластикалық деформацияны көрсетеді және олар қыздырғаннан кейін бастапқы пішінге келеді. ПЖСК 5% дейін кернеуді қалпына келтіре алады. Ақылды материалдардың осы түрінің басты артықшылығы - бірнеше элементтермен күрделі қозғалыстарды орындау мүмкіндігі. Бұған шағын температураның өзгеруі арқылы қол жеткізуге болады. Деформация температураны немесе кернеуді тудыруы мүмкін және қатты күй фазасының өзгеруін тудырады. Бұл өзгеріс металдарда болатын мартенситикалық деформация деп аталады. ПЖСК төмен жиілікте және төмен дәлдікте қолдану үшін жарамды, сондықтан оларды дірілдеуді азайту бағдарламаларында қолдану күмәнді.

Белсенді діріл бақылауы ПЖСК жетегін пайдаланылуымен орындалады [49]. Мұнда ПЖСК температурасы механикалық қасиеттерді өзгерту үшін басқарылады. Дірілдің демпингі белсенді және пассивті әдістерді пайдалану арқылы іске асады.

Электр және магниттік құрылымдық материалдар

Магниттік құрылымдық материалдар магнитті өрістер әсеріне ұшырағанда пішінін өзгертеді. Барлық дерлік ферромагниттік материалдар осы қасиетті көрсетеді, бірақ пішіні мен көлемі өте аз мөлшерде өзгереді. Ферромагниттік материалдар бірнеше домендерге бөлінген құрылымына ие. Осы домендердің әрқайсысы бірыңғай магниттік поляризацияны көрсетеді. Қолданылған магниттік өріс бұл домендердің айналуына әкеледі және пішіннің сәл өзгеруіне әкеледі. Магниттік құрылымдарға қатысты кері құбылыстар Виллари эффектісі деп аталады. Бұл жүктеме әсер еткен кездегі магниттік қасиеттердің өзгерісін сипаттайды.

Белгілі бір сирек жер материалдарын қорытпаға қолдану нақты техникалық инженерлік қосымшаларда магниттікұрылымдарды қолдануға мүмкіндік берді. Магниттікұрылымдар қорытпаларының ерте түрлері магниттікұрылымдардың үлкен екенін көрсетті, бірақ тек жоғары магниттік өрістерде немесе криогендік температураларда қолданылды [50], [51]. Бұл түрлер ең кең таралған магниттікұрылымды материал болып қала беретін Терфенол-D енгізу арқылы жойылды. Магниттікұрылымды материалдардың қалпына келтірілетін деформация 0,15% құрайды. Максималды жауап компрессиялық жүктемелерде көрсетіледі. Магниттікұрылымды жетектер ұзақ уақытқа дейін қызмет етеді және жоғары дәлдіктегі қосымшаларда қолданылуы мүмкін. Жетектер тек қана қысу кезінде жүктемесі бар элементтер ретінде пайдаланылуы мүмкін.

3.1.1 Микромеханикалық қондырғыларды өндіру технологиясында жартылай өткізгіш материалдарды жергілікті жою процестерін қалыптастыру

Жұмыста кремнийлі пластиналар немесе төсегіштердің материалдарын жергілікті алып тастау арқылы түрлі микромеханикалық қондырғыларды құру процестерін (FOR) қалыптастыру процесстерінің модельдері мен режимдері сипатталған.

Микромеханикалық құрылғыларды (ММК) және жүйелерді құру міндеті бірқатар серпінді инновациялық өнімдерді: микророботтар, ұшқышсыз әуе көліктерін, имплантацияланатын медициналық сенсорлар және т.б. үшін өте өзекті мәселе. Микромеханикалық технологиялар мен жүйелерді дамыту Ресей мен Қазақстанда сыни технологиялардың тізіміне енгізілген.

Физикалық мөлшердің микромеханикалық сенсорларына қатысты ең маңызды технологиялардың бірі технологиялық FOR болып табылады, ол сенсорлардың негізгі техникалық сипаттамаларын айқындайды: сезімталдық, дәлдік, өлшеу ауқымы, сондай-ақ шығымдылыққа әсер етеді.

FOR-ді қолданатын басқа ММК үлгілері рентгендік маскалар, микроэлементтер, микромоторлар, атом күштерінің микроскоптары мен басқалары болып табылады[45, 1356 б.].

Төменгі қысым, жылдамдық және күштерді өлшеуге арналған миниатюралық микроэлектрондық сенсорлар үшін FOR сапасы маңызды болып табылады, мұнда сезімтал элементтердің (СЭ) қалыңдығы: білектер, мембраналар және торсиондар және оншақты және бірлікті микрометрлерді құрайды[76], [77].

Бірінші топтағы FOR-тың сезімтал элементтерге (СЭ) МДФӨ [78] қатысты ерекшеліктерін қарастырайық. СЭ жасау технологиялық процесстерінде жергілікті қалыптастыру әдісі келесі мүмкіндіктер береді:

- СЭ құрылымдарының үшөлшемді конфигурациясын қалыптастыру;
- қаттылық элементтерін қалыптастыру, механикалық кернеулер концентраторы, консольдер және т.б.

МДФӨ өндірісінде қолданылатын бірінші топтағы FOR-тың әдістерінен келесілер ерекшеленеді: электр ұшқыны; электрохимиялық; термиялық бүрку; механикалық ұнтақтау; изотопты қайнату (ИТ); анизотропты қайнату (АТ).

Қалыптасудың электрлік-ұшқындық әдісі (ЭЭ) тарихта жұқа профильді мембраналар, білектер және жеке тензорезистер түрінде алу үшін пайдаланылатын кремнийлі СЭ алудың алғашқы әдісі болды. Бұл әдіс дәлмә-дәл шағын өлшемді металл бөлшектерін өндіру кезінде электрлік ұшқынмен өңдеу технологиясын қолданатын аппаратура технологиясынан алынған. Металға қарағанда әлдеқайда төмен электрөткізгіштігі бар кремний үшін электроэрозия процесі де металға қарағанда баяу болса да орын алады.

ЭЭ-ті басқа әдістермен мысалы: ИТ және АТ-пен бірге қолдану ұсынылады. Сонымен қатар, сұйық шөгінділер меза құрылымдарын, тесіктері мен өтпелерін қалыптастыру үшін пайдаланылады, ал ЭЭ кристалдардың сыртқы формасын алу үшін қолданылады.

Қалыптасудың уландыру процесінің негізгі сипаттамасы - уландыру жылдамдығы жалпы алғанда келесі түрде ұсынылуы мүмкін:

$$U_{\text{etching}} = \frac{k_{\text{diff}} \cdot k \cdot e^{-E/kT}}{k_{\text{diff}} + k \cdot e^{-E/kT}} \cdot C \quad (78)$$

мұндағы U_{etching} - уландыру жылдамдығы; k - химиялық реакция жылдамдық константасы; E – уландыру реакциясының активация энергиясы; k_{diff} - диффузиялық процесстің пропорциональдық коэффициенті; C – уландыру концентрация.

(78) талдау, келесілері көрсетеді:

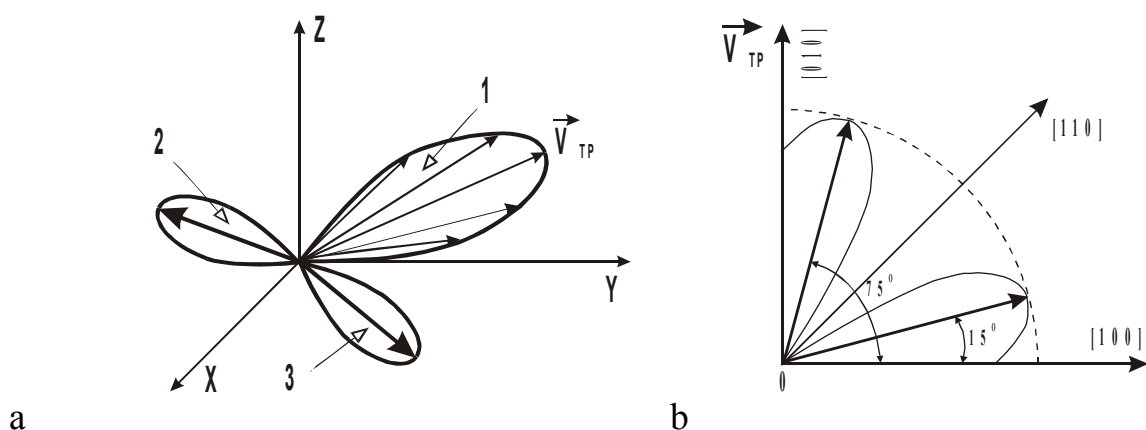
1. $k_{\text{diff}} \ll e^{-E/kT}$, мұндағы $U_{\text{etching}} = k_{\text{diff}} \cdot C$ - уландыру полириленген және E – активация энергиясынан тәуелсіз.

2. $k_{\text{diff}} \gg e^{-E/kT}$, яғни $U_{\text{etching}} = k \cdot C \cdot e^{-E/kT}$, бұл жағдайда U_{etching} E тәуелді, уландыру анизотропты, өйткені E беттің кристаллографикалық бағдарынан тәуелді, және ол кезде U_{etching} векторлық шама болады.

Осылайша, бірінші жағдайда, изотоптық улану үлгісі болып табылады, қалыптасу бағыты біртекті, ал таңдауда ешқандай улану жоқ.

Екінші жағдайда, улану үлгісі біркелкі емес, ал қышқылдың мөлшері температура мен концентрациясына байланысты болады.

АТ-да атмосфераның тығыздығы минималды және керісінше болып табылатын бағыттарда ұсақтау жылдамдығы ең жоғары. Көрнекі түрде, улану жылдамдығының векторлық сипаты диаграммада көрсетілген (56 а суреті), ол жалпы жағдайда үшбұрыш өрістерінің 3 өлшемді конфигурациясын білдіреді.



56 а, б сурет. Монокремний уландыру жылдамдығының векторлық диаграммасы: а- үшөлшемді (1 - вектордың негізгі «жапырақтары», 2 және 3 «жақ жапырақтары»); б – диаграммасы анизотроптық кремний уландыру жылдамдығы - (100) жазықтықтағы 33% КОН ерітіндісінде

Негізгі кристаллографиялық беттер мен бағыттарға $\vec{V}_{TP}$ векторды проекциялау арқылы ыңғайлы талдау үшін калийдің (КОН) 33% су ерітіндісіндегі кремний уландыру диаграммасының 1/4 бөлігінде көрсетілгендей (56b сурет) беттік уландыру диаграммаларын алуға болады [79].

56 суретте айқын анықталған кристаллографиялық бағыттардағы экстремалды мәндер бар екені анық. Ендірілген аймақ (тар жапырақ) пен аудандардың өздері кішірейгендіктен, анизотропияның дәрежесі соғұрлым жоғары екендігін және кесілген фигуралардың неғұрлым нақты геометриясын алуға мүмкіндік беретінін атап өткен жөн.

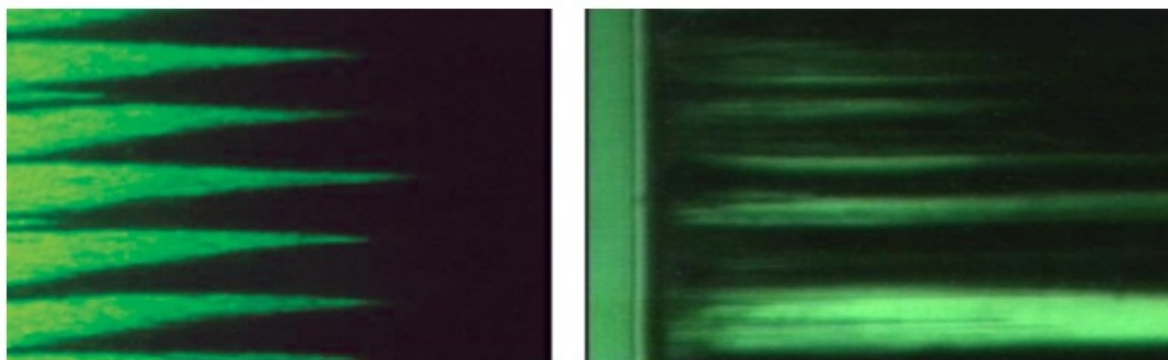
Эксперименттер барысында жалпы диаметрі 60 мм және СК-400 (400 мкм) және жалпы қалыңдығы 1,5-1,8 мкм болатын (гальваникалық) - SiO_2 -V-Cu маскасы - 4,5 (100) пластина қолданылған. Уландыру процесі бірнеше аралық сатыларға бөлінді (үш кезең), оның соңында өлшеудің геометриясы өлшенді (өлшемдер, бұрыштар, беттер саны және т.б.). Өлшемдер «Биолам» микроскопында жүргізілді. Бұдан басқа, үлгілерде алынған үлгілердің өлшемдері мен экспериментальды үлгілердің арасындағы айырма бағаланды.

3.2 Электро және магниттіреологиялық сұйықтар

Магниттіреологиялық сұйықтар (МР) құрамында тасымалдаушы сұйықтарда микрометр өлшемді бөлшектері бар. Бұл сұйықтар әдетте майдың түрі болып табылады [52]. Бұл сұйықтар магнитті және электрлік өрістермен өзара әсерге түседі. Өрістерді қолданған кезде олардың тұтқырлығы өзгереді. Айта кету керек, бұл сипаттаманы жартылай белсенді деп санауға болады. Себебі, классикалық байланысты индукциялау үшін сыртқы өрісті қолдану қажет. Сондай-ақ өзара әрекеттесудің болмауы да бар. Әдеттегі магниттіреологиялық сұйықтық 20-40% көлемі бойынша темір бөлшектерінің диаметрі 3-10 мкм құрайды. Бұл бөлшектер тасымалдаушы сұйықтықта болады. Бұл сұйықтық минералды май, синтетикалық май, кейде тіпті су болуы мүмкін

және жеке меншікті қоспалар болуы мүмкін. Бұл қоспалар тоқтатылған бөлшектердің гравитациялық эффективтілігіне байланысты шешілуіне жол бермейді. Олар сондай-ақ тозуды азайтады және тұтқырлықты өзгерте алады. Мұндай суспензияға магнитті өріс қолданылған жағдайда, кездейсоқ орналастырылған бөлшектер ағын сызықтары бойымен үйлестіреді, бұл 4.23-суретте бейнеленген. Осылайша, сұйықтың ағыны магниттік өріске перпендикуляр бағыттармен шектеледі. Магниттіреологиялық сұйықтықтар ағымдарының шектеулері электрореологиялыққа қарағанда 20-дан 50 есе жоғары [53]. Математикалық тұрғыдан МР материалдарының іс әрекетін білуге болады. Модельде гистерезис пен статикалық үйкелуді есепке алуға болады. Ең кең тараған пластиканың сипаттамасы - Bingham үлгісі, ол ағынның τ_y айнымалы шегін пайдаланады. Бұл H магниттік өріске қолданылған күшіне байланысты болады. Сонда ол келесі тендеумен реттеледі:

$$\tau = \tau_y(H) + \eta \dot{\gamma} \quad (79)$$



56 сурет: Жасыл жарықпен жарықтандырылған магниттіреологиялық сұйықтықтың (МР) бейнемикроскоптың суреттері. МР сұйықтықтары жерде бағандар немесе тікенектер түзеді, ал оң жақтағы кең бағандар Халықаралық ғарыш станциясында (ХҒС) орналасқан микрогравитациялық ортада түзіледі.

Мұнда жылжыту кернеуі τ арқылы, γ арқылы кернеудің ығысуы, ал сұйықтықтың тұтқырлығы η өрнектеледі. материалдың ағынының төменгі шегінде тұтқырлы серпімді сипаттамалар пайда болады, олар келесідей сипатталады:

$$\tau = G\gamma \quad (80)$$

Мұндағы G - материал комплексті модулі. τ , η , γ үшін сәйкесінше ауыстырулары бар МР сұйықтығы үшін Bingham пластикалық моделі жақсы оңтайландыру болып табылады. Жоғарыда көрсетілген жартылай-қатаң материалдардың бірнеше кемшіліктері бар: олар жоғары тығыздығын (салмағын) көрсеткендіктен, жақсы сапалы сұйықтықтар қымбат және ұзақ уақыт қолданғаннан кейін шөгіндіге бейім [54], [55].

Пьезоэлектрлік - бұл белгілі бір материалдардың түсірілген кернеуге жауап ретінде кернеуді генерациялау мүмкіндігі. Егер материал қысқа тұйықталмаса, заряд кернеуді тудырады. Бұл тікелей пьезоэлектрлік эффект деп аталады. Пьезоэлектрлік эффект қайтымды, яғни түсірілген кернеу механикалық кернеу мен деформацияны тудырады. Бұл қайтымды пьезоэлектрлік эффект ретінде белгілі.

Деформацияның көлемі қолданылатын пьезоэлектрлік материалдың түріне байланысты. PZT үшін пайыздық ұлғаю 0,1% құрайды. Нақты жүйелер мен нанопозицияларды толықтыруға көптеген мысалдар бар, онда пьезоэлектрлік түрлендіргіштер механикалық күшейткішпен немесе тікелей қолданыла алады. Мысалы, БПЛА тікұшағының роторлы жүзін циклдік және ұжымдық басқаруда PZT пластинасының пайдаланылуы қарастырады. Қайтымды пьезоэлектрлік тудыратын күштер ондаған мегаватт ретіне тең [56].

Конверсиялық пьезоэлектрлік эффектілер діріл бақылауында белсенді түрде қолданылуы мүмкін. Сондай-ақ, тікелей пьезоэлектроника пьезоэлектрлік материалдарды сенсорлар ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Өкінішке орай, бұл сенсорлар D.C. ауыстыру компонентін анықтай алмайды. Қосарланған зондтау мен жұмыс істеу қабілетіне байланысты пьезоэлектрлік құрылғылар көбінесе түрлендіргіштер деп аталады.

Өмірде нақты жүйелерінді демпфирлеу бар, сондықтан оны соңғы элемент моделінде де ескеру қажет. Таралған механикалық жүйелердің өшуі күрделі құбылыс болып табылады. Өкінішке орай, бүгінгі күні ол ғылыммен толықтай зерттелмеген. Әдетте демпфирлеу кейбір тәсілдермен жуықталады. Ең қарапайым әдістердің бірі - Rayleigh демпингін пайдалану. Бұл демпфирлеу матрицасын α және β демпферлік тұрақтыларына көбейтілген массалар мен созылу матрицаларының қосындысы ретінде есептеуді қамтиды:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (81)$$

Өкінішке орай, демпфирлеу тұрақтылары тікелей табу мүмкін емес, оларды ξ_i модальды демпфирлеу коэффициенттерімен есептейді. Бұл шын мәнінде нақты демпфирлеудің нақты діріл режимі үшін критикалық демпфирлеуге қатынасына тең. Егер ω_i – осы діріл режимінің табиғи дөңгелекті жиілігі болса, онда біз константаларды келесідей есептей аламыз:

$$\xi_i = \frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta\omega_i}{2} \quad (82)$$

Әдетте жиіліктер ауқымында α және β тұрақты болып есептеледі. Берілген ξ және жиілік диапазоны үшін Rayleigh демпфирленген тұрақты мәндерін алу үшін қатарынан екі теңдеу шешілуі мүмкін. Көптеген нақты құрылымдарда түсірілген массалық демпфирлеуді ескермеуге болады, сондықтан $\alpha = 0$ деп аламыз. Мұндай жағдайларда β белгілі ξ_i және ω_i мәндерімен бағалай аламыз:

$$\beta = \frac{2\xi_i}{\omega_i} \quad (83)$$

Қолжетімді әдебиетте пьезоэлектрлік түрлендіргіштері бар композициялық құрылымдарды сандық модельдеудің бірнеше тәсілдері бар. Барлық мәселенің өрнектік элементін қалыптастыру Эйлер Бернулли моделі арқылы жасалуы мүмкін, онда пьезо пакеттері бар түйінді бөлімі ламинирланған, ал қалғандары изотропты [57]. Сандық модельде тек механикалық және пьезоэлектрлік бөлімдер ғана емес, сондай-ақ кернеу күшейткіштері сияқты электрлік компоненттер бар. Сандық моделдеу үшін жаңа және бірегей модельді немесе өрнекті элементті құру мақсатты емес, сондықтан біз қол жетімді сандық пакетті пайдалануды ұсынамыз [58], [59].

3.3 Материалдарды, бөлшектерді аспап жасау құрылғысы арқылы ресурстық сынау, әдістерін және жеделдетуге арналған құралдарды талдау.

Аспап жасаудағы кепілдік берілген өндіріс мерзімі өте маңызды және төзімділікке жедел түрде сынаудағы мәселе болып табылады. Бұны әсіресе соңғы уақытта айтарлықтай өскен заманауи есептеуіш және өлшегіш машиналарынан аңғаруға болады. Осылай, атомдық энергетикадағы қолданыстағы сенсорлар үшін қызмет мерзімі (пайдалану) 20 жыл болып анықталған, ал «Глонасс» жүйесі орбиталық спутниктер үшін аппараттық ресурс 12 жылды құрау керек. Қолданыстағы ережелер мен стандарттарға сәйкес мәлімделген ресурстар мен стандарттарды ресурстық сынақтардан бекітілген уақыт бойынша өткізу қажет, алайда бұл мүлдем мүмкін емес.

Бұдан басқа, беріктік сипаттағы материалдар, бөлшектер мен жинақтар төтенше жағдайда жұмыс істейтін және стратегиялық салалардың маңызды өнімдерінде қолданылатын: ракета-ғарыштық техника, атом энергетикасы, әскери техника мамандандырылған стендтерде және қондырғыларда статикалық-динамикалық сынақтар расталып, бекітілуі қажет, ал ол уақыт пен материалдық шығындарды талап етеді.

Ақауы бар өнімдерді анықтай алатын өте тиімді сынақ болып электрондық компоненттердің дәнекерленген қосылыстарының дірілдеу сынақтары (виброиспытания) болып табылады. Бұл сынақ өте маңызды, себебі қазіргі кезде құрал-саймандардың ең сенімсіз элементтері дәнекерленген қосылыстар болып табылады.

Жеделдетілген сынақтардың еңбек қарқындылығы классикалық еңбек қарқындылығының 5...10% құрайды деп есептеледі [60], ал ұзақтығы берілген тәртіп бойынша немесе одан екі тәртіпке аз. Зерттеу үдерісінде жаңа материалдардың шаршау кедергісін бағалау үшін, және материалды сапалылығын бақылауда және оның жаппай өндірілген және қолданылған жағдайда оларды сәтті қолданылуға болады. Өзгермелі жүктеме деңгейі бар сынақтарға негізделген әдістер кеңінен қолданылады [61]. Сонымен қатар, үлгіні немесе бөлшегін сынау кезінде ауыспалы кернеулердің амплитудасы

монотондылық (тегіс немесе дискретті) немесе белгілі бір бағдарламаға сәйкес жұмыс уақытына байланысты өзгереді.

Созылу, қысу және иілу жағдайында жедел сынау үшін жүктеу циклдарының саны формулалармен анықталады:

$$N^Y = N^H \cdot K_f \left(\frac{K_t^Y}{K_t^H} \cdot \frac{\sigma_{aЭKB}^H}{\sigma_{aЭKB}^Y} \right)^m \quad (84)$$

$$N^Y = N^H \cdot K_f \left(\frac{K_t^Y}{K_t^H} \cdot \frac{\tau_{aЭKB}^H}{\tau_{aЭKB}^Y} \right)^m \quad (85)$$

(1) және (2) формулаларда:

- N^Y - жедел сынау үшін жүктеу циклдерінің саны,
- N^H – қалыпты сынақтар кезінде жүктеу циклдерінің саны,
- K_f - жүктеме циклдерінің жиілігінің өзгеруіне байланысты шаршау

зақымдануының жинақталу жылдамдығына тәуелділігін сипаттайтын коэффициент;

- K_t^Y – жеделдетілген сынақтар кезінде температура өзгеруімен төзімділік шегіндегі өзгерістерді сипаттайтын коэффициент;
- K_t^H - қалыпты сынақтар кезінде температура өзгеруімен төзімділік шегін өзгертуді сипаттайтын коэффициент;
- $\sigma_{aЭKB}^H$ – қалыпты сынақтар кезінде баламалы қалыпты кернеу;
- $\sigma_{aЭKB}^Y$ - жедел сынау үшін баламалы қалыпты кернеу;
- $\tau_{aЭKB}^H$ - қалыпты сынақтар кезінде эквиваленттік кернеу;
- $\tau_{aЭKB}^Y$ - тездетілген сынақтар кезінде эквиваленттік кернеу;
- m – күш элементтерінің материалдары үшін қажу қисық теңдеуінің көрсеткіші (жеделдетуші коэффициент) (1-кестеде келтірілген).

Қалыпты пайдалану шарттары үшін 20°C кезінде $K_t=1$.

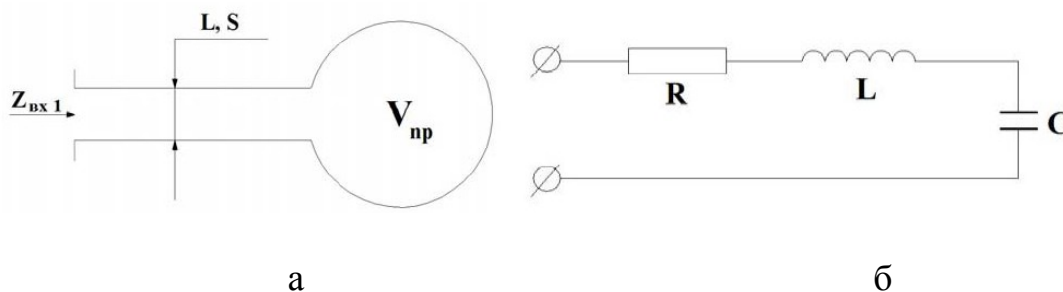
2 кесте

Материал	Число циклов	Значение показателя степени m
Сталь	До 10^8	6
Алюминиевые сплавы	До 10^6	4
	Св. 10^6 до 10^7	6
	Св. 10^7 до 10^8	8

Мұндай т.б. механикалық дірілді күшейткіштер, гидравликалық жетектер, резонаторлар, сондай-ақ әр түрлі құралдарды пайдаланып сынақ экспозиция амплитудасы арттыру мақсатында, резонанстан қозғауға қарапайым жүйе, резонатор (Резонатор Гельмгольца) тармақталған түрінде сынақ

құрастыруды орналасқан, онда резонанстық қуысына түтік болып табылатын, тербелістер деп санауға болады.

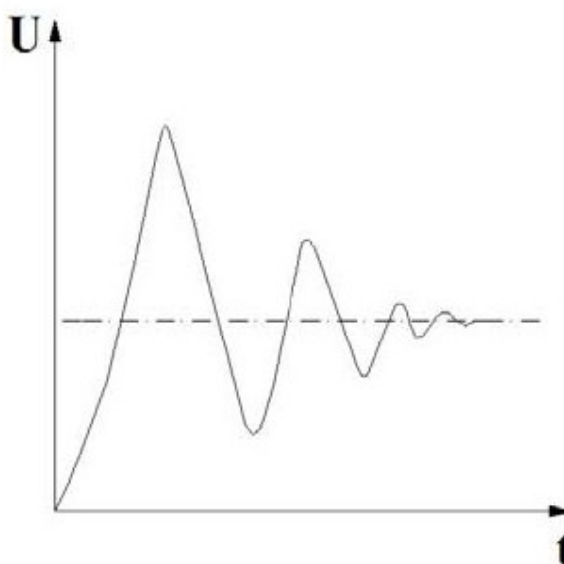
Мұндай резонатор тізбектің динамикалық, аналогтық, белсенді элементтердің сериясы қосылған инерциялық қарсылық және сыйымдылығынан тұрады.



57 сурет- резонаторлық сұлба және оның электрлік аналогы

Сынақ үшін 20 - 25 МПа-дан асатын қысым ауытқуының ауытқуларын іске асыру қажет болған жағдайда резонанстық жүйеде өтпелі процестерді қолдануға негізделген қоздыру схемасын ұсынуға болады.

Егер резонанстық тізбеге кірген кезде қадамдық бұзылулар қолданылса, сыналатын гидродезиттің қуысында сұйылтылған қысымның ауытқуымен бірге өтпелі процесс болады (58-сурет).



58 сурет- резонанстық тізбектегі кірістегі қадамдық наразылықпен өтетін процесс

Бұл тербелістердің жиілігі тізбектің табиғи жиілігі бойынша анықталады. Дымдалған тербелістер диапазоны байланыс арнасындағы белсенді жоғалулармен анықталады және азаятын шығындармен бірге артады [62].

Осы техникаға сәйкес жүктемені имитациялау жүктеменің операциялық түрін және сыртқы әсерлердің эквиваленттік принципін қанағаттандыратын жүктеменің басқа түрлерімен тікелей ойнату арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Әуе кемелерін түсіру және қондыру кезінде, қарудан ату, кенеттен тежеу және т.б. соққы жүктемелері байқалады. Соққы жүктемелерінің әсері: сыналатын өнімге (немесе жоғары) энергияны тиісті ұзақтығы, жеделдету немесе соғыс саны салдарынан беру; әсер етудің энергиясына тең энергиямен резонанстық жиілікте дірілдеу әрекеті; Сызықтық жылдамдықтың әсері, оның құны мен ұзақтығы әсер ету кезінде жеделдетуге тең.

Халықаралық және ресейлік стандарттарда жылдамдық және дірілдеу сынақтарының әдістері көрсетілген, олардың кейбіреулері [63], [64]. Стандартты МИЛЛ-STD-883F METHOD 2005. Вибрацияның шаршауы.

Мақсаты: дірілдің тербелістің берілген жиілік диапазонында беріктігі мен сенімділігіне әсерін анықтау үшін тербелістің шаршау сынақтары жүргізіледі. Жабдық қажетті қарқындылықты, типті және кейінгі бұзылмайтын сынақтардың қажетті дірілдеуін қамтамасыз етуі керек.

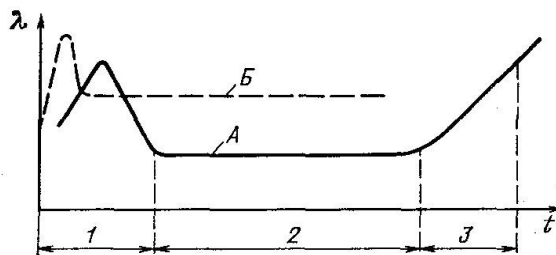
Стандартты МИЛЛ-STD-883F ӘДІСІ 2007.3 Өзгермелі жиілік

Ауыспалы жиілік (ауытқу) сынақтары дірілдің құрамдас бөліктер мен жиындардың берілген жиіліктер ауқымына әсерін анықтау үшін жүргізіледі. Бұл сынақтар жойғыш ретінде жіктеледі. Жабдық қажетті қарқындылықты, типті және кейінгі бұзылмайтын сынақтардың қажетті дірілдеуін қамтамасыз етуі керек.

Діріл сынақтарындағы ақаулар мен кемшіліктерді анықтау механизмдерін көрсетеміз. Құрылғыдағы кемшіліктерді өзара әрекеттесу процесінде құрылымдық материалдардың қартаюының нәтижесінде пайдалану кезеңінде кемшіліктер мен кемшіліктер пайда болу процесі қойылады.

Сыртқы әсерлер, әсіресе жылу және электр жүктемелері, өзара әрекеттесуді және ақауларды генерациялауды жеделдетеді. Нәтижесінде барлық осы процестер аппараттардың істен шығуына әкеледі.

Құрылғылардың сәтсіздікке ұшырау жылдамдығымен және жұмыс жасау уақытынан тәуелділігі үшін жалпыланған қисық, күріш. 4, кез-келген құрылғы мен механизмнің өмірлік циклінің әмбебап заңының көрінісі болып табылады [65], [66].



59 сурет- ақаулардың жылдамдығының қисығы: А - қалыпты пайдалану жағдайында; В-ұлғайған кезде

Бүкіл аймақ бойынша құрылғылардың сәтсіздік дәрежесі тұрақты және экспоненталыққа бөлу, сенімділік сипаттамаларын сипаттау үшін жарамды. Елеулі кемшіліктері бар үлгілердің сәтсіздікке ұшырауынан және жалпы ақаулардың қолайсыз үйлесімінен кейін ақаулар мен кемшіліктерді салыстырмалы түрде біркелкі бөлудің құрылғылары қалады. Нәтижесінде ақауларды ұштастыра отырып, сыртқы әсерлердің жағымсыз факторларымен бірге ақаулардың бір бағытты әрекеттері өте сирек кездеседі. Құрылғыларды пайдаланудағы ұзақ тәжірибе, шын мәнінде қалыпты пайдалану бөліміндегі сәтсіздік дәрежесі тұрақты болып қалмайтынын, бірақ біртіндеп төмендейтінін көрсетті. Бұл жағдай тіпті осы бөлімде үлкен кемшіліктері бар құрылғылар мен олардың қолайсыз комбинациясына, бүлінудің салдарынан құрылғылардың жалпы құрамынан алынып тасталғанын көрсетеді. Қалған ақаулы құрылғыларда кішігірім ақаулар бар, демек, сәтсіздікке бейімділік төмендейді. Температура әсерінің параметрлері деградациялық процестерді сипаттау үшін активация кешені деп аталатын қолданудың жарамдылығын көрсетті. Бұл тұжырымдаманы алғаш рет швед ғалымы С.А. Архениус химиялық реакциялардың абсолюттік температураға қатынасы, жылдамдығының константасы тәуелділігі келесі көріністе сипатталған ерітінділердегі химиялық реакциялар жылдамдығының теориясымен таныстырды:

$$k_p = A \exp(-E_a/kT), \quad (86)$$

мұнда k - Больцмандық тұрақты; A - өзара іс-қимыл реагенттер соқтығысуы жалпы санын сипаттайтын коэффициент; E_a - процестің белсендіру энергиясы.

Бөлшектердің қозғалысы және олардың өзара іс-қимыл (үймелі қоспалардың мысалы, диффузия және жартылай өткізгіш бетінде, нүктенің ауыстыру, жолда және сусымалы ақаулар) туындаған зат концентрациясының өзгеруіне байланысты физикалық және химиялық процестерді кең ауқымды химиялық реакциялардың қатар теориясының негізгі заңдарын қанағаттандырады. химиялық реакция кезінде тозу ұқсастығы экспоненциалды функция құрылғылардың сенімділігі сипаттамаларының тәуелділігін модельдеуге мүмкіндік береді:

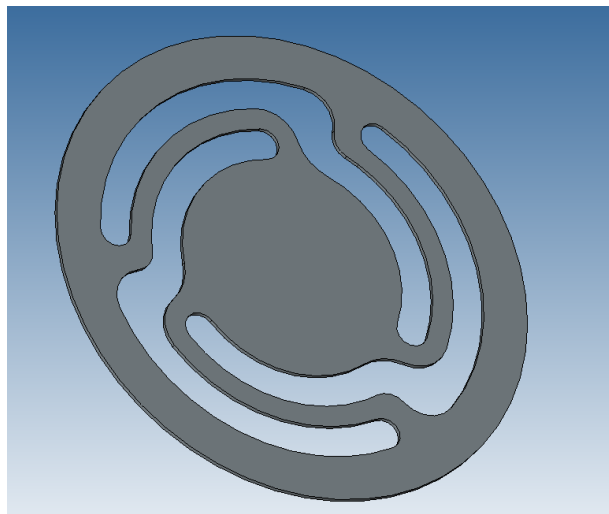
$$X(T) = K_x \exp(-E_a/kT), \quad (87)$$

мұндағы $X(T)$ - сенімділік индикаторларының бірі, мысалы, сәтсіздік дәрежесі, сәтсіздікке ұшырау уақыты, гамма-пайыздық ресурс; K_x - құрылғыны жобалауды сипаттайтын коэффициент, құрылғының технологиялық процесі.

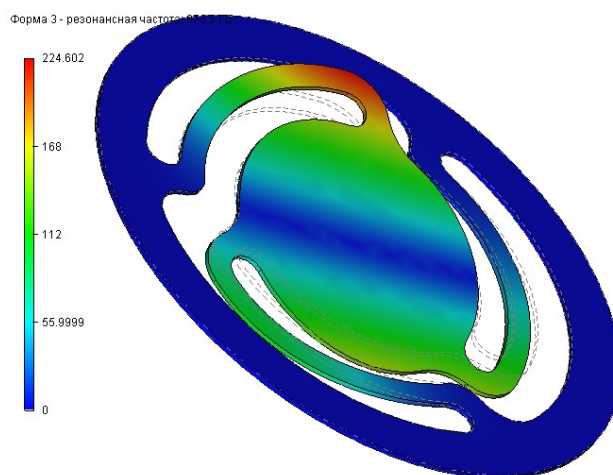
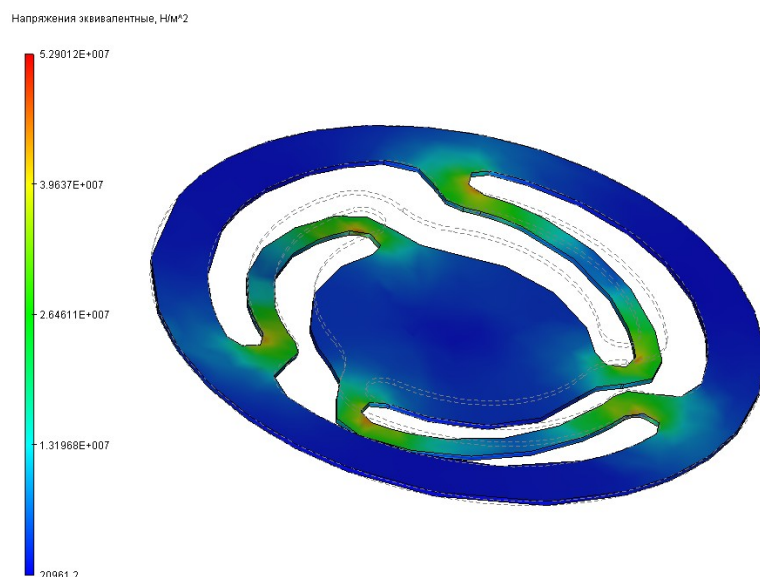
Өрнек (4) сенімділік көрсеткіштерін есептеу үшін тікелей пайдаланыла алмайды, өйткені K_x коэффициенті, әдетте, белгісіз. Алайда, полулогарифмдік шкала бойынша тәуелділікті құрды

$$\ln X(t)=f(T^{-1}) , \quad (88)$$

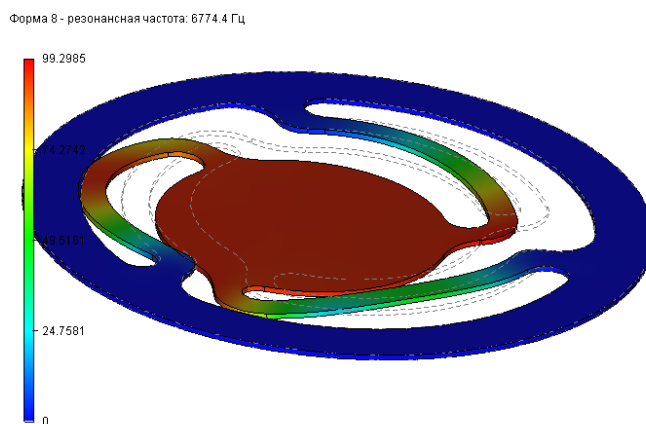
Жеделдетілген сынақтарды өткізу үшін тестіленген бөліктің немесе жинақтың резонанстық жиілігін анықтау қажет, сол үшін мұндай жүйелер мен Solidus Works сияқты имитациялық бағдарламаларды пайдалану ұсынылады. Осыдан кейін, діріл сынақтары барысында теориялық резонанстар тәжірибелік резонанстар бойынша айқындалады, оларда жедел сынақтар жүргізіледі. Суретте. 5 - акселерометрлердің серпімді элементтерін модельдеу нәтижелері



60 сурет -акселерометрдің серпімді элементінің бастапқы моделі

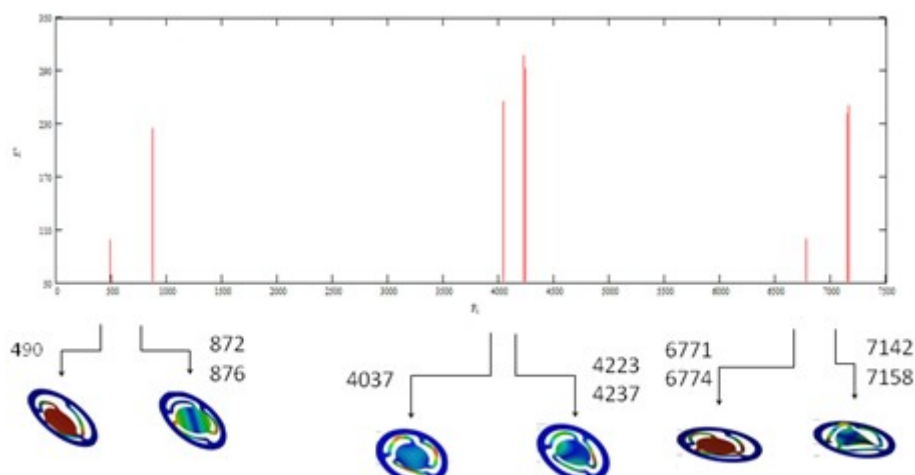


61 сурет- резонанстық жиіліктердегі УЭ деформациялары Жиілікті талдау
876 Гц



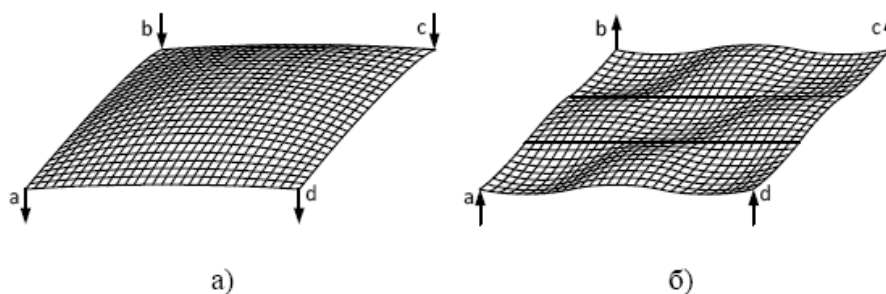
Жиілік талдауы 6774 Гц

62 сурет - жиілікті талдауды акселерометрдің табиғи жиіліктерінің спектрлік сипаттамасы



63 сурет

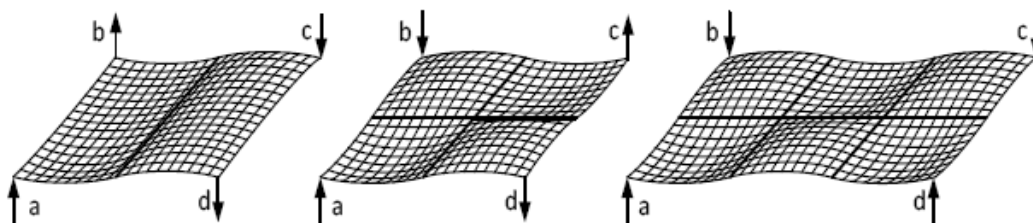
Толқындардың бетінде (антинодтың ортасында) нүктенің тербелістері фокустың 90-шы қадамының артында қалдырылғандықтан, тірек нүктелерінің қозғалысы жақын орналасқан антинодқа қарама-қарсы түрде (көрсеткілермен) көрсетілген.



64 суретте - бірінші және үшінші резонанстық жиілігі нысандары табиғи тербеліс пластина (а - $JX = 1$, $JY = 1$ және Б - $JX = 3$, $JY = 3$)

JX және JY - Ол басқа резонанстық жиілікте табиғи тербеліс нысандары, сондай-ақ осы екі бүтін параметрлерімен байланысты деп түсініледі. Қалың сызықтар түйіндік сызықтарды көрсетеді. Тіркеме нүктесіне дейін фазалы діріл әсері табиғи тербелістердің асимметриялық нысандарында қозуы мүмкін емес.

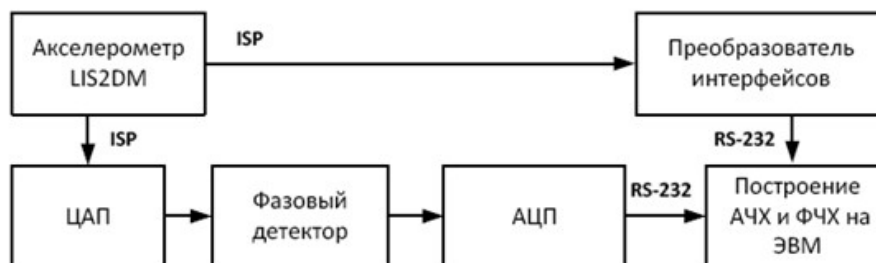
Ол (фазасы 90° табылады) тұрақты толқынның амплитудасы ең жоғарғы болып табылады, бұл кезде оны ескеру керек және қозғалыс бағытына қарсы өзгереді. белгісі - қызықты тербеліс өзінде 180° тең фазалық және антинодқа жақын нысанына бағыты қарама-қарсы, және қозғалысы барынша жеделдету.



65 сурет - $JX = 1, JY = 2$, $JX = 2, JY = 2$ және $JX = 2, JY = 3$ нысандары
табиғи тербеліс пластина

Демек, толық симметриялы осциллограмма ғана JX және JY екі параметрлерін тақ мәндері алынды. Сондықтан, беру күштік діріл әсері нөмірдің табиғи режимдерін қозғау назарға ала, оның тіркеменің нүктелерінде фазалық ығысуын қабылдауға тиіс. Тербелістер нақты әлемде осындай пластина неғұрлым күрделі түрі болуы мүмкін, бірақ олардың кез келген теңдеумен сипатталады тербеліс ретінде ұсынылуы суперпозиция болады.

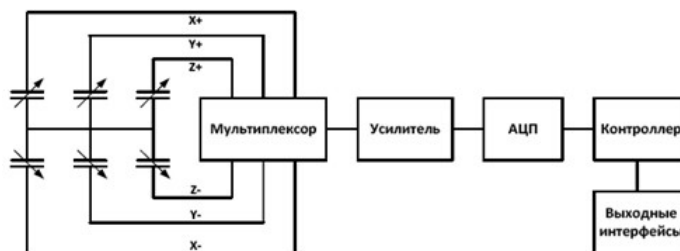
Бір жиілігі қоздыру толқыны сигнал кез келген ықтимал сигнал пішіні осы үш ықтимал фазалық ығысуы бірінде алуға болады: нүктелері, кері фазада $C, B, D; A, D$ противофазе B, C көрсетуі; A, C противофазе D, B көрсетеді. диаграмма суретте көрсетілген іс жүзінде ұсынылған теориялық болжамдарды ЕС құрылымдардың динамикалық сипаттамаларын анықтау үшін тестілеу әдістемесі, қолдану үшін техника мәні барлық тиісті нысандарын кезінде Тақырып қозу, бойлық фаза айырмасы шақтама әсер енгізу көлденең және қиғаш бағытта және тербеліс түйіндер бір хит байланысты бұрмалау алып тастау үшін жиілік сипаттамаларын өлшеуге оңтайлы нүктесін анықтау жиіліктің алдын ала анықталған ауқымы болып табылады. Өлшеу нүктелерінің түзету сынау кезінде алынған амплитудасын талдау арқылы жүзеге асырылады. Байланысты көрсете зерттеу жиілігі және фазалық жауап сандық ұстанымды пайдалана отырып өлшенген. Басқару блогы - бұл жағдайда акселерометрден тұрады. Құрылымдық өлшеу схемасы жиілік және фазалық жауап 66 суретте көрсетілген.



66 сурет

Акселерометр жылдамдығын цифрлық түрде береді SPI интерфейсі. Фазалық жылжуды анықтау үшін сандық сигнал аналогты түрге айналады және фазалық детекторға беріледі. Ол супер-экономикалық, жоғары сапалы,

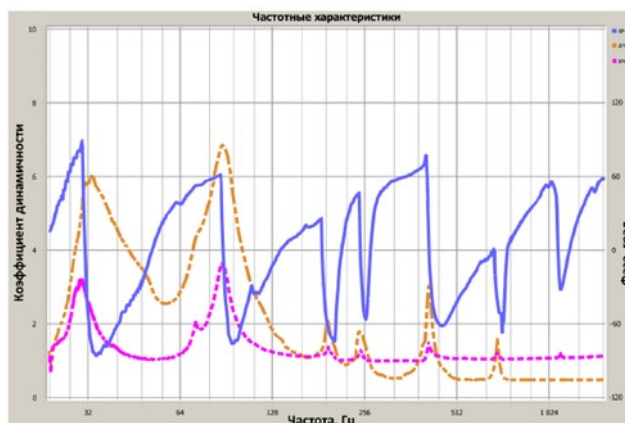
стандартты сериялық сандық түрдегі үшбұрышты акселерометр шығыс деректерін беру интерфейсі. Акселерометр құрылымы 67 суретте көрсетілген LIS2DM акселерометрінің техникалық сипаттамалары:



67 сурет

- Қуат кернеуінің диапазоны 1,71-ден 3,6-ға дейін.
- өлшенген жеделдету диапазоны - 2g / 4g / 8g / 16g.
- Жиілік диапазоны 1 Гц-ден 5,3 кГц-ке дейін.
- Шығу интерфейсі SPI болып табылады.
- Шығыс деректерінің биттік тереңдігі - 8 бит.
- Габариттік өлшемдер - 2мм x 2мм x 1мм. Осы сыныптың сандық акселерометрлері, MEMS компаниясы жасаған технологиялардың шамамен 0,5% дәлдігі бар. Бұл дәлдік жеткілікті резонанстың сенімділігін растау жиіліктер [44].

Импедант-жиілік реакциясының айрықша ерекшелігі (ИХХ) объектіге өлшеу құралдарының әсерінің толық болмауы зерттеу [67]. Пайдаланылған акселерометрлер ОІ бөлігі болып табылады, өйткені ОІ денесіне жабыстырылады және әдеттегі радиоэлементтер болып табылады жер үсті монтаждау. Суреттегі жиілік сипаттамалары көрсетілген Қоспа нүктелерінің фазалық қозуымен ОМ. Сенімділік резонанстық жиіліктердің жиіліктік реакциясы арқылы анықталады Эксперименталды түрде, жиілік реакциясының қисықтары берілген 68 сурет.



68 сурет

Сары және көк қисықтар AFC және ОI FCH болып табылады. Қызыл қисық – бұл ИЧХ ОI, резонанстық жиілік мәндері AFC және PFC сәйкес келеді.

3.4 Пьезо түрлендіргіштері бар интеллектуальды құрылғыларды СЭ моделдеу

Пьезоэлектрлік элементтің салыстырмалы бөлшектенуі немесе деформациясы түсірілетін кернеуге пропорционалды. Ол келесі формула бойынша қарапайым есептелуі мүмкін [43]:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} d_{ij} E \quad (89)$$

$$E = \frac{U}{d_s} \quad (90)$$

мұндағы d_{ij} – материалдың пьезоэлектрлік тұрақты, E - электрлік өрістің кернеуі, U – түсірілген кернеу және d_s - поляризация бағыттындағы пьезоэлектрлік материалдың қалыңдығы. Пьезоэлектриктерде салқындатылған электрлік сипаттамасы бар, бұл гистерезис туралы куәландырады. Материалдың электрлік сипаттамасы келесі формуламен анықталады:

$$D = \epsilon E \quad (91)$$

мұнда D - электрлік жылжу, ϵ диэлектрик ену, E электрлік өріс күші болып табылады. Осылайша механикалық қасиеттер Гук заңымен сипатталады:

$$S = sT \quad (92)$$

Мұндағы S - деформация, s - сәйкестік матрицасы және T - кернеу. Осы екі теңдеулерді біріктірген кезде біз деформацияланған зарядтың түріндегі байланысқан пьезоэлектрлік теңдеулерді аламыз [44]:

$$S = s_E T + d^T E \quad (93)$$

$$D = dT + \epsilon_T E \quad (94)$$

Мұндағы d - пьезоэлектрлік тұрақты. E төменгі индексы нөлдік (немесе тұрақты) электрлік өріс және T нөлдік (немесе тұрақты) кернеуді көрсетеді. T жоғарғы индексі матрицаны ауыстыруды білдіреді. Пьезоэлектрлік жетек үшін қатынас өрнегі үшін (93) теңдеуін пайдалану мүмкін және сол сияқты (94) пьезоэлектрлік сенсорды сипаттау үшін қолданады.

Дифференциалдық теңдеулермен сипатталған физикалық жүйелерді зерттеу әрдайым мүмкін емес. Мұның себебі дәл аналитикалық шешімнің жетіспеушілігі болуы мүмкін немесе шекаралық жағдайлар реалистік шешімдер

үшін тым күрделі болуы мүмкін. Кейбір жағдайларда аналитикалық шешу мүмкін, бірақ соңғы элементтің (СЭ) моделі әлдеқайда практикалық тиімді.

Пьезоэлектрлік жетек орнатылған басқару жүйесінің кіріс пен шығыс арасындағы жиілікке жауап беру функциясын сандық түрде анықтау қиын емес. Бұл жұмыс әр түрлі дизайн нұсқаларында белсенді құрылымның іс әрекетін зерттеу үшін қажет. Жұмыстың орындалуын алға жылжыту мақсатында, бұл жобалар қайта қарастырылып, жүйе реакциясы қайта қаралды. Консольды түйіндерге ең қолайлы материалдарды анықтау қажеттілігі туындады. Түйіндердің өлшемі және одан да маңызды сенсорлардың орналасуы мен конфигурациясы СЭ модельдеу құралдарымен зерттелді. Осы жобалық әрбір итерациялар жүйенің модальды, уақыт және жиілік сипаттамаларын есепке алуы керек.

Мультидисциплинарлы модельдеу үшін қол жетімді қатарында белсенді құрылымдардың үлгілерін дайындау үшін пьезоэлектрлік қасиеттері бар элементтер бар. (95) және (96) теңдеулері соңғы элементтер негізінде пьезоэлектрлік есептерді құруға мүмкіндік береді:

$$\begin{pmatrix} M & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{v} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_u & 0 \\ 0 & C_v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_u & K_z \\ K_z^T & K_v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F \\ L \end{pmatrix} \quad (95)$$

мұнда C_u құрылымдық демпфир үшін жауап береді, диэлектрлік шығындар үшін C_v және M - масса матрицасы. u және v терминдері және олардың бірінші және екінші ретті туындылары құрылымдық және электрлік еркіндік дәрежелерін білдіреді. K_v - анизотропты диэлектрлік сіңгіштік, K_u - анизотропты құрылым және ең бастысы K_z байланыстыру үшін жауапты - немесе жай ғана пьезоэлектрлік эффектіні сипаттайды.

d пьезоэлектрлік матрица түрінде енгізеді. Содан кейін, бұл ішінде тұрақты температура кезіндегі деформация матрицасын пайдаланып пьезоэлектрлік кернеу матрицасына түрленеді. Біз конститутив теңдеулерді деформация заряды, кернеу заряды, созылу түрінде жаза аламыз. Деформация заряды мен кернеу зарядының арасындағы айырмашылық есептеледі [33]:

$$\epsilon_S = \epsilon_T - d s_E^{-1} d^T \quad (96)$$

$$e = d s_E^{-1} \quad (97)$$

$$c_E = s_E^{-1} \quad (98)$$

Мұндағы ϵ электрлік матрица болып табылады, s оның құрамында созылу коэффициенті және e кернеу зарядының пьезоэлектрлік байланыс коэффициенті. T , S , E төменгі индекстер мәндері тұрақты кернеу, деформация және электрлік өріс кезіндегі өлшемдерін көрсетеді.

3.5 3-ші бөлімге қорытынды

Материалдардың механикалық қасиеттерін зерттеу қажетті өнім сапасын қамтамасыз ету үшін қажет. Өнімнің сапасы туралы мәселе қазір өте өзекті болды. Өндірушілер тұтынушылардың қажеттіліктерін үнемі зерделеп, олардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін айналысады. Заманауи жабдықтарды пайдалану жағдайларын модельдеуге арналған сынақтар жүргізу материалдардың механикалық қасиеттерін қажетті дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Сынақ нәтижелері өндірістік және басқа сынақтарда одан әрі пайдалану үшін қолданылады.

Өндірістік процессте, соның ішінде сенімділікке арналған сынақтардың көп мөлшерде сынау қажеттілігі өндірістік және технологиялық операциялар әлі де қатаң басқаруға жатпайтынына байланысты. Материалдардың физикалық-химиялық қасиеттері, беткі қабаттың сапасы, ішкі аймақтардың қасиеттері, геометриялық өлшемдердің дәлдігі, буындардың беріктігі және өнімнің сенімділігін анықтайтын басқа сипаттамалар процесстік құжаттамада көрсетілгендей шарттарда әр түрлі болады. Сондықтан, бақылау, тексеру және сынау дайын өнімдерді өндірудің белгілі бір кезеңдерінде қажет.

Өндірістік процесті жетілдірудің маңызды міндеттерінің бірі олардың кездейсоқ табиғатын жоюға болатын технологиялық үдерістерді автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізу болып табылатынын анықтады. Сонда дайын өнімдерді сынаудың рөлі мен маңызы төмендейді. Компьютерлердің автоматтандырылған жобалануын енгізу басқару операциялары көлемін едәуір төмендетеді. Алайда, өндірістің осы кезеңінде бұл мәселе шешілмейді.

Өндірістік сынақтар өнімнің сапасын қамтамасыз ету мәселесін шешуде өте маңызды рөл атқарады. Өндірістік сынақтарды жетілдірудің маңызды бағыттарының бірі - оларды болжау әдістерінің көмегімен ақпараттылықты арттыру.

Әрі қарай ілгерілеу үшін жаңа идеялар қажет. Қарастырылып отырған жұмыс болашағы зор. Ұсынылып отырған әдіс одан әрі материалтану және аспап жасау облысында материалдар мен бөлшектерді динамикалық жүктемелерге сынақтардың ұзақтығын қысқарту мәселесінде жетілдірілуі әбден мүмкін.

4- БӨЛІМ. МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДІ ҚҰРУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ

4.1 Объектінің математикалық моделін жасау

Осы жүйенің негізгі элементі электродинамикалық вибратор болғандықтан, модель динамикасы келесі дифференциалдық теңдеулер жүйесі арқылы сипатталады [68]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS_1}{dt} = V_1; \\ \frac{dS_2}{dt} = V_2; \\ m_1 \frac{dV_1}{dt} = -(c_1 + c_2)S_1 + c_2S_2 - \beta(V_1 - V_2) + k_i I; \\ m_2 \frac{dV_2}{dt} = c_2S_1 - c_2S_2 - \beta(V_1 - V_2) + I; \\ L \frac{dI}{dt} = -a_l V_1 - IR + U \end{array} \right. \quad (99)$$

мұндағы

S_1 -қозғалмалы жүйенің орынауыстыруы;

S_2 -серпімді негізге бекітілген, вибратордың корпусының орынауыстыруы;

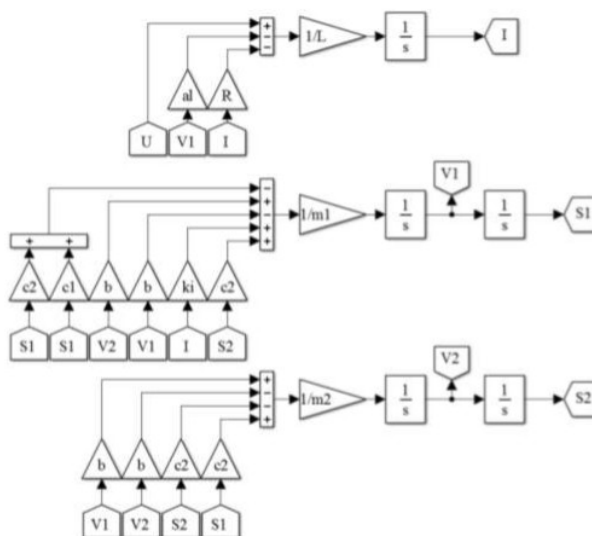
β - демпферлеу коэффициенті;

c_1 - ілгектің қатандық коэффициенті;

c_2 - вибратордың бекітуінің қатандық коэффициенті;
 k_i - вибратордың берілу коэффициенті;
 m_1 - қозғалмайтын бөліктің салмағы;
 m_2 - вибратордың қозғалмалы бөлігінің салмағы;
 L - қозудың орамының индуктивтілігі;
 a_1 - катушканың орам сандарына тәуелді құрылым коэффициенті;
 U - орамға берілетін кернеу.

Берілген жүйе бесінші ретті.

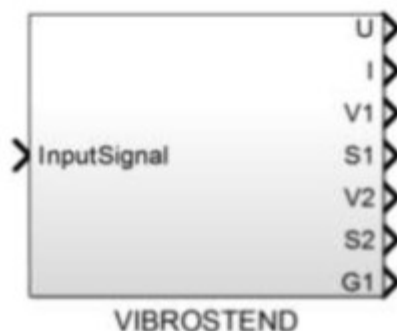
109 тендеулер жүйесі негізінде электродинамикалық вибратордың математикалық моделі құрылды (69 сурет.). Бұл модель MATLAB бағдарламалық ортасында жасалды. Бұл үлгіні іске асыратын бағдарлама А қосымшасында келтірілген [69].



69 сурет - объектінің математикалық моделі

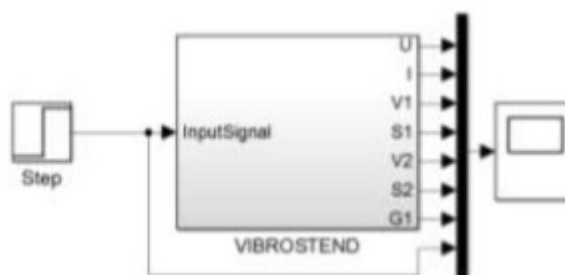
Математикалық модельдеу

Электродинамикалық вибратордың математикалық моделіне эксперимент жүргізу үшін «VIBROSTEND» функционалдық блок құрылды, оның құрамында қажетті математикалық модель бар (70 сурет).

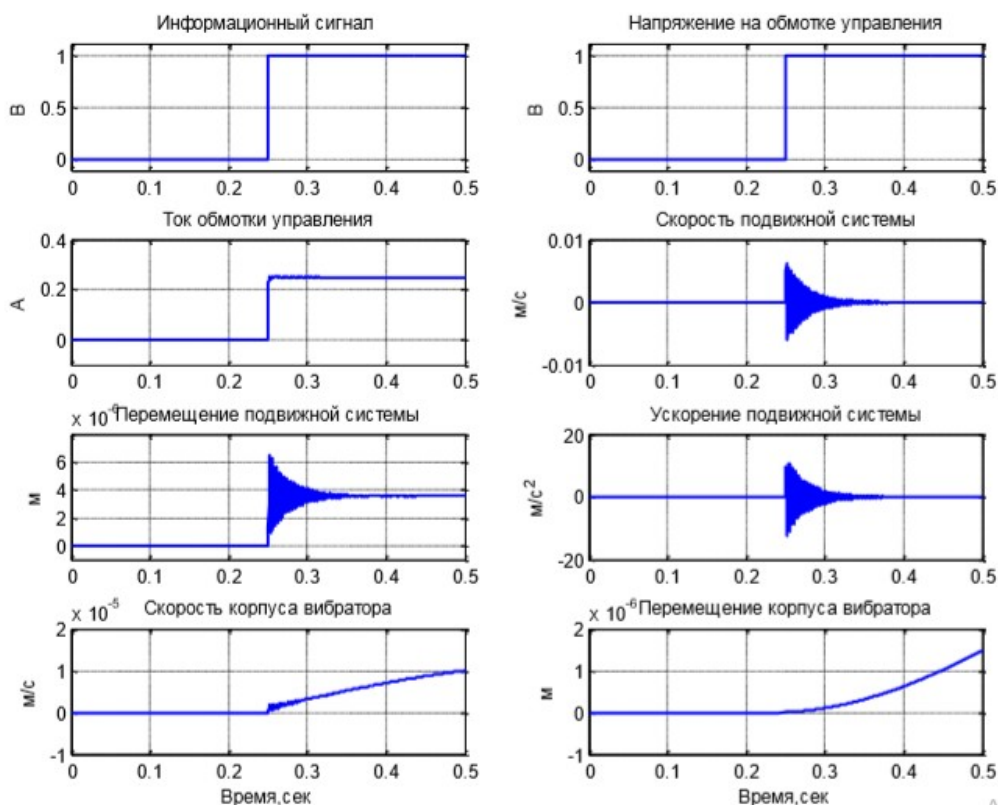


70 сурет - “VIBROSTEND” функционалды блогы

Модельдеудің бірінші кезеңі - модельдің реакциясын қадамдық әсерге зерттеу 71 сурет. Алынған нәтижелер 72 суретте көрсетілген.



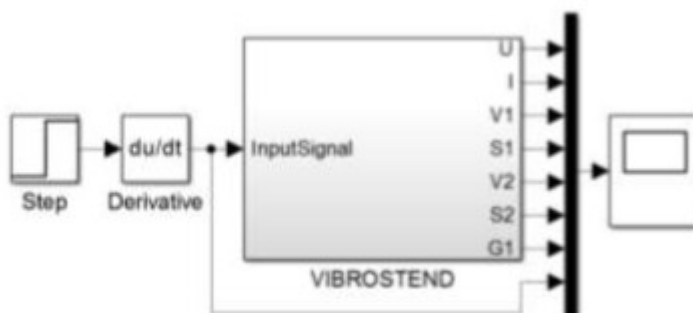
71сурет - объектіні қадамдық әсерге зерттеу



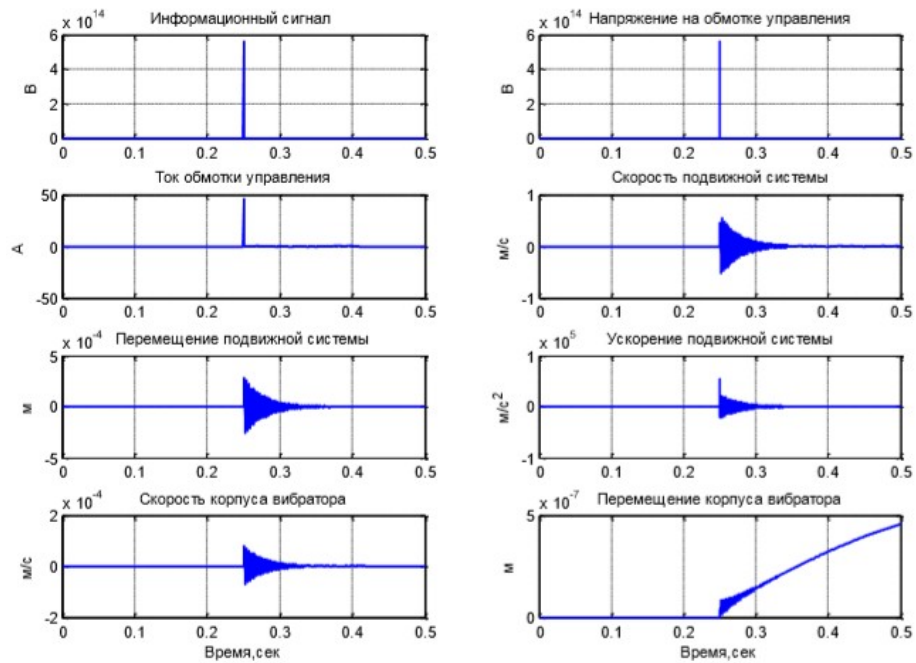
72 сурет – модельдің реакциясын қадамдық әсерге зерттеу

72 суретте «VIBROSTEND» функционалдық блогының «кіріс» сигналдарының мәні сол жағында және «шығыс» сигналдарының мәні оң жағында салыстырмалы түрде модельдің реакциясын қадамдық әсерге зерттеу көрсетілінген.

Келесі кезеңде импульстік әсерге модельдің реакциясын зерттеу жүргізіледі (73 сурет). Алынған нәтижелер 74 суретте көрсетілген.



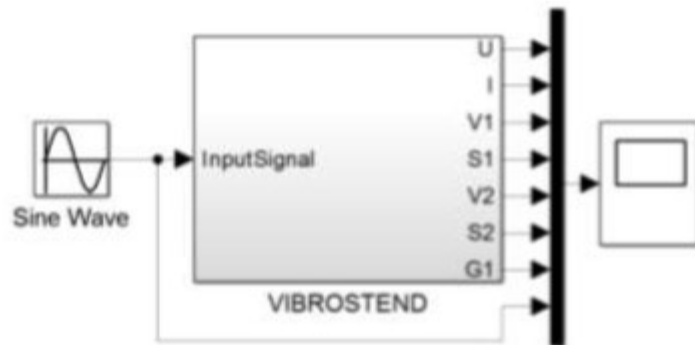
73 сурет – объектіні импульстік әсерге зерттеу



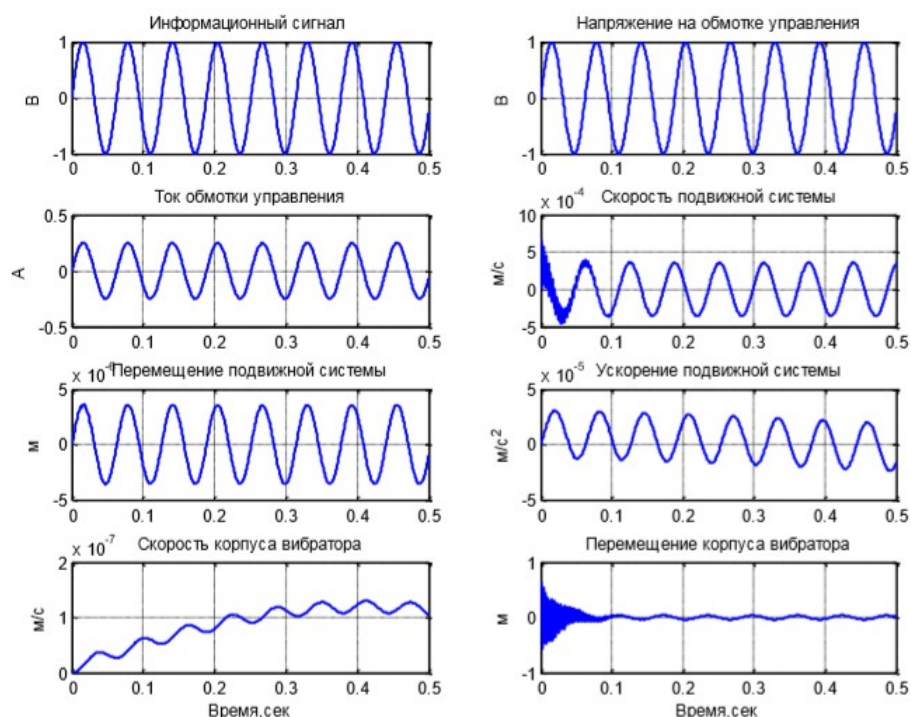
74 сурет– импульстік әсерге модельдің реакциясы

74 суретте «VIBROSTEND» функционалдық блогының «кіріс» сигналдарының мәні сол жағында және «шығыс» сигналдарының мәні оң жағында салыстырмалы түрде модельдің реакциясы импульстік әсерге зерттеу көрсетілінген.

Алдыңғы сатыдағы сияқты гармоникалық сигналға модельдің реакциясын зерттеу жүргізіледі (75-76 сурет).



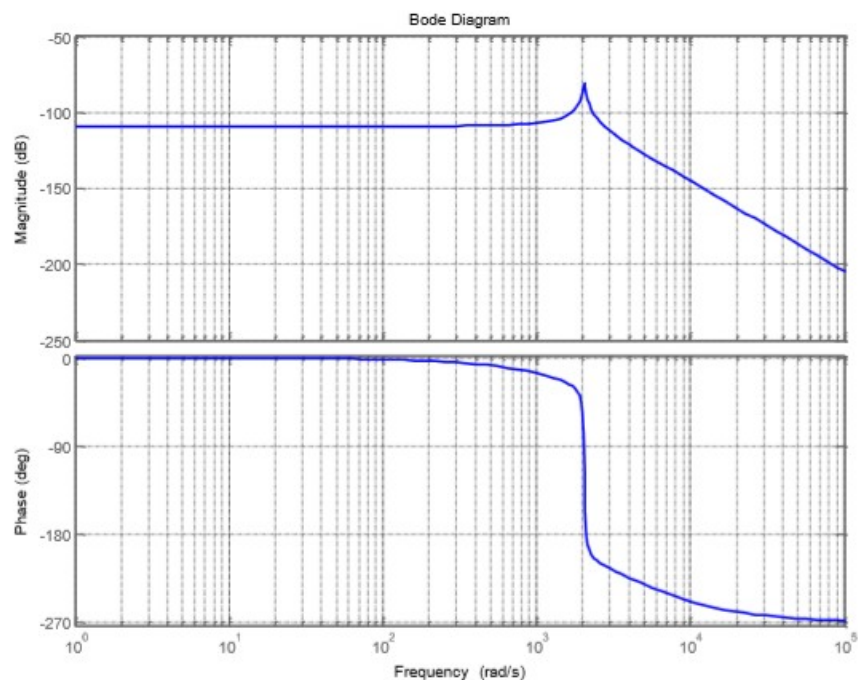
75 сурет - объектіні гармоникалық әсерге зерттеу



76 сурет – гармоникалық әсерге модельдің реакциясы

76 суретте «VIBROSTEND» функционалдық блогының «кіріс» сигналдарының мәні сол жағында және «шығыс» сигналдарының мәні оң жағында салыстырмалы түрде модельдің реакциясы гармоникалық әсерге зерттеу көрсетілінген.

Модельдеуді зерттеудің соңғы сатысында жүйенің САС және ФЖС жасалды. Бұл сипаттамалар 77 суретте көрсетілген.



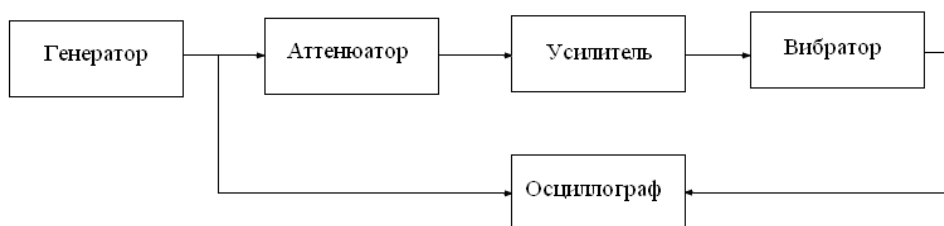
77 сурет – САС және ФЖС математикалық моделі

4.2 Жүйені экспериментальды зерттеу және оның сипаттамаларын бағалау

4.2.1 TIRA вибростендінің параметрлік идентификациясы

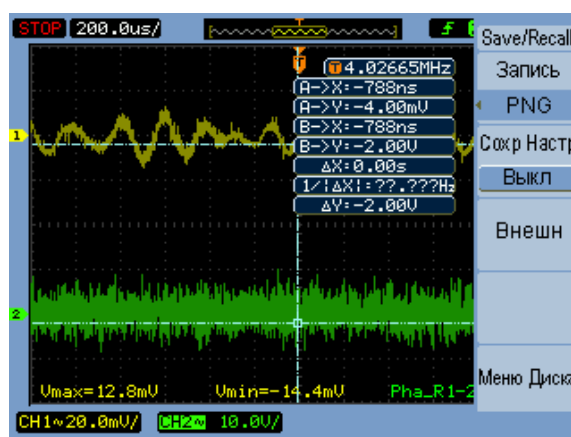
Пенза қаласында өткен ғылыми тағылымдамада «Ф3ҒЗИ» ААҚ НИМК-15 бөлімінде TIRA TV5200 вибростендінде тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Жұмыс үстелінің функционалды схемасы 78-суретте келтірілген.

Сигнал туындату, вибратор үстелін ауыстыру үшін Agilent фирмасының 33220A моделі сигнал формасының тікелей сандық синтезі негізінде жасалған. Бұл принцип жоғары жиіліктің тұрақтылығы мен шығыс сигналдың деңгейінің дәлдігін қамтамасыз етеді және синусоидальды, тікбұрышты, ара тәрізді пішіндегі, сонымен бірге шулы сигналдарын түрлендіреді.



78 сурет – жұмыс үстелінің функционалды схемасы

Деректерді файлға сақтау үшін AgilentTechnologies DSO 1012A сандық есте сақтайтын осциллограф пайдаланылды. Agilent 33220A генераторының көмегімен вибростендтің кірісіне «ақ шу» деп аталатын сигнал беріледі. осциллографтың бірінші кірісіне вибростендтен (сары), ал осциллографтың екінші кірісіне генератордан (жасыл) сигнал берілді. Генератор мен вибростендтің шығыс сигналдары 79-суретте көрсетілген.



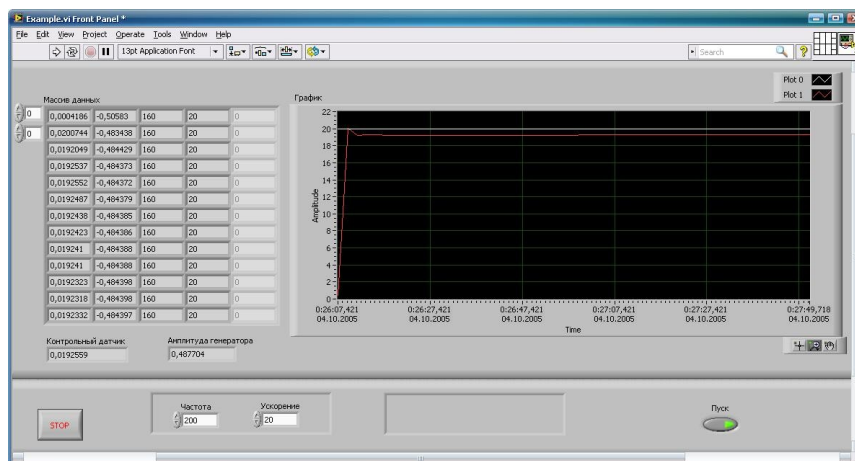
79 сурет- генератор мен вибростендтің шығыс сигналдары

Осциллографтың көмегімен біз бұл деректерді Dann.csv файлына сақтаймыз. Алынған деректер жиынын Matlab бағдарламасында есептейміз.

System Identification Toolbox пакетінің көмегімен параметрлік сәйкестендіру (идентификация) жүргіземіз.

ЖК-да екі түрлі реттегіш бағдарламаларын іске асырамыз.

Бірінші LQG реттегіш негізінде басқару бағдарламасы іске асырылды. 80- суретте берілген бағдарламаның терезесі келтірілген.



80 сурет. LQG реттегіш негізінде вибростендті басқару бағдарламасы

Екінші PID реттегіш негізінде басқару бағдарламасы іске асырылды. 81 суретте берілген бағдарлама терезі көрсетілген.



81- сурет PID реттегіш негізінде вибростендті басқару бағдарламасы

PID реттегіш негізінде бағдарлама LQG реттегіші бар жүйенің сипаттамасына салыстырмалы талдау жасау үшін және оның артықшылығы мен кемшіліктерін анықтауға қажет.

4.2.2 Дірілді сынақтарды БЖ синтездеу және талдау және PID контроллері синтезі.

PID контроллері өнеркәсіптік автоматтандырылған басқару жүйелерінде кеңінен қолданылады. Бұл контроллердің құрылымы өте икемді болып

табылады, бұл көптеген қосымшаларда оны пайдаланудан тамаша нәтижелер алуға мүмкіндік беретін эксперименталды түрде дәлелденді.

Осы түрдегі контроллерлер пропорционалды, интегралды және дифференциалданатын компоненттерден тұрады.

Пропорциональды әрекет басқару қатесінің ағымдағы мәніне тәуелді компонент ұсынады. Пропорционалды контроллер кез-келген тұрақты нысанды басқара алады, бірақ бұл шектеулі сипаттамаға және нөлдік емес орнықты қатеге әкеледі. Бұл соңғы шектеу оның жиіліктік сипаттамасы үшін барлық жиіліктермен шектелуіне байланысты.

Екінші жағынан, интегралдық әрекет жинақталған қатеге пропорционалды контроллердің басқару әрекетін қалыптастырады. Мұндай әрекет бұл бақылаудың баяу тәсілі екенін білдіреді. Бұл әрекет жиілік реакциясының төмен жиілікті бөлігінен де байқалады. Интегралды әдіс нөлдік жиілікте объектінің мінсіз инверсиясына қол жеткізуде іргелі рөл атқарады. Бұл сатылы эталонды сигнал және қадамдық тербеліс кезінде орнықты нөлдік қателігін береді. Басқа әдістерден оқшауланған интеграл әдісі екі маңызды кемшіліктерге ие: оның плюсы бастапқы координаттарда контурдың орнықтылығы үшін зияны және сонымен бірге «жинақтау» деп аталатын жағымсыз әсерді (орындаушы механизмнің қаныққан аймағының қатысуымен) тудырады.

Дифференциалды әрекет басқару қателігінің жылдамдығының өзгерумен анықталады. Демек, бұл тез басқару әдісі, ол соңында тұрақты қателіктер болған кезде жоғалып кетеді. Мұндай әдіс кейде болжау әдісі деп аталады, себебі оның қателіктердің өзгеру тенденциясынан тәуелділігі [70].

Дифференциациялау әдісінің негізгі шектеуі құрылғының өзгерістерінен немесе өлшеу шуының өзгерістерінен туындайтын қателіктер тәріздес, оның жоғары жиілікті қателіктерге үлкен басқару сигналдарын қалыптастыру тенденциясында.

Кейбір жағдайларда кейбір компоненттер пайдаланылмайды және мұндай контроллерлер P, I немесе PI контроллер деп аталады.

PID контроллері арқылы жүзеге асырылатын басқару келесі формуламен сипатталады:

$$u(t) = Ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (100)$$

мұндағы

u - контроллердің шығу мәні;

e - қате немесе қателік сигналы;

K - пропорционалды коэффициент;

T_i - интеграциялық тұрақты;

T_d - дифференциалдау тұрақты;

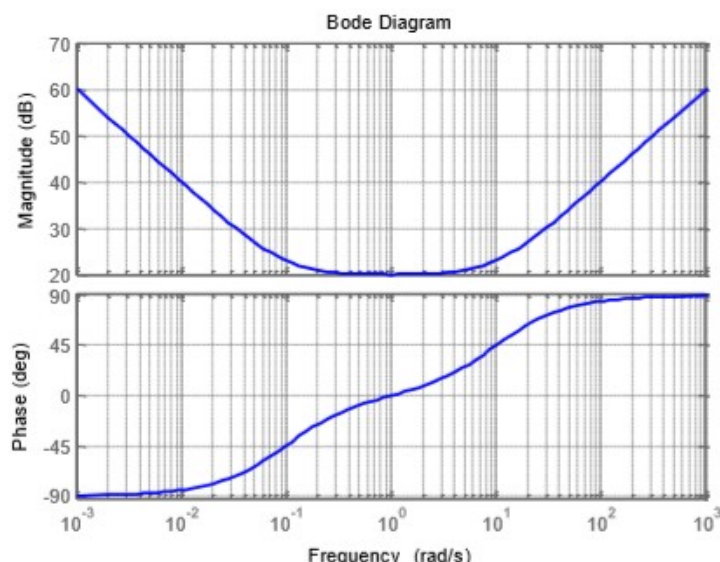
t - уақыт.

PID контроллерінің берілу функциясы келесідей:

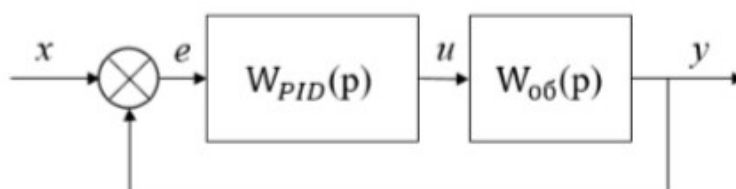
$$W_{PID}(p) = K \left(1 + \frac{1}{K T_{ip}} + \frac{T_{dp}}{K} \right) \quad (101)$$

Берілу функциясының (101) жиіліктік сипаттамасы 82 суретте көрсетілген.

Кері байланыс жүйесіндегі PID контроллеріне негізделген қарапайым басқару схемасы 83 суретте келтірілген. Бұл схема бір өлшемді нысанның шығу параметрін басқаруға арналған.



82 сурет– $K=10$ $T_I=1$ $T_D=1$ мәндеріндегі PID контроллерінің САС және ФЖС



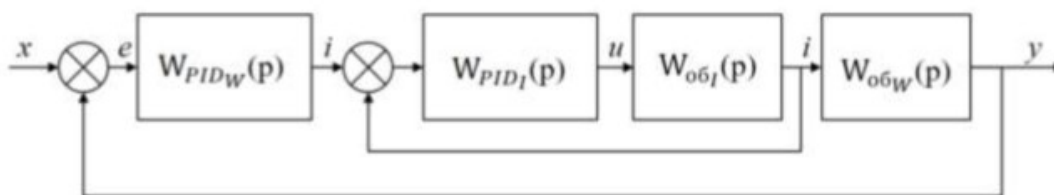
83 сурет – PID контроллерді жүйеге қолданылуы

PID контроллерді баптаудағы толық сипаттамалары мен тәсілдері келтірілген [71].

Вибростендтің математикалық моделін үдету параметрін реттеуден басқа, математикалық модельдің тоқтық параметрлер мәндерін шектеулі ауқымда реттеу қажет. Кері байланыс жүйесінде үдетуді реттеу үшін PID контроллерін пайдалану ток сигналының мәнін шектей алмайды, себебі бұл басқару схемасы бір параметрді реттеуге арналған. Вибростендтің математикалық моделінің ток параметрінің мәнін реттеуді шектеуді жүзеге асыру үшін бағынышты реттеу әдісін қолданамыз.

84 суретте бағынышты реттеу принципіне негізделген жүйенің құрылымы көрсетілген. Жүйеде $W_{pid}(p)$ реттегіштері бар белгілі бір реттеуші контур саны қарастырылған. Контроллердің сыртқы контурынан шығатын сигнал ішкі

контур үшін бекітілген мән болады, яғни әр ішкі контурдың жұмысы сыртқы контурға бағынышты.



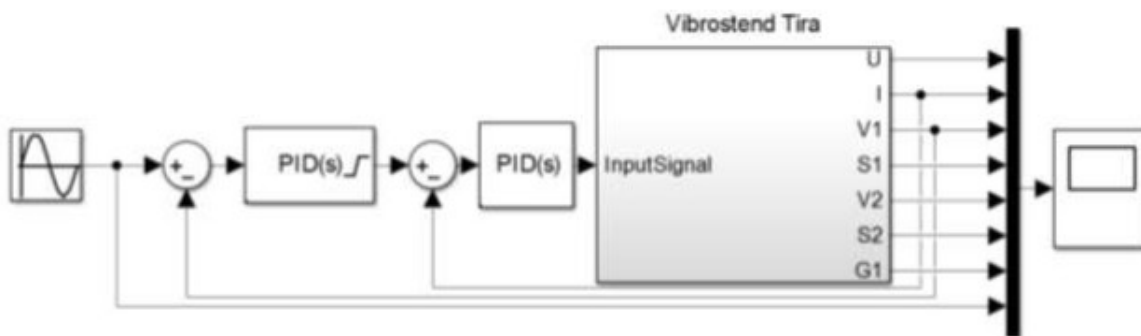
84 сурет – PID контроллері негізінде, бағынышты реттеу принципін іске асыратын, басқарудың құрылымдық схемасы.

Бұл жүйелер келесі артықшылықтарға ие:

1. Жүйені қарапайым синтездеу. Синтездің бастапқы кезеңі ішкі контурды баптау. Кез келген контур құрылымында контроллер болады. Бұл контроллердің көмегімен оған контурдың тұрақты тоғының ең үлкен мәні әсер етпейді.
2. Бұл әдіс жүйенің аралық параметрлерінің ең үлкен мәндерін шектейді. Бұл белгілі бір мәндері бар сыртқы контурдың контроллердің басқару сигналының шектеулерімен жүзеге асырылады.

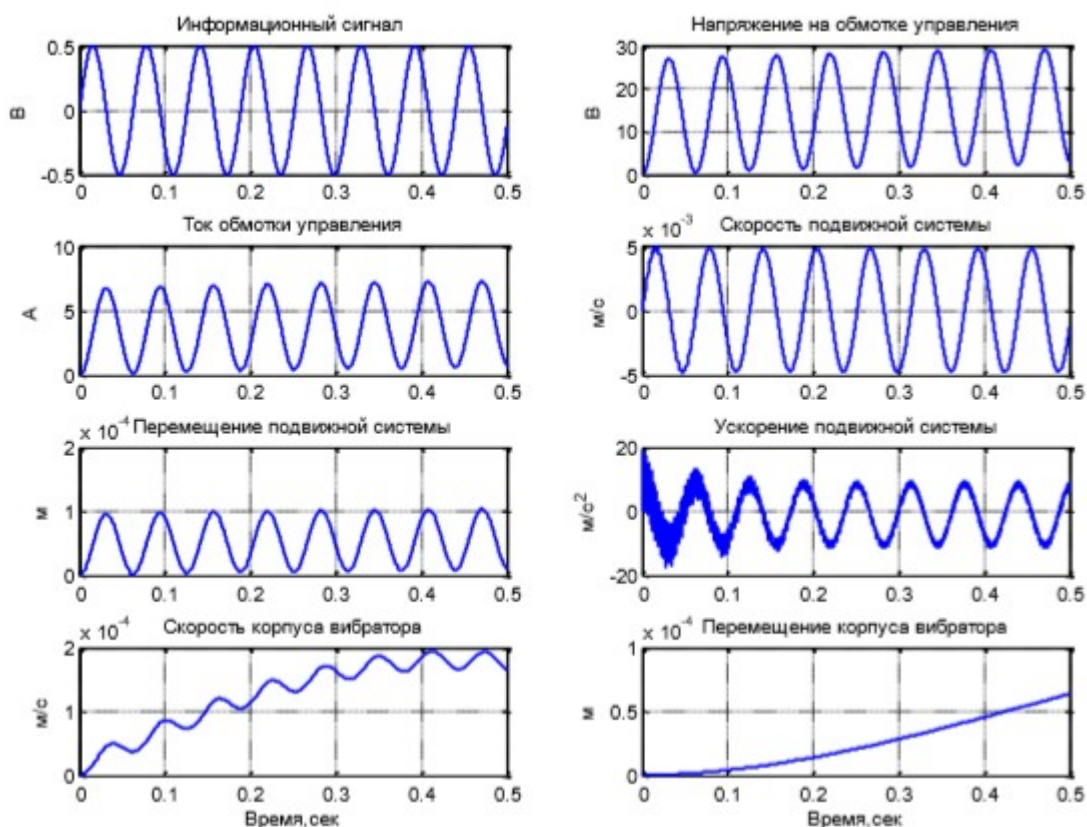
85 суретте жүйенің математикалық моделі көрсетілген, ол бағынушы реттеу принципімен басқарылатын электродинамикалық дірілдеу стенді. Бұл жүйеде екі контур бар.

Вибростендтің математикалық моделіндегі басқару орам тоғының параметрінің мәнін ішкі контур басқарады. Сыртқы контур діріл стендінің жылжымалы бөлігінің жылдамдығын реттеу үшін және басқару орам тоғының параметрінің шекті мәнін шектейді.



85 сурет – бағынышты реттеуді іске асыратын, жүйенің математикалық моделі.

Электродинамикалық вибростендтің басқару жүйесінің математикалық моделінің компьютерлік модельдеу нәтижелері, бағынышты басқару негізінде реттеуді жүзеге асыру 86 суретте келтірілген.



86 сурет – PID контроллері негізінде, вибростендтің бағынышты басқару жүйесінің компьютерлік модельдеу нәтижелері

86 суретте «VIBROSTEND TIRA» функционалдық блогының «кіріс» сигналдарының мәні сол жағында және «шығыс» сигналдарының мәні оң жағында салыстырмалы түрде – PID контроллері негізінде, вибростендтің бағынышты басқару жүйесінің компьютерлік модельдеу нәтижелері көрсетілінген.

4.2.3 ACOR оңтайлы синтезі.

Соңғы уақытта динамикалық реттеуіштерді жобалау үшін гаусстық басқарушылар мен ұйытқыштарды есепке ала отырып, квадраттық өлшемі бойынша сызықтық оңтайлы басқаруды құруға негізделген тәсіл кеңінен қолданылады. Мұндай жобалаудың нәтижесі сызықтық квадраттық Гаусс реттегіші (LQG-реттегіш) деп аталады.

LQG-реттегіш жүйенің шығуларын берілген мәнге жақын ұстап тұруға арналған. Сонымен қатар, басқару объектісіне кездейсоқ қозу және басқару әсер етеді, ал реттегіш оның кіруіне келіп түсетін кездейсоқ кедергілерге наразы өзгерістердің негізінде басқаруды қалыптастырады.

Басқару объектісін қарастырайық, оның қозған қозғалысы (102) теңдеумен сипатталады [72]:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu; x_0(t_0) = x_0; t_0 = 0, \quad (102)$$

мұнда

A және B - берілген сандар матрицалары.

Реттеуіштердің теңдеуі C сандар матрицасын табуға қажет:

$$u = -C^T x, \quad (103)$$

жүйенің асимптотикалық тұрақты қозғалыстарында:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu, \\ u = -C^T x. \end{cases} \quad (104)$$

x_0 бастапқы еркін ауытқуларымен қозғанда, функционал минимизацияланады:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T N u + u^T R u) dt, \quad (105)$$

мұнда

Q, R, N - реттеу сапасы мен басқару шығындары арасындағы арақатынасты анықтайтын және пайдаланушы тағайындайтын салмақтық матрицалар.

Басқару заңының (103) C матрицасын кейде реттеуіштің күшейту коэффициенттерінің матрицасы деп атайды.

Синтездеудің бірінші қадамында айнымалы күйдегі кері байланыстар коэффициенттері есептелініп және (105) сапа критерийін минимизациялайтын (103) басқару заңы табылады. Кері байланыс матрицасы Риккати алгебралық теңдеуінің шешімі сияқты есептелінеді [73]:

$$A^T S + SA - (SB + N) R^{-1} (B^T S + N^T) + Q = 0. \quad (106)$$

Алынған (106) теңдеудің шешімінен C матрицасы келесі өрнекпен анықталады:

$$C = R^{-1} (B^T S + N^T). \quad (107)$$

LQG-реттегіш реттеу объектісімен оң кері байланыспен қосылуы тиіс. 87 суретте сызықтық квадраттық оңтайлы басқару заңын іске асыру сұлбасы көрсетілген.

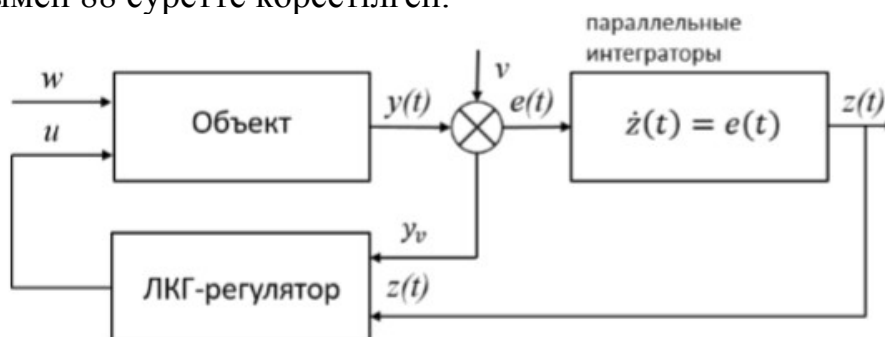


87 сурет – Сызықтық квадраттық оңтайлы басқару заңының сұлбасы

LQG регуляторда іске асырылатын оңтайлы басқару интегралдаушы қасиеттермен қамтамасыз етілмегеніктен, объект шығысына интеграторлар жиынтығын орналастыру қажет. Шығысында интеграторлар жиынтығы бар объектіні сипаттайтын теңдеулер жүйесі келесі түрде болады [74]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax(t) + Bu(t), \\ y = -Cx(t), \\ \frac{dz}{dt} = -y(t). \end{cases} \quad (108)$$

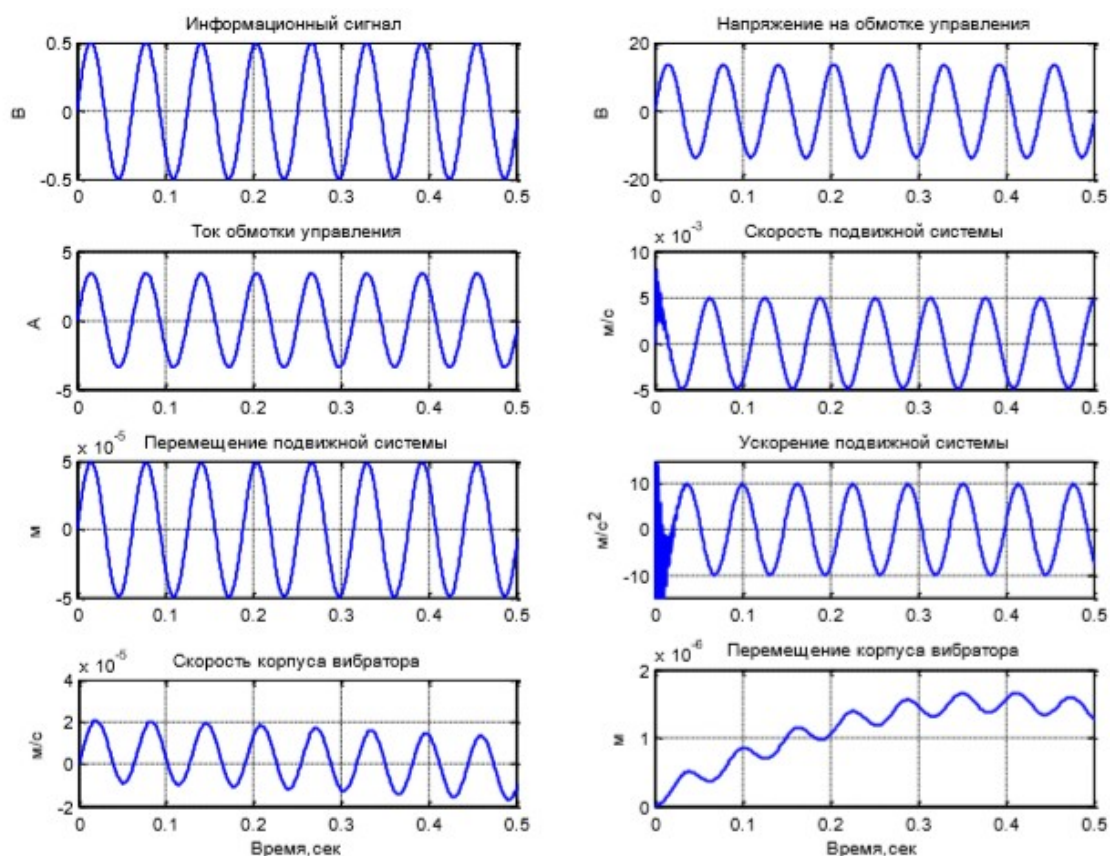
Жүйенің қорытынды құрылымы сызықтық квадраттық гаусстық оңтайлы басқару заңымен 88 суретте көрсетілген.



88 сурет – интегралдаушы қасиеттері бар, сызықтық квадраттық гаусстық оңтайлы басқару заңына негізделген жүйенің құрылымы

89 суретінде электродинамикалық дірілдік стандартті сызықтық квадраттық гаусстық оңтайлы басқару заңына негізделген басқарудың математикалық моделі көрсетілген. Реттеу шығыс параметрлері моделдері бойынша іске асатын кері байланыстардың жиынтығынан тұратын LQG-контроллері есебінен жүзеге асырылады.

Орнықтылыққа Б қосымшасында келтірілген, "MModLQG" бағдарламасында есептелген кері байланыстардың күшейту коэффициенттерін енгізу есебінен қол жеткізіледі. Жүйенің дәлдігі жылдамдық бойынша кері байланысқа интеграторды енгізу есебінен іске асырылады.



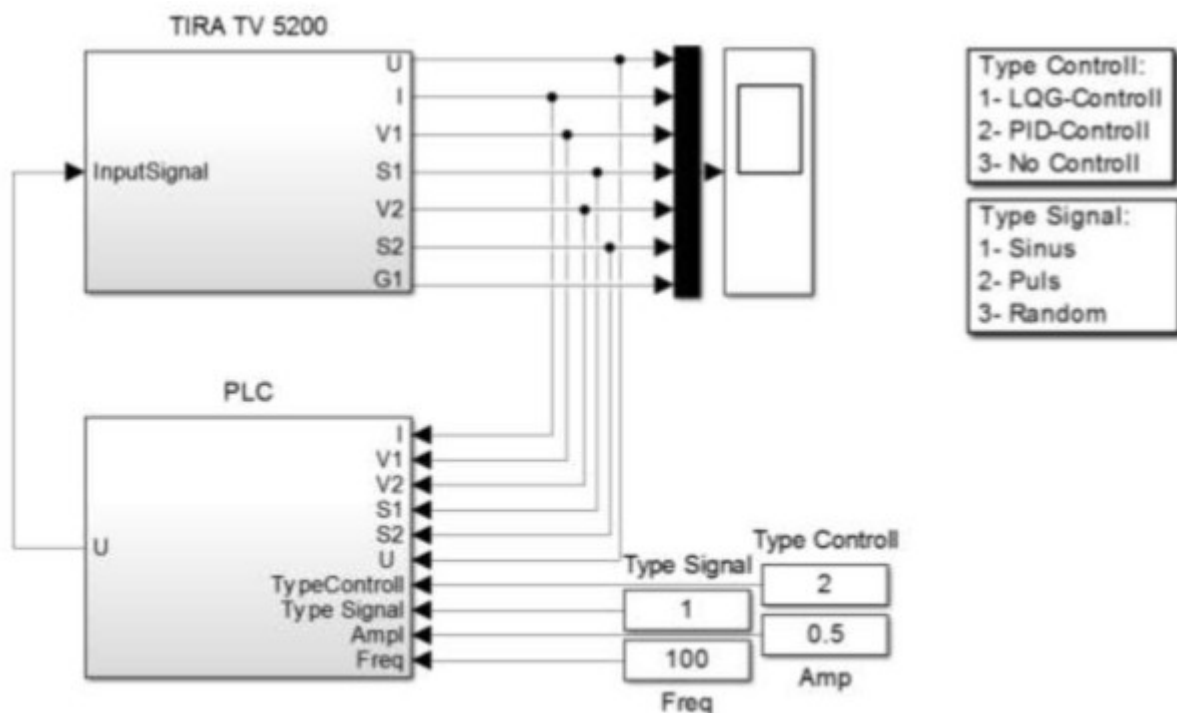
91 сурет – Сызықтық квадраттық оңтайлы басқару заңы негізінде бағынышты басқаруды іске асыратын, вибростендтің басқару жүйесінің моделдеу нәтижелері

91 суретте «VIBROSTEND TIRA» функционалдық блогының «кіріс» сигналдарының мәні сол жағында және «шығыс» сигналдарының мәні оң жағында салыстырмалы түрде – сызықтық квадраттық оңтайлы басқару заңы негізінде бағынышты басқаруды іске асыратын, вибростендтің басқару жүйесінің моделдеу нәтижелері көрсетілген.

4.3 БЖ математикалық моделін құру

Виртуалды зертхана нақты объектінің нақты ерекшелігін көрсету үшін объектінің математикалық моделінің ғана емес, бүкіл жүйенің моделінің де дұрыс жұмыс істеуін қадағалау қажет. Сонымен қатар, жүйенің моделінде авариялық жағдайлардан қорғау функциясы және әсер ету түрін таңдау және басқару объектісі үшін басқару заңы болуы тиіс [73].

Барлық басқару жүйесін модельдеу мақсатында электродинамикалық дірілді стендтерді автоматты басқару жүйесінің математикалық моделі жобаланды. Электродинамикалық стендті басқару жүйесінің математикалық моделі 92 суретте көрсетілген.



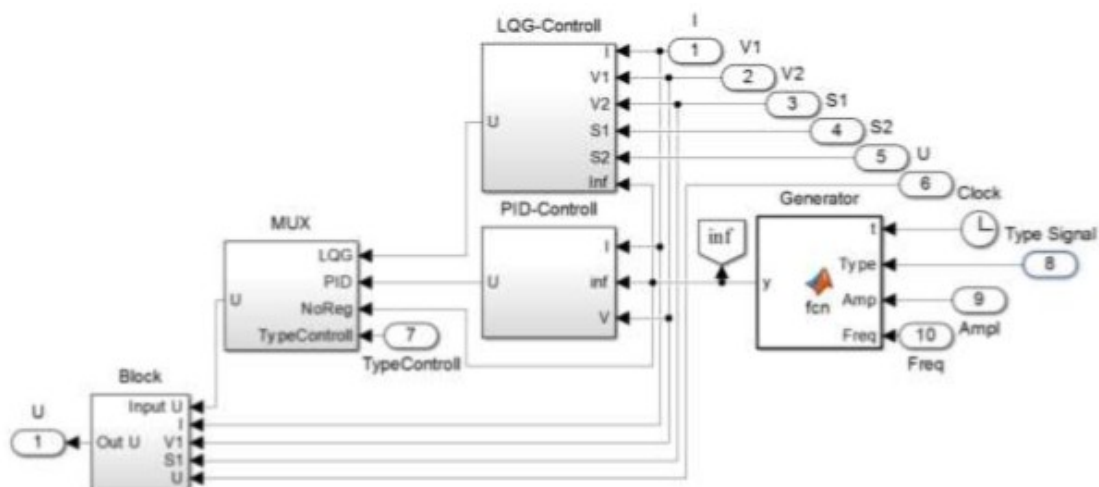
92 сурет – Электродинамикалық дірілдік стенді басқару жүйесінің математикалық моделі

Жүйе "TIRA TV 5200" математикалық моделінің блогынан және бағдарламаланатын логикалық контроллер функциясын орындайтын "PLC" блогынан тұрады.

Бұл блок келесі функцияларды орындайды:

- сызықтық квадраттық оңтайлы басқару заңы бойынша реттеу;
- PID-реттеуіштер негізіндегі каскадты басқару;
- шамадан тыс жүктемеден қорғау;
- ақпараттық сигналды қалыптастыру.

"PLC" блогының құрылымы 93 суретте көрсетілген.

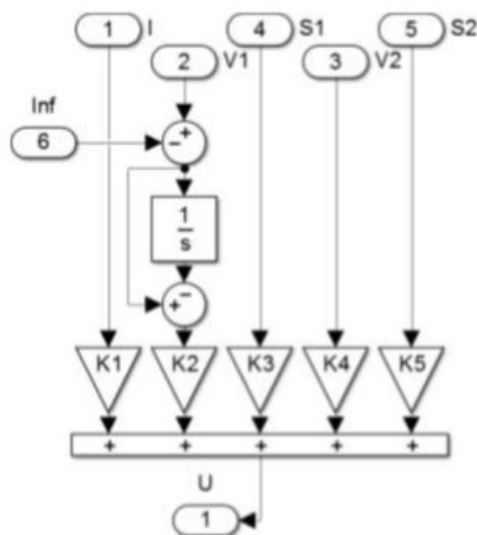


93 сурет - " PLC " блогының құрылымы»

Бұл құрылым келесі блоктардан тұрады: "LOG-Controll", "PIDControll", "Generator", "Block", "MUX" сияқты.

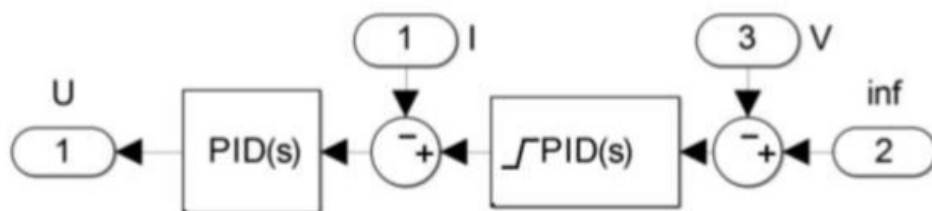
"LQG-Controll" блогы оңтайлы басқару функциясын орындайды.

Бұл блоктың құрылғысы 94 суретінде көрсетілген. "U" блогының шығуында "I", "V1", "V2", "S1", "S2" кірістері арқылы іске асырылған, кері байланыс сигналдарымен іске асырылған басқару сигналы пайда болады. "Inf" кірісінің көмегімен оңтайлы басқару жүйесіне ақпараттық сигнал енгізіледі.



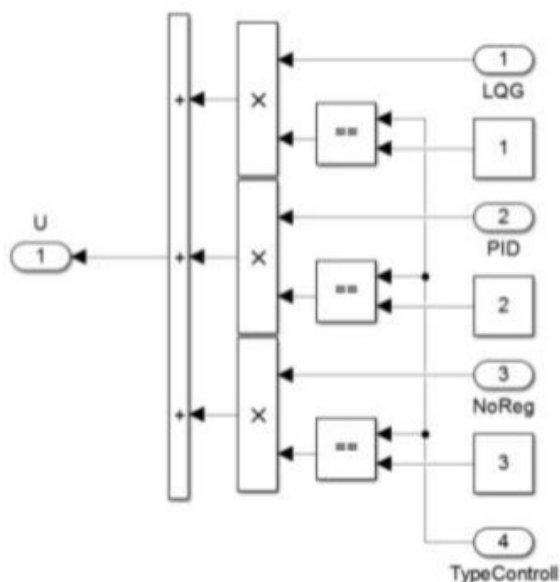
94 сурет– "LQG-control" блогының құрылымы

"PID-control" блогы PID-реттегіштердің негізінде контурлық басқару функциясын орындайды. Бұл блоктың құрылғысы 95 суретте көрсетілген. "U" блогының шығуында екі контурмен іске асырылған басқару сигналы пайда болады. Ішкі контур "I" блогының және ПИД-реттеуіштің кіруіне сигнал беру арқылы іске асырылады. Сыртқы контур "V" блогының кірісі және ішкі контур сигналы үшін берілген шектеулері бар, ПИД-реттеуіштің көмегімен іске асырылады. "Inf" кірісі арқылы контурлық басқару жүйесіне ақпараттық сигнал енгізіледі.



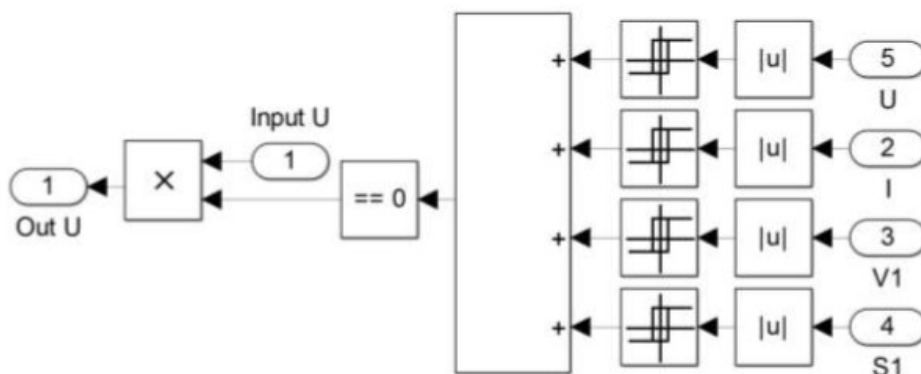
95 сурет– "PID-control" блогының құрылымы

"MUX" блогы мультиплексор функциясын орындайды. Бұл блоктың құрылғысы 96 суретте көрсетілген. Ол "U" блогының шығуына "TypeControl" кірісінен басқару сигналының мәніне байланысты кіріс ақпараттық сигналдардың бірін береді.



96 сурет– «MUX» блогының құрылымы

"Block" блогы жүйені шамадан тыс жүктеуден қорғау функциясын орындайды. Бұл блоктың құрылғысы 97 суретте көрсетілген. Егер "U", "I", "V1", "S1" ақпараттық кірістерінің бірінде мән рұқсат етілген мәннен аспаса, онда "Out U" блогының шығысында "Input U" кіру сигналы беріледі. Егер сигналдардың біреуі рұқсат етілген мәннен асып кетсе, шығыс нөлге айналады.



97 сурет - "Block" блогының құрылымы

"Generator" блогы ақпараттық сигнал генераторы функциясын орындайды.

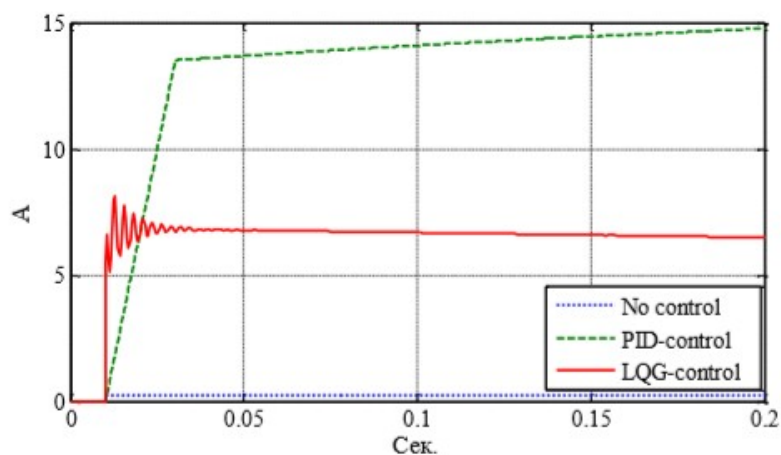
Блок бағдарламасының коды Б қосымшасында берілген.

"Type Signal" кірісі ақпараттық сигнал түрі үшін жауап береді. Кіріс "Amp I" ақпараттық сигналдың амплитудасы үшін жауап береді. "Freq" кіру ақпараттық сигнал жиілігіне жауап береді [74].

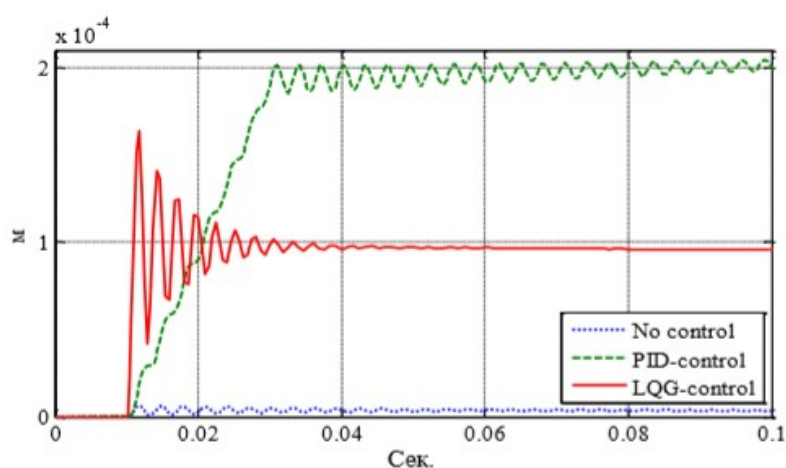
Бұл блок ақпараттық сигналдың келесі түрлерін іске асырады:

- синусоидалды сигнал;
- "соққы" типті сигнал;
- кездейсоқ сигнал.

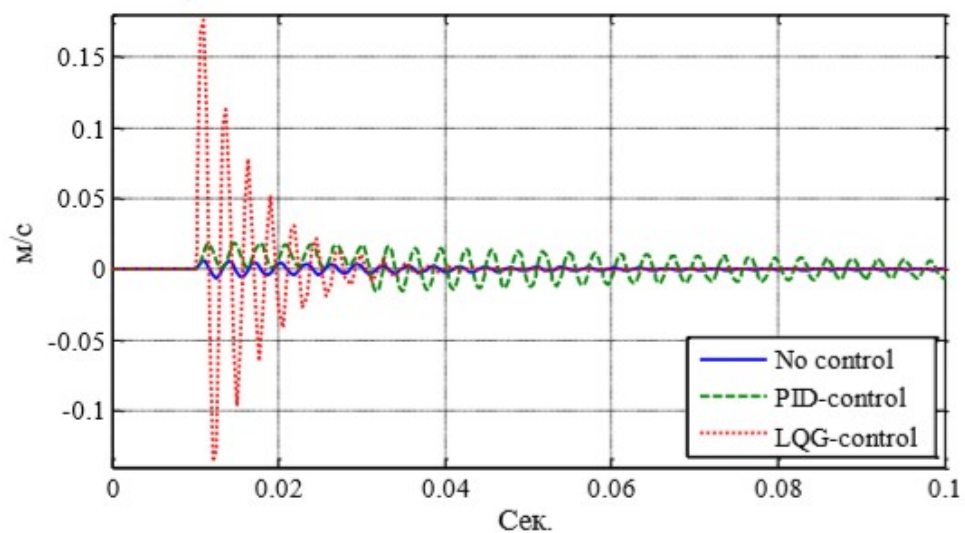
Компьютерлік модельдеудің бірінші сатысы барлық қолжетімді басқару заңдылықтары кезінде жүйенің уақыт және жиілік сипаттамаларын құру. Жүйе сигналдарының сатылы әсерге реакция нәтижелері 98 - 102 суреттерінде көрсетілген.



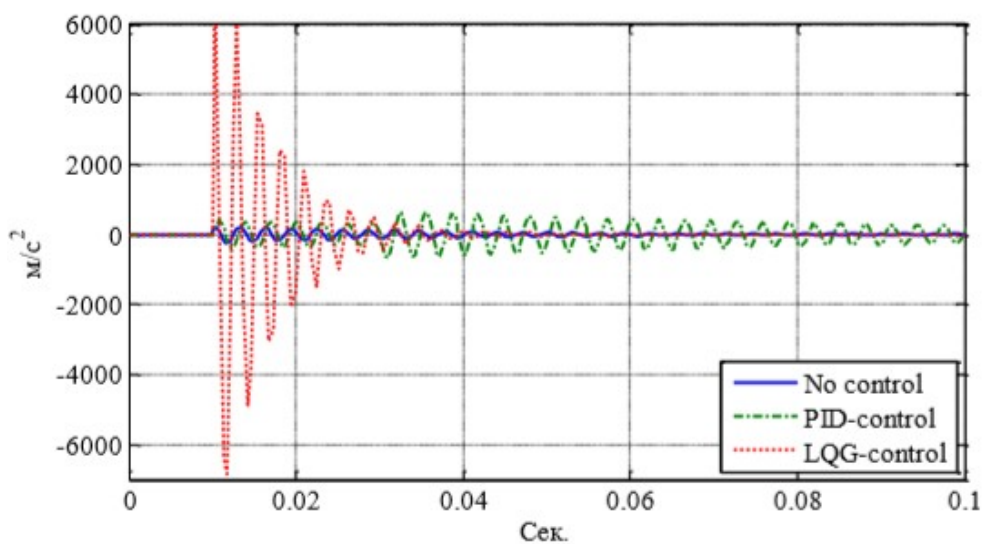
98 сурет – Вибраторды басқару орамындағы ток параметрінің өзгеруінің уақыт сипаттамасы.



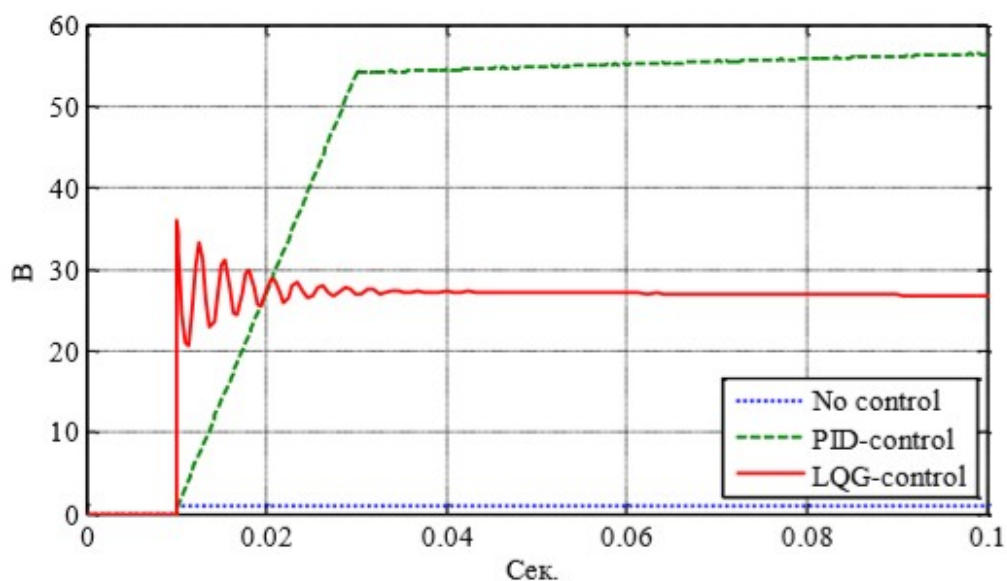
99 сурет – Вибратордың жылжымалы жүйесінің орынауыстыруының уақытпен сипаттамасы.



100 сурет – Вибратордың жылжымалы жүйесінің жылдамдығының мәнінің өзгеруінің уақытпен сипаттамасы.



101 сурет – Вибратордың жылжымалы жүйесінің үдету мәнінің өзгеруінің уақытпен сипаттамасы.



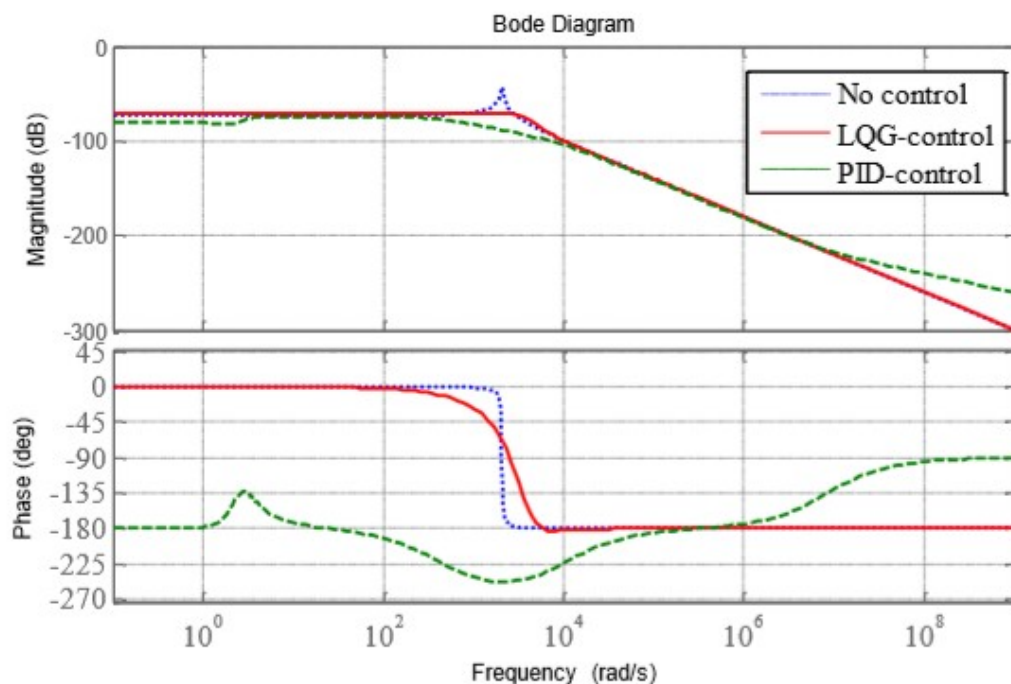
102 сурет – Вибратордың басқару орамындағы кернеудің өзгеруінің уақытпен сипаттамасы

Сызықтық квадраттық оңтайлы заңның басқаруында өтпелі процесс контурлық басқару негізіндегі процесстен жылдам өтетінін сипаттамадан көруге болады.

Басқару орамындағы кернеудің өзгеруін талдай отырып, басқару ретінде бағынышты реттеуші әдісін қолдану кезінде реттеуіштің қанығу процесі көрінеді.

Модельдеудің келесі сатысы әртүрлі басқару әдістерін қолдану кезінде жүйенің жиіліктік сипаттамаларын құру болып табылады. Бұл сипаттамалар 103 суретте көрсетілген.

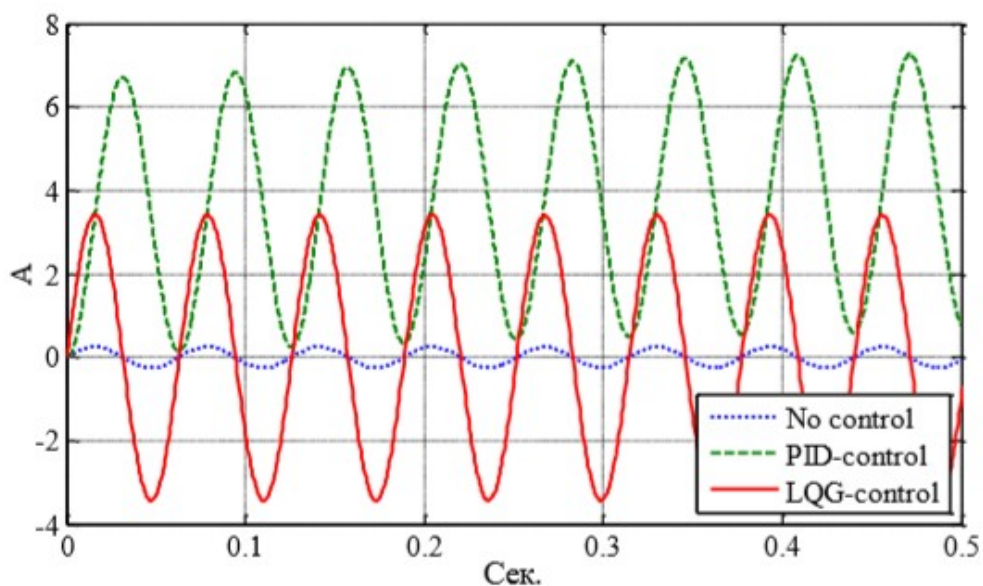
Бұл әдістер жұмыс диапазонынағы жоғары жиіліктегі резонанстық құбылыстарды жояды, бірақ бағынышты реттеуші әдісі жүйенің жұмыс диапазонын азайтады, ал сызықтық квадраттық оңтайлы басқару оны кеңейтеді.



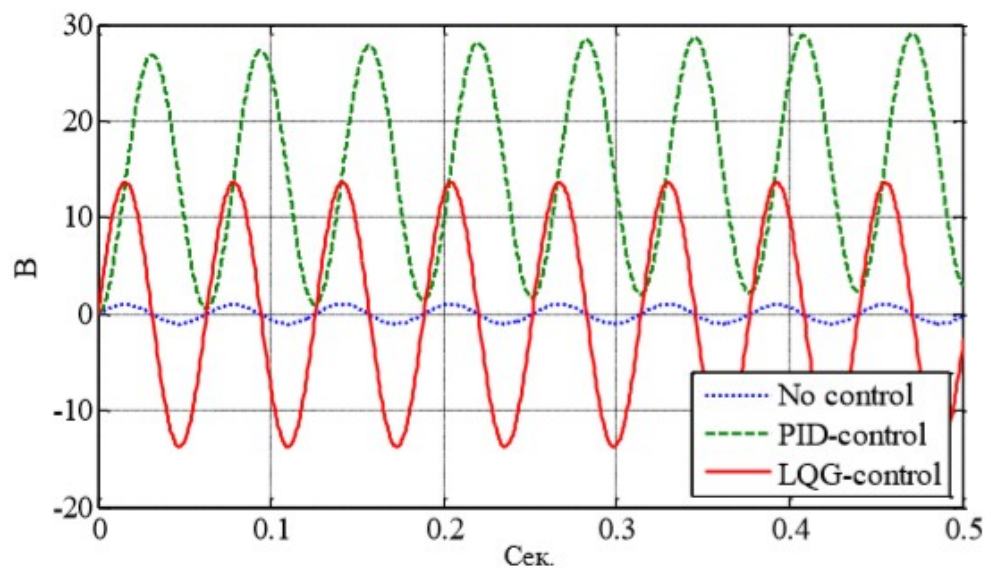
103 сурет – Жүйенің жиіліктік сипаттамалары

Модельдеудің соңғы сатысында барлық сигналдардың түрлерін жүйемен іске асыру кезінде жүйенің шығыс параметрінің мәндерін аламыз.

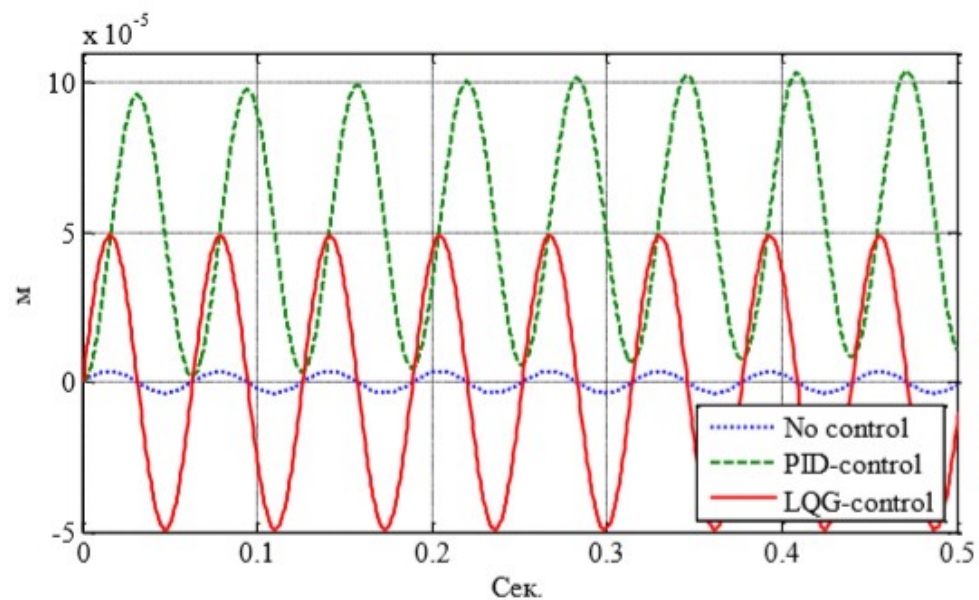
104 - 108 суреттерде синусоидалды сигналдарды іске асыру режимінде жүйе параметрлерінің мәні көрсетілген.



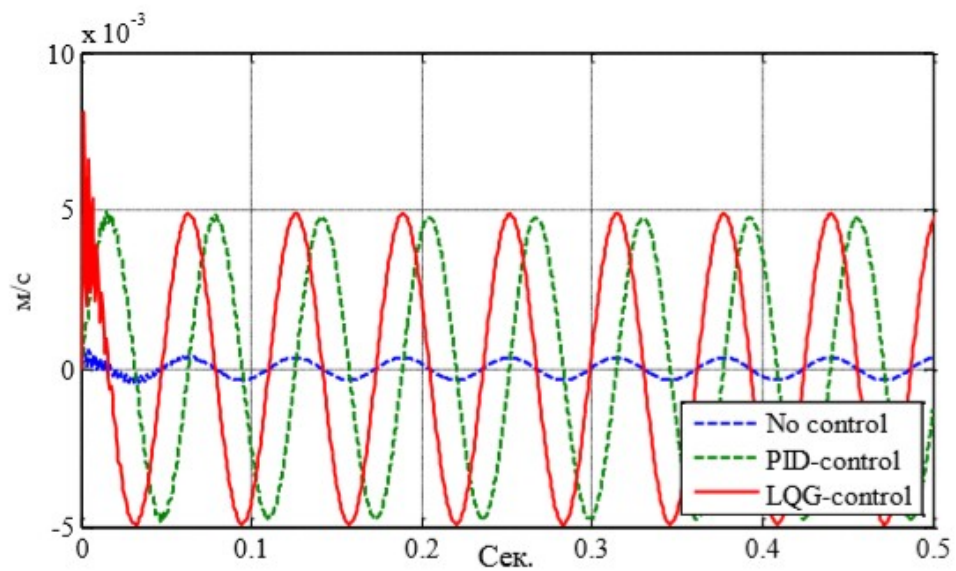
104 сурет - Синусоидалды сигнал іске асырылған кезде жүйені басқару орамындағы ток мәні.



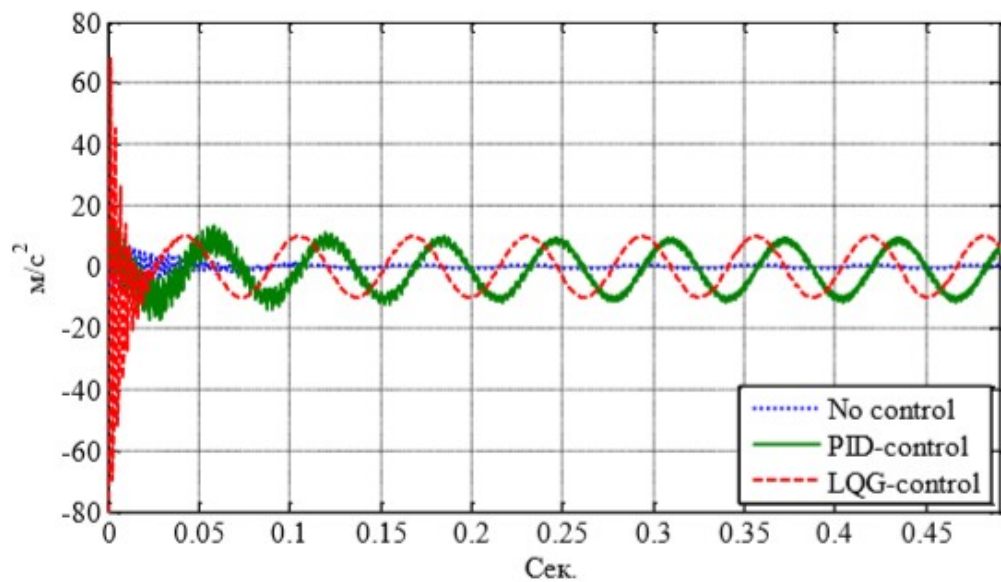
105 сурет – синусоидалды сигнал іске асырылған кезде жүйені басқару орамындағы кернеу мәні.



106 сурет -синусоидалды сигнал іске асырылған кезде вибратордың жылжымалы жүйесінің орынауыстыруы.

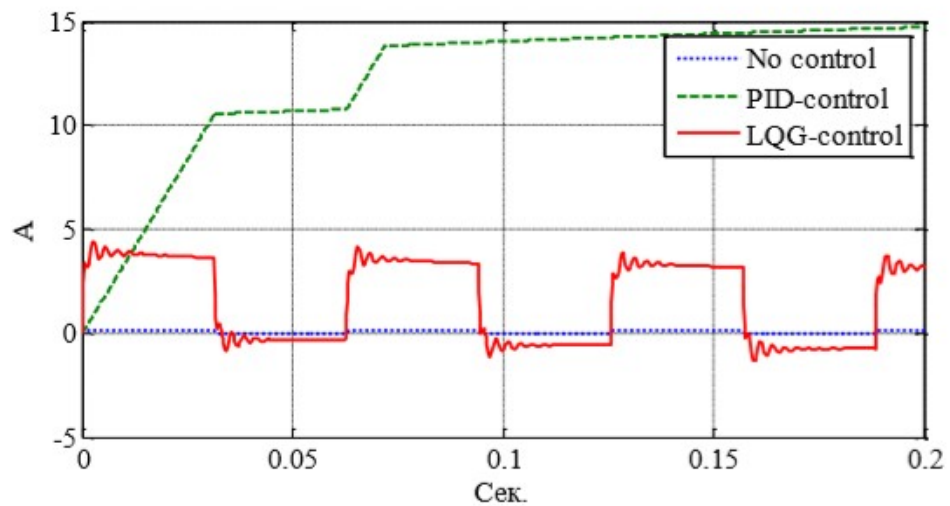


107 сурет -синусоидалды сигнал іске асырылған кезде вибратордың жылжымалы жүйесінің жылдамдығы.

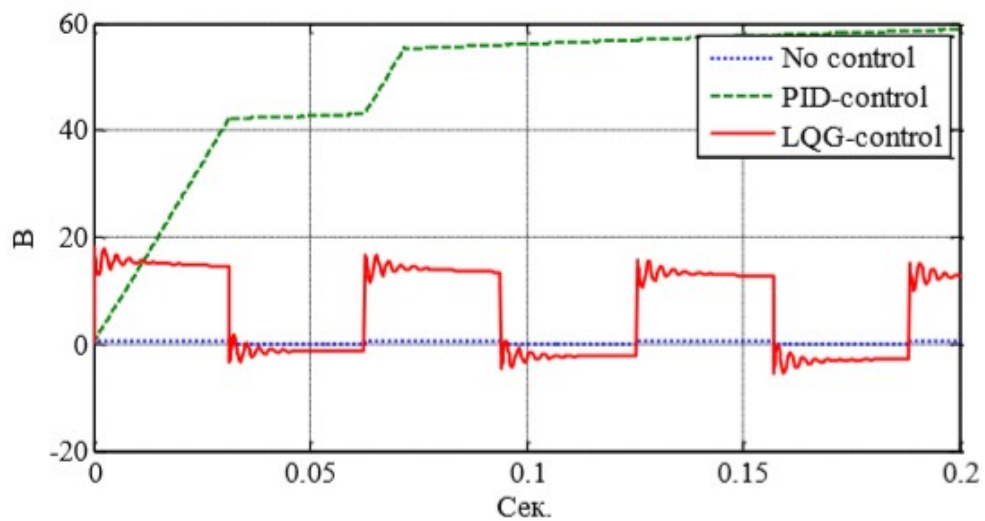


108 сурет -синусоидалды сигнал іске асырылған кезде вибратордың жылжымалы жүйесінің үдеуі.

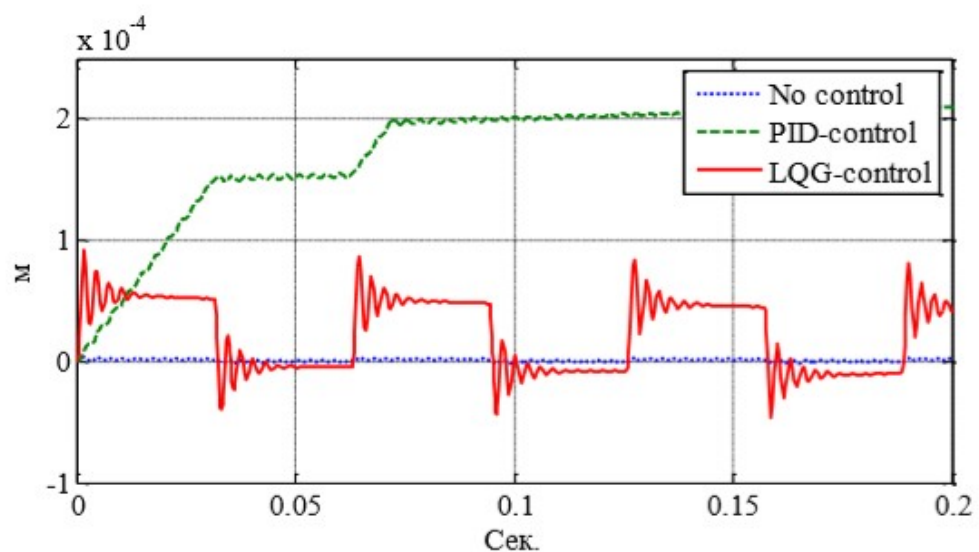
109 - 113 суреттерінде - "соққы" типті сигналды іске асыру режимінде жүйе параметрлерінің мәндері көрсетілген.



109 сурет - "соққы" типті сигналды іске асыру кезінде жүйенің басқару орамындағы тоқ мәні.

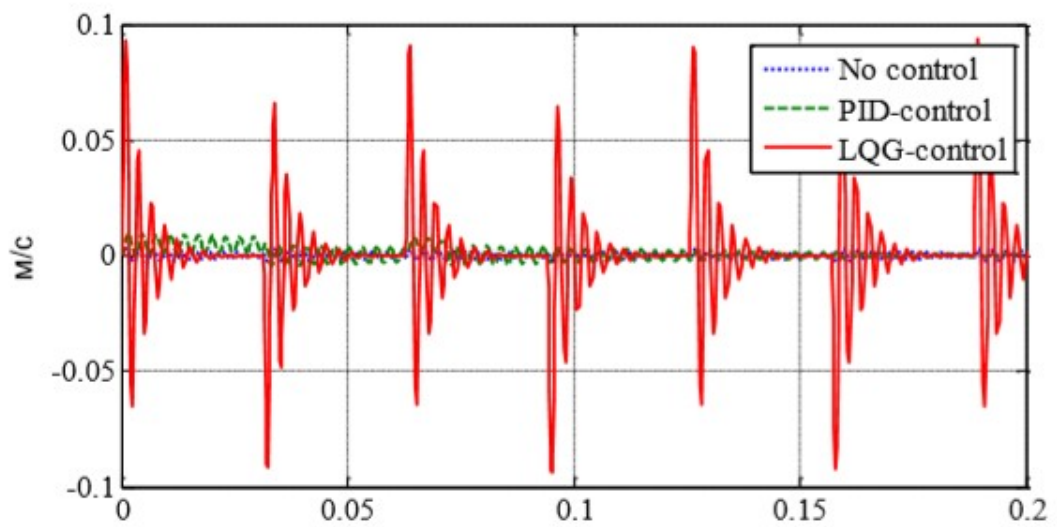


110 сурет - "соққы" типті сигналды іске асыру кезінде жүйенің басқару орамындағы кернеу мәні.

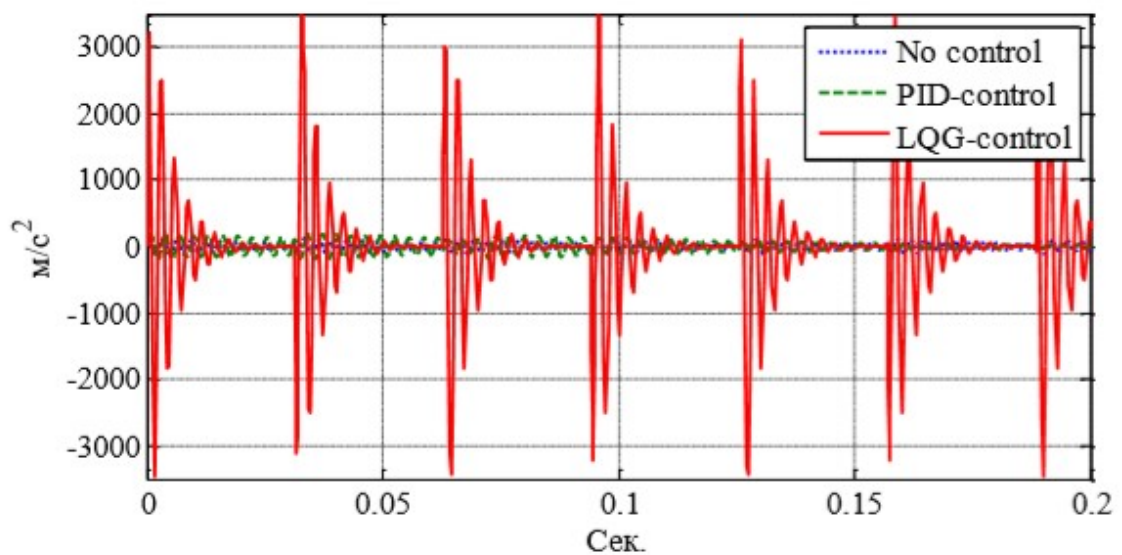


111 сурет - жүйеде "соққы" типті сигнал іске асырылған кездегі

вибратордың жылжымалы жүйесінің орынауыстыруы.

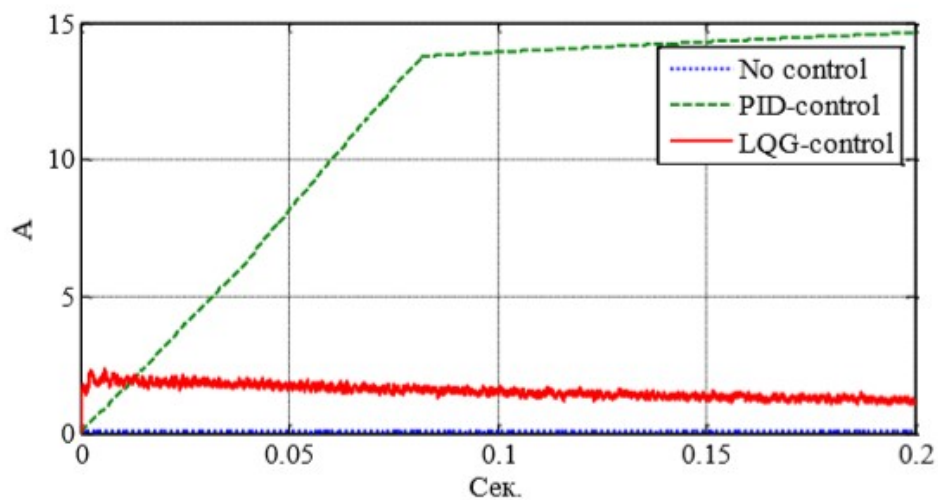


112 сурет - жүйеде "соққы" типті сигнал іске асырылған кездегі вибратордың жылжымалы жүйесінің жылдамдығы.

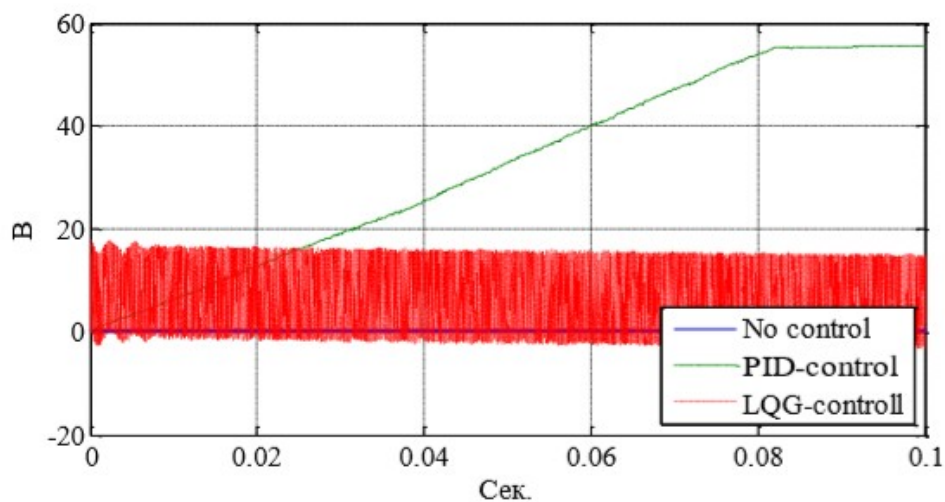


113 сурет - жүйеде "соққы" типті сигнал іске асырылған кездегі вибратордың жылжымалы жүйесінің үдеуі.

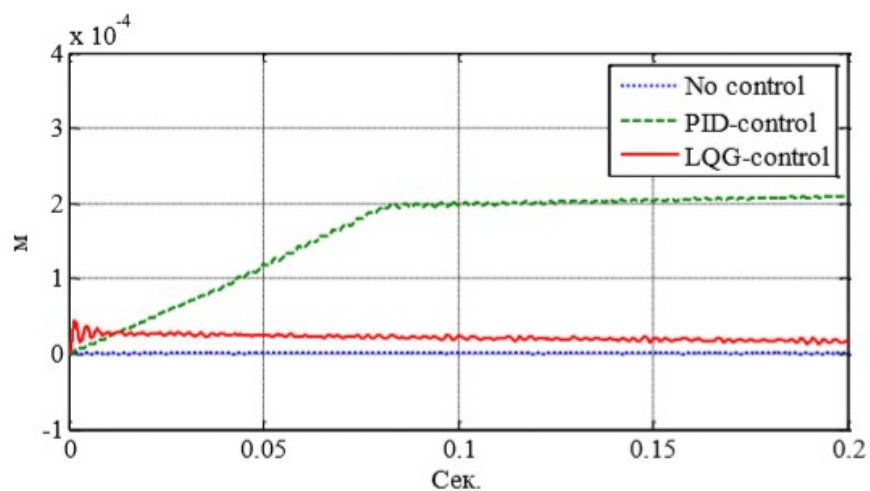
114 - 118 суреттерінде - кездейсоқ сигналды іске асыру режимінде жүйе параметрлерінің мәндері көрсетілген.



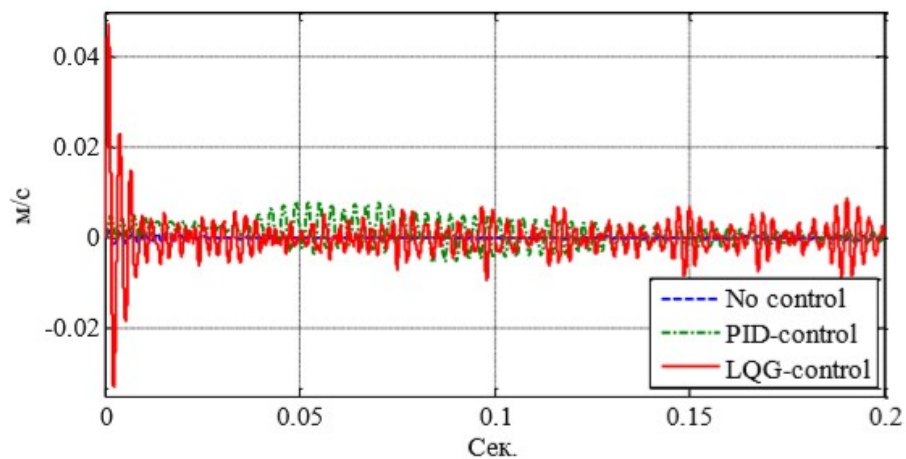
114 сурет - жүйеде кездейсоқ сигналды іске асыру кезінде жүйенің басқару орамындағы тоқ мәні.



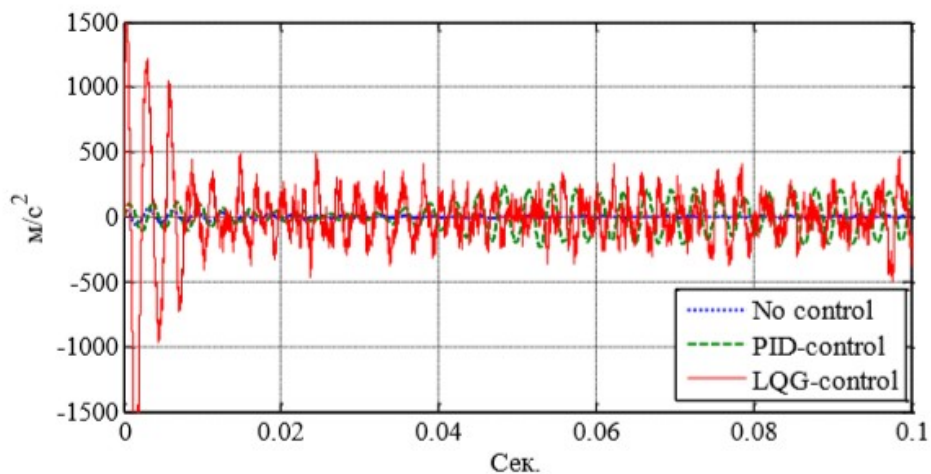
115 сурет- жүйеде кездейсоқ сигналды іске асыру кезінде жүйенің басқару орамындағы кернеу мәні.



116 сурет - жүйеде кездейсоқ сигнал іске асырылған кездегі вибратордың жылжымалы жүйесінің орынауыстыруы.



117 сурет - жүйеде кездейсоқ сигнал іске асырылған кездегі вибратордың жылжымалы жүйесінің жылдамдығы.



118 сурет - жүйеде кездейсоқ сигнал іске асырылған кездегі вибратордың жылжымалы жүйесінің үдеуі.

Модельдеудің нәтижесінде оңтайлы басқару әдісін қолдану кезінде өтпелі процесс уақыты азаяды, жоғары жиіліктегі резонанстық құбылыстардың әсері жойылады және жұмыс диапазоны кеңейтіледі. Бірақ мұндай жүйелерде робастылық қасиеті болмайды.

Контурлық басқаруды пайдаланған кезде резонанстық құбылыстың әсері жойылады, бірақ жиіліктің жұмыс диапазоны азаяды және өтпелі процесс уақыты көбейеді. Берілген басқару әдісінің артықшылығы - бұл басқару әдісінің робастылығы.

Алынған нәтижелер бойынша **салыстырмалы талдау**:

5 кГц жиілікте резонанстық шыңы бар электродинамикалық вибратордың бесінші ретті екі массалық математикалық моделі жасалды. Алынған математикалық модельге компьютерлік модельдеу жүргізілді. Компьютерлік модельдеу нәтижелері математикалық модельдің адекваттылығын растады. 1) Жүйе бағынышты реттеу әдісімен синтезделді. Синтездің нәтижесі келесідей:

- 120-5000 Гц диапазонындағы резонанстық құбылыстар жойылды;
- жұмыс үстеліндегі дірілдің салыстырмалы қатесі 1% -ке азайды;

- жүйенің тербелісі 0,05-ден 0,035-ке дейін азайды;
 - өтпелі процестің уақытын 150 мс дейін азайды.
- 2) ACOR-тың оңтайлы синтезі жасалды. Синтездің нәтижесі келесідей:
- жұмыс жиілігінің диапазоны 5 кГц-ден 7 кГц-ге дейін кеңейтілді;
 - жұмыс үстеліндегі дірілдің салыстырмалы қатесі 1% -ға азайды;
 - жүйенің тербелісі 0,05-ден 0,025-ға дейін азайды;
 - өтпелі процестің уақыты 25 мс дейін азайды.

Сонымен қорытындыласақ,

1. Жұмыс үстелінің диапазоны оңтайлы басқару әдісін қолдану кезінде бағынышты реттеу әдісіне қарағанда 29 % өсті.

2. Екі әдіс бойынша алынған қателіктер тең.

3. Жүйенің тербелісі бағынышты реттеу әдісін қолдану кезінде оңтайлы басқару әдісіне қарағанда 29 % азайды.

4. Өтпелі процестің уақыты бағынышты реттеу әдісін қолдану кезінде оңтайлы басқару әдісіне қарағанда 66% қысқарды.

4.4 Техникалық және бағдарламалық қамтамасыз етуді таңдау

Жабдықты таңдау

Электродинамикалық вибростендтің автоматтандырылған басқару жүйесінің архитектурасын қарастырайық. Бұл архитектура 119 суретте келтірілген.



119 сурет- электродинамикалық вибростендтің автоматты басқару жүйесінің архитектурасы

Бұл архитектура келесі элементтерден тұрады:

- компьютер;
- контроллер;
- күшейткіш;
- TIRA вибростенді;
- бақылау сенсоры.

Компьютер автоматтандырылған жұмыс орнын (АЖО) іске асыруға арналған. Оның көмегімен жүйе келесі жұмыстарды атқарады: жүйенің жұмысын басқару (вибростендтің жұмыс режимін таңдау, қорғау және контроллер параметрлерін баптау), жүйелік айнымалылардың визуализациясы (жүйенің параметрлерінің уақыттық қатарларын көрсету, журналға оқиғаларды тіркеу, апатты оқиғаларын индикациялау).

Зерттеу нысандарының тізбесіне сәйкес жүйе [75]-де ұсынылған техникалық сипаттамаларға ие болуы керек.

Осы жүйеде бағдарламаланатын логикалық контроллер (PLC) келесі функцияларды орындайды:

- реттеуші;
- кері байланыс;
- ақпараттық сигнал генераторы;
- жүйені шамадан тыс жүктеуден қорғау.

Осы мақсат үшін TREI-5B-05 контроллері таңдалады. Бұл контроллер M915E шеберлік модулінен және M932C2 интеллектуалды модулінен тұрады.

Шеберлік модуль келесі функцияларды орындауға арналған:

- кіріс арналарынан ақпаратты жинау;
- берілген өңдеу алгоритміне сәйкес алынған ақпаратты өңдеу;
- шығыс арналарында басқару әрекеттерін қалыптастыру;
- құрылғылар арасындағы байланыс хаттамаларын ұйымдастыру.

Бұл модуль автоматтандырудың күрделілігі жоғары деңгейдегі мәселелерді шешуге бағытталған.

Шеберлік модульның егжей-тегжейлі сипаттамасы мен техникалық сипаттамалары [9] –да келтірілген.

Шеберлік модульның сыртқы түрі 120-суретінде көрсетілген.



120 сурет- M915E шеберлік модулінің сыртқы түрі

M932C2 интеллектуалды модулі келесі мүмкіндіктерді ұсынады:

- кіріс және шығыс сигналдарын іске асыру;
- жадта жазылған алгоритмге сәйкес арналарды бағдарламалық басқару.

Модуль шеберлік модульнан қашықта келесі режимдерде жұмыс атқара алады:

- деректерді жинау;
- ақпаратты өңдеу;
- басқару әрекеттерін қалыптастыру;
- жоғарғы деңгеймен ақпарат алмасу.

Интеллектуальды модульдың егжей-тегжейлі сипаттамасы мен техникалық сипаттамалары [66] –да келтірілген.

Интеллектуальды модульдың сыртқы түрі 121-суретінде көрсетілген.



121 сурет – M932C2 интеллектуальды модулінің сыртқы түрі

Жүйеде ақпараттық сигналдың қуатын күшейту үшін күшейткіш қолданылады.

TIRABAA 1000 фирмасының күшейткіші ретінде таңдалды.

Күшейткіште модуль параметрлерінің ағымдағы күйін көрсететін сенсорлы СК - экран бар. Бұл күшейткіште модульдің істен шықпауын қадағалайтын, қысқа тұйықталудан қорғаныс бар.

Модульдің конструкциясы қуаттылығы 225 кВт-қа дейінгі кішігірім аудандарды қамтитын күшейткіштерді енгізуге мүмкіндік береді.

БАА 1000 қуат күшейткіштің параметрлері [67]- те берілген, ал вибратордың сыртқы түрі 122-суретінде көрсетілген.



122 сурет - БАА 1000 күшейткішінің сыртқы түрі

Электродинамикалық вибратор - бұл жүйеде басқару объектісі. Ол кіріс сигналының (ток) әсерінен дірілдеу үстеліне дірілдеу әсерлерін береді.

Жүйе үшін электродинамикалық вибратор ретінде TIRATV 5200 таңдалды.

Вибратордың функциясы дірілдің пішіні мен құрылымын талдау. Тұрақты магнит қуаты 75 Н дейін болатын тербелістерді жүзеге асыру үшін

қолданылады. Портативті қондырғы үшін жеңіл сирек жердегі магнит қолданылады.

TMS басқару жүйесін пайдалану арқасында орын ауыстыру шегі 50,8 мм құрайды. TMS - вибратор корпусының орынауыстыруын басқарудың электрондық жүйесі. Бұл жүйе қозғалатын элементті және зерттелетін үлгіні дәл сәйкестендіруге мүмкіндік береді.

Корпустың орынауыстыруын реттеу операторға объектіге қатысты дірілдеу үстелінің орнын өзгертуге мүмкіндік береді.

Бұл вибраторда алдын ала жүктеу және осьтік қатаңдық сияқты параметрлерді басқаруға болады.

Вибратордың шарнирлі жақтауы бар. Бұл тербелгіш элемент пен сынақ үлгісінің өзара орналасуының кең диапазоннын береді.

Егжей-тегжейлі сипаттамасы мен құрылымдық ерекшеліктері [68] –да келтірілген.

Вибратордың сыртқы түрі 123 суретінде көрсетілген.



123 сурет - TIRATV 5200 вибраторының сыртқы түрі

Жүйеде кері байланыс эталонды сенсор арқылы жүзеге асырылады.

Бұл сенсор PLC кірісіне әрі қарай түрлендіру үшін берілген үдетуді токқа түрлендіргіш.

Жүйенің кері байланыс сенсоры ретінде ICP350B23 жалпы мақсаттағы соққы акселерометрі қолданылады.

Соққы акселерометрлерінің конструкция ерекшеліктері қиын эксплуатация шарттарында олардың сенімділігі мен өлшеу дәлдігін қамтамасыз етеді.

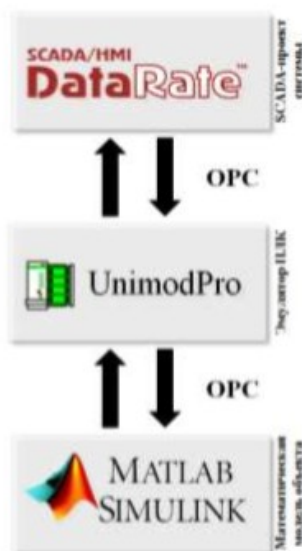
Осы түрдегі акселерометрлерде температураның қосымша кателігін азайту мақсатында кварц пен керамикалық сезімтал элементтер қолданылады.

Құрамында керамикалық элементтер бар сенсорлар кіші өлшемдер мен салмаққа ие, бірақ сонымен бірге олардың динамикалық және жиілік диапазондары кең ауқымға ие.

Акселерометр параметрлері [69] келтірілген.

Бағдарламалық жасақтаманы таңдау

Электродинамикалық вибростендтің автоматтандырылған басқару жүйесінің виртуалды стендін іске асыру үшін объектінің математикалық моделін бағдарламалық жолмен, PLC эмуляторымен және SCADA жоба жүйесін жасау керек. Виртуалды басқару жүйесін бағдарламалық қамтамасыздандырудың архитектурасы 124 суретте келтірілген.



124 сурет- электродинамикалық вибростендтің автоматтандырылған виртуалды басқару жүйесінің бағдарламалық қамтамасыздандырудың архитектурасы

Бағдарламалық орталар арасындағы деректерді беру OPC деректерді беру протоколы көмегімен жүзеге асырылады.

MATLAB - сандық есептеулер мен математикалық модельдеу үшін математикалық орта. MATLAB-те келесі әрекеттерді орындай аласыз:

- деректерді талдау;
- алгоритмдерді әзірлеу;
- математикалық модельдерді жобалау;
- үлгілерді математикалық модельдеу.

MATLAB бағдарламалық пакеті келесі салаларда қолданылады:

- сигналдарды өңдеу және байланыс;
- видеобейнені және суретті өңдеу;
- бақылау жүйелері;
- сынақтарды автоматтандыру және өлшеу;
- қаржы инжинирингі;
- есептеу биологиясы және т.б.

Бағдарлама ядросының ұйымдастырылуы жедел векторлық және матрицалық есептеулерге мүмкіндік береді.

Математикалық орта келесі математикалық операцияларға қол жетімділікті қамтамасыз етеді:

- интерполяция және регрессия;
- дифференциалдау және интегралдау;

- сызықтық теңдеулер жүйесі;
- фурье талдауы;
- матрицаның меншік мәні мен сингулярлы саны.

MATLAB кеңейтімдері статистика, оңтайландыру, сигналдарды өңдеу, машина оқыту сияқты салаларда арнайы функционалдылыққа қол жеткізуді қамтамасыз етеді.

MATLAB мүмкіндіктерінің толық сипаттамасы [70] келтірілген.

UnimodPRO – өнірістік PLC бағдарламалау ортасы.

Бағдарламалық жасақтама ортасы келесі компоненттерден тұрады:

- жасау жүйесі;
- атқарушы жүйе;
- бағдарлама шлюзі;
- OPC сервері;
- конфигурациялау және диагностикалау бағдарламалық қамтамасыз етуі.

Бұл бағдарламалық жасақтамадағы алгоритмдерді әзірлеу процесінде құрылымдық бағдарламалау идеясы бар, ол жасаушыға кез-келген білім деңгейінде автоматтандырылған процесс алгоритмін тез және оңай меңгеруге мүмкіндік береді.

OPC сервері контроллерге немесе iFIX, InTouch, WinCC, DataRate сияқты жоғары деңгейдегі SCADA-жүйелеріне немесе контроллерде орындалатын қолданбаның деректерін алмастыру мүмкіндігін орындайды.

Пакеттегі диагностикалық бағдарлама метрологиялық кіріс және шығыс арналарын тексеруді және контроллердің аппараттық құралдарының және оның бағдарламалық жасақтамасының жұмысының диагностикасын жүзеге асырады.

Бағдарлама ерекшеліктерінің толық сипаттамасы [71] келтірілген.

SCADA HMI DataRate - жоғарғы деңгейдегі автоматтандыру жүйесін құру үшін бағдарламалық құрал.

Бағдарлама келесі функцияларды қолдайтын автоматтандырылған жұмыс орнының интерфейсін іске асыруға мүмкіндік береді:

- деректерге сауалнама;
- басқару;
- өнеркәсіптік автоматтандыру процестерінің мониторингі және диагностикасы.

Автоматтандырылған жобалау жүйесі үшін жобаны құру SCADA-жүйелерінің негізгі объектілері көмегімен: тег, тренд, оқиғалар хаттамасы және басқалар арқылы жүзеге асырылады.

Жүйенің төменгі деңгейінен деректерді беру және қабылдау OPC деректермен алмасу хаттамасының көмегімен жүзеге асырылады.

Бағдарламалық кешенге келесі компоненттер кіреді:

- интеграцияланған жасау ортасы;
- орындау орта қосымшалар сервері;
- клиент- сервер клиент ортасы;
- web-басқару сервері;
- веб-басқару порталы.
- Бағдарламаның толық сипаттамасы [75] келтірілген.

4.5 SCADA - ДБАЖ жобалау

Математикалық модельді бағдарламалық іске асыру

Компьютерлік жүйе ресурстарының шығынын азайту мақсатында контроллер эмуляторы ортасында математикалық модельді іске асыру ұсынылды.

Бұл әдіс жүйелік ресурстар қоры төмен компьютерлерді пайдалану кезінде тиімді. Бұны іске асыру үшін математикалық модельді рекуррентті түрде беру қажет. Ол үшін модельдің барлық параметрлерінің динамикасын сипаттайтын берілу функцияларын білу қажет.

Вибростендтің математикалық моделі (99) дифференциалдық теңдеулер жүйесімен сипатталады.

Бұл модельдің шығысы келесі параметрлердің шамаларының өзгеруін сипаттайтын сигналдар болып табылады:

- ток;
- қозғалатын бөліктің жылдамдығы;
- корпус жылдамдығы;
- қозғалатын бөліктің орынауыстыруы;
- корпусстың орынауыстыруы.

Осы параметрлердің динамикасын сипаттайтын трансфер функциялары мыналар болып табылады:

$$W_I(S) = \frac{10^3 \cdot s^4 + 1,32 \cdot 10^4 \cdot s^3 + 4,19 \cdot 10^9 \cdot s^2 + 1,13 \cdot 10^9 \cdot s + 5,17 \cdot 10^{10}}{s^5 + 4,01 \cdot 10^2 \cdot s^4 + 4,47 \cdot 10^6 \cdot s^2 + 1,65 \cdot 10^{10} \cdot s^2 + 4,59 \cdot 10^9 \cdot s + 2,05 \cdot 10^{11}};$$

(109)

$$W_{W_1}(S) = \frac{5,88 \cdot 10^4 \cdot s^2 + 1,62 \cdot 10^4 \cdot s^2 + 7,35 \cdot 10^5 \cdot s}{s^5 + 4,01 \cdot 10^2 \cdot s^4 + 4,47 \cdot 10^6 \cdot s^2 + 1,65 \cdot 10^{10} \cdot s^2 + 4,59 \cdot 10^9 \cdot s + 2,05 \cdot 10^{11}};$$

(110)

$$W_{W_2}(S) = \frac{1,62 \cdot 10^4 \cdot s^2 + 7,35 \cdot 10^5 \cdot s}{s^5 + 4,01 \cdot 10^2 \cdot s^4 + 4,47 \cdot 10^6 \cdot s^2 + 1,65 \cdot 10^{10} \cdot s^2 + 4,59 \cdot 10^9 \cdot s + 2,05 \cdot 10^{11}};$$

(111)

$$W_{S_1}(S) = \frac{5,88 \cdot 10^4 \cdot s^2 + 1,62 \cdot 10^4 \cdot s + 7,35 \cdot 10^5}{s^5 + 4,01 \cdot 10^2 \cdot s^4 + 4,47 \cdot 10^6 \cdot s^2 + 1,65 \cdot 10^{10} \cdot s^2 + 4,59 \cdot 10^9 \cdot s + 2,05 \cdot 10^{11}};$$

(112)

$$W_{S_2}(S) = \frac{8,09 \cdot 10^4 \cdot s + 3,68 \cdot 10^6}{s^5 + 4,01 \cdot 10^2 \cdot s^4 + 4,47 \cdot 10^6 \cdot s^2 + 1,65 \cdot 10^{10} \cdot s^2 + 4,59 \cdot 10^9 \cdot s + 2,05 \cdot 10^{11}}.$$

(113)

Берілу функцияларының деректерін цифрлық формаға түрлендірейік:

$$W_I(z) = \frac{0,25 \cdot z^{-1} - 0,49 \cdot z^{-2} + 0,36 \cdot z^{-3} - 0,24 \cdot z^{-4} + 0,12 \cdot z^{-5}}{1 - 1,97 \cdot z^{-1} + 1,42 \cdot z^{-2} - 0,94 \cdot z^{-3} + 0,49 \cdot z^{-4} + 1,61 \cdot 10^{-17} \cdot z^{-5}};$$

(114)

$$W_{w_1}(z) = \frac{0,004 \cdot z^{-1} - 0,01 \cdot z^{-2} + 0,008 \cdot z^{-3} + 0,0003 \cdot z^{-4} - 0,001 \cdot z^{-5}}{1 - 1,97 \cdot z^{-1} + 1,42 \cdot z^{-2} - 0,94 \cdot z^{-3} + 0,49 \cdot z^{-4} + 8,50 \cdot 10^{-17} \cdot z^{-5}};$$

(115)

$$W_{w_2}(z) = \frac{1,1 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-1} - 1,09 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-2} + 4,05 \cdot 10^{-7} \cdot z^{-3} - 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot z^{-4}}{1 - 1,97 \cdot z^{-1} + 1,42 \cdot z^{-2} - 0,94 \cdot z^{-3} + 0,49 \cdot z^{-4} + 1,06 \cdot 10^{-17} \cdot z^{-5}};$$

(116)

$$W_{s_1}(z) = \frac{2,55 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-1} - 2,59 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-2} - 2,07 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-3} + 1,74 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-4}}{1 - 1,97 \cdot z^{-1} + 1,42 \cdot z^{-2} - 0,94 \cdot z^{-3} + 0,49 \cdot z^{-4} + 3,4 \cdot 10^{-17} \cdot z^{-5}};$$

(117)

$$W_{s_2}(z) = \frac{2,69 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-1} - 2,94 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-2} - 2,36 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-3} + 1,71 \cdot 10^{-6} \cdot z^{-4} - 1,29 \cdot 10^{-10} \cdot z^{-5}}{1 - 1,97 \cdot z^{-1} + 1,42 \cdot z^{-2} - 0,94 \cdot z^{-3} + 0,49 \cdot z^{-4} + 1,06 \cdot 10^{-17} \cdot z^{-5}}.$$

(118)

Осы түрдегі берілу функциясы келесі түрдегі дискретизациялау уақытына ие:

$$T_s = 0,001 \text{ c.} \quad (119)$$

Алынған функцияларды рекуррентті түрге келтірейік:

$$y_I = 0,25 \cdot x_{k-1} - 0,49 \cdot x_{k-2} + 0,36 \cdot x_{k-3} - 0,24 \cdot x_{k-4} + 0,12 \cdot x_{k-5} + 1,97 \cdot y_{k-1} - 1,42 \cdot y_{k-2} + 0,94 \cdot y_{k-3} - 0,49 \cdot y_{k-4} + 0,25 \cdot y_{k-5};$$

(120)

$$y_{w_1} = 0,04 \cdot x_{k-1} - 0,01 \cdot x_{k-2} + 0,008 \cdot x_{k-3} + 0,0003 \cdot x_{k-4} - 0,12 \cdot x_{k-5} + 1,97 \cdot y_{k-1} - 1,42 \cdot y_{k-2} + 0,94 \cdot y_{k-3} - 0,49 \cdot y_{k-4} + 0,04 \cdot y_{k-5};$$

(121)

$$y_{w_2} = 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-1} - 1,09 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-2} + 4,05 \cdot 10^{-7} \cdot x_{k-3} + 2,7 \cdot 10^{-7} \cdot x_{k-4} + 1,97 \cdot y_{k-1} - 1,42 \cdot y_{k-2} + 0,94 \cdot y_{k-3} - 0,49 \cdot y_{k-4} + 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot y_{k-5};$$

(122)

$$y_{s_1} = 2,55 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-1} - 2,59 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-2} - 2,07 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-3} + 1,74 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-4} + 1,97 \cdot y_{k-1} - 1,42 \cdot y_{k-2} + 0,94 \cdot y_{k-3} - 0,49 \cdot y_{k-4} + 2,55 \cdot 10^{-6} \cdot y_{k-5};$$

(123)

$$y_{s_2} = 2,69 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-1} - 2,94 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-2} - 2,36 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-3} + 1,71 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-4} - 1,29 \cdot 10^{-6} \cdot x_{k-5} + 1,97 \cdot y_{k-1} - 1,42 \cdot y_{k-2} + 0,94 \cdot y_{k-3} - 0,49 \cdot y_{k-4} + 2,69 \cdot 10^{-6} \cdot y_{k-5};$$

(124)

Жұмыс үстелін үдету динамикасын сипаттайтын сигналды алу үшін жылдамдық сигналының мәнін дифференциалдау қажет.

Берілу функциясы бар дифференциалданатын буын көмегімен дифференциалдау операциясын толықтыруға болады:

$$W(s) = s. \quad (125)$$

Дискретті түрде бұл функция келесідей:

$$W(z) = \frac{z-1}{z} \quad (126)$$

Рекурренттік қалыптағы дифференциалданатын буын келесі түрге ие:

$$y_k = x_k - x_{k-1}. \quad (127)$$

Электродинамикалық вибростендтің математикалық моделін бағдарламалық қамтамасыз етуді іске асыру UnimodPro контроллер эмуляторында жасалды.

Математикалық нысанды іске асыратын бағдарламаның мәтіні В қосымшасында келтірілген.

Басқару жүйесін бағдарламалық қамтамасыз ету

Жүйенің бағдарламалық жасақтамасы келесі функцияларды жүзеге асыратын бағдарламалардан тұрады:

- математикалық модельді модельдеу;
- ақпараттық сигналды қалыптастыру;
- кері байланысты іске асыру;
- PID контроллер негізінде реттеу;
- LQG контроллер негізінде реттеу;
- шамадан тыс тұйықтанудан қорғауды іске асыру.

Математикалық модельді модельдеу В қосымшасында келтірілген. Бұл бағдарлама математикалық модель мен кіріс / шығыс порттарының жұмысын имитациялайды.

Ақпараттық сигналды қалыптастыру Г қосымшасында көрсетілген бағдарламада жүзеге асырылады.

Ақпараттық сигналдың бірнеше түрі болуы мүмкін: синус, соққы және кездейсоқ түрде. Әрбір сигналдың түрі үшін жиілік пен амплитудалық параметрлер беріледі.

Кері байланыс бағдарламасын іске асыру бағдарламасы Д қосымшасында келтірілген. Бұл бағдарламада кері байланыс тұйықталатын жүйе параметрін анықтауға болады.

PID контроллерді іске қосу бағдарламасы Ж қосымшасында берілген. Бұл бағдарламада PID контроллерінің параметрлері бапталып, оны жұмысы белсендіріледі. Сондай-ақ, Г қосымшасында PID контроллерінің өзінің бағдарламалық жасақтамасы келтірілген.

LQG контроллерін іске асыру бағдарламасы И қосымшасында келтірілген. Бұл бағдарламада LQG контроллерінің параметрлері бапталады және оның жұмысы белсендіріледі.

Жүктемелерден қорғауды жүзеге асыру бағдарламасы К қосымшасында келтірілген. Бұл бағдарлама жүйенің параметрлерін талдайды және параметрлер жүйенің максималды мәніне жақындағанда, бағдарлама жүйені тоқтатады.

Жүйені SCADA- жобалау

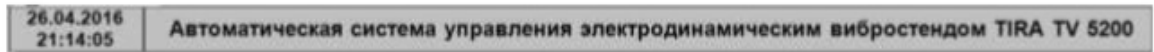
SCADA жүйесі адам-машина интерфейсі және келесі функцияларды орындайды:

- технологиялық параметрлерді визуалды көрсету;

- жүйенің енгізу әсерін бақылау;
- бақылау объектісінен деректерді жинау және сақтау;
- жүйеде төтенше жағдайларды алдын-алу және хабарлау;
- жүйенің қондырғысын өзгерту.

Жасалған SCADA жүйе екі панельден және бейне кадрлар өрісінен тұрады.

Жоғарғы панель (125 сурет) жүйенің атауын, күнін және уақытын көрсетеді.



125 сурет

Төменгі панель (126 сурет) бейне кадрларды таңдау өрісі.



126 сурет

Жүйеде мынадай мнемосұлбалар бар:

- «Жұмыс режимі»;
- «Модель»;
- «Баптау»;
- «Үрдістер»;
- «Журнал».

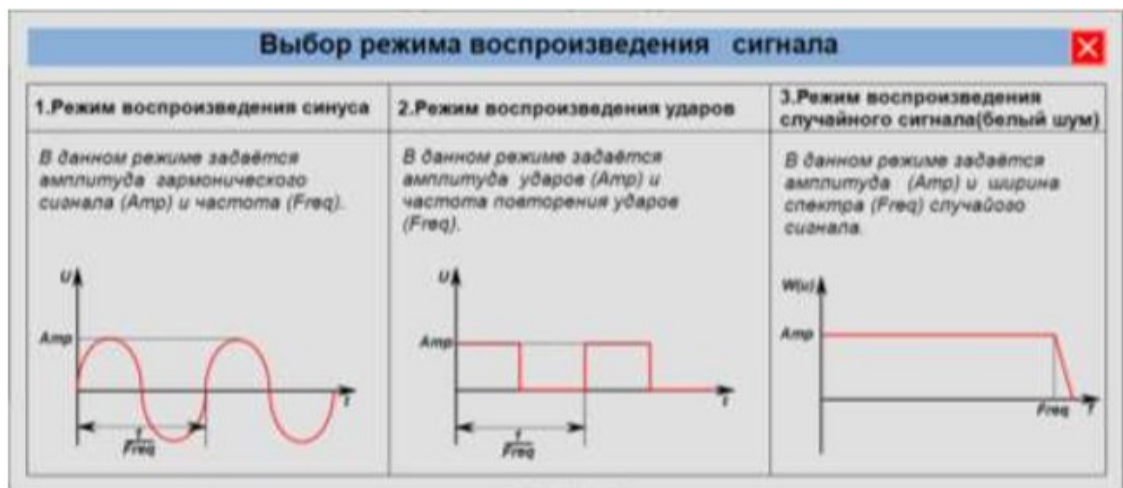
«Жұмыс режимі» терезесі 127-суретте көрсетілген. Кіріс сигналын қалыптастыру процесін іске асырады, атап айтқанда:

- әсер ету түрін таңдау (синус, соққы, кездейсоқ);
- сигнал параметрлерін анықтау (амплитуда, жиілік);
- осы дірілді беру және тоқтату режимі.



127 сурет- «Жұмыс режимі» терезесі

Параметрлердің қалыптасқан сигналға әсерін анықтау үшін, осы мнемосұлбадағы «?» батырманы басып, режимдердің анықтама терезесін ашуға болады. Режимдердің анықтама терезесі 128 суретте көрсетілген.



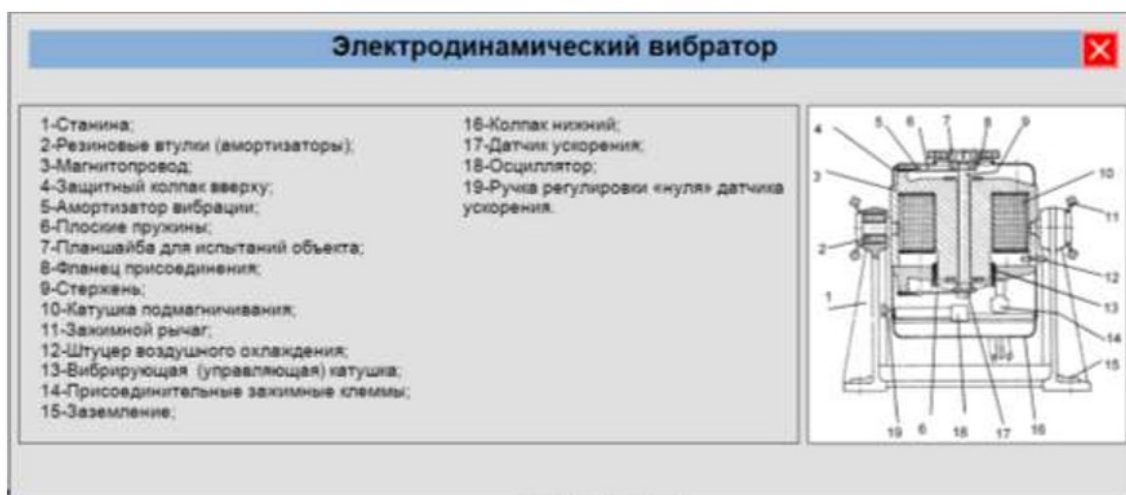
128 сурет -режимдердің анықтама терезесі

«Модель» терезесі электродинамикалық вибратордың математикалық моделінің құрылымын көрсетеді және модель параметрлерінің мәндерін түсіндіреді. Бұл терезе 129 суретінде көрсетілген.



129 сурет- «Модель» терезесі

Бұл көмек терезесінде «?» батырмасын басу арқылы анықтама терезесін шақырып, вибратор құрылымымен таныса аласыз, математикалық модель соның негізінде жасалған. Бұл анықтама терезесі 130 суретте көрсетілген.

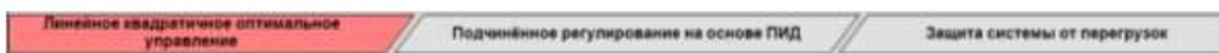


130 сурет- модель бойынша анықтама терезесі

«Баптау» терезесі келесі әрекеттерге арналған:

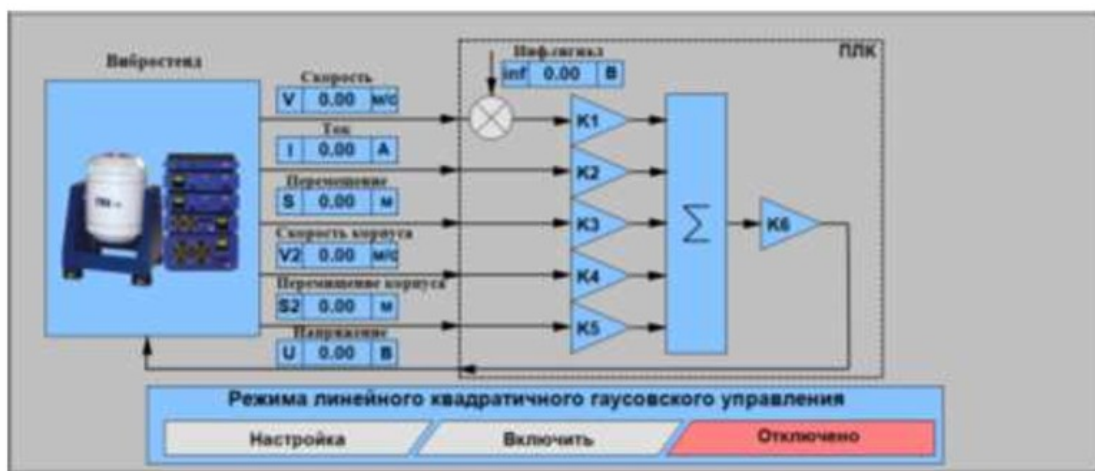
- жүйе (PID, LQG) үшін басқару заңын таңдау;
- жүйені шамадан тыс тұйықталудан қорғанысты қосу;
- реттегіштер мен қорғанысты баптау мәндерін оқу және жазу.

Баптау терезелері арасындағы ауысу қосымша панельдің көмегімен жүзеге асырылады (131 сурет)



131 сурет- баптауды таңдау панелі

132 суретте көрсетілген «Сызықты квадратты оңтайлы басқару» терезесі оңтайлы басқару заңын баптауды іске асырады.



132 сурет - Сызықты квадратты оңтайлы басқару

Бұл терезеде басқарудың бұл түрін қосу және өшіру мүмкін.

«Баптау» батырмасын басқанда, осы басқару заңының параметрлерін енгізу терезесі (133 сурет) ашылады.

Настройка ЛКГ-регулятора

Коэффициент усиления	K1	0.00
Коэффициент усиления	K2	0.00
Коэффициент усиления	K3	0.00
Коэффициент усиления	K4	0.00
Коэффициент усиления	K5	0.00
Коэффициент усиления	K6	0.00

133 сурет- оңтайлы басқару заңын аптау терезесі

«PID-негізделген бағынышты басқару» терезесі алдыңғы терезеге ұқсас, айырмашылығы әр PID контроллері үшін баптау терезесі бөлек. Жалпы терезе 134 суретте көрсетілген. 135 суретте сыртқы контур үшін PID баптау терезесі көрсетілген.



134 сурет- PID- контроллеріне негізделген бағынышты басқаруды баптаудың жалпы терезесі

Настройка ПИД-регулятора

Коэффициент усиления	K	0.00
Постоянная интегрирования	Ti	0.00
Постоянная дифференцирования	Td	0.00
Постоянная фильтра	Tf	0.00
Максимальное выходное значение	Umax	0.00
Минимальное выходное значение	Umin	0.00

135 сурет- сыртқы контур үшін PID контроллерін баптау терезесі

Жүйені шамадан тыс жүктемеден қорғауды баптау терезесі 136 суретте көрсетілген. Бұл терезеде вибростендтің параметрлерінің максимальды мәндері беріледі. Максимальды шектерден басқа, терезеде қондырғыны оқу және жазу іске асады, сонымен қатар қорғау белсендіріледі.

Защита системы от перегрузок



Ток			
I	0.00	I_{max}	0.00 A
Напряжение			
U	0.00	U_{max}	0.00 В
Ускорение			
A	0.00	A_{max}	0.00 м/с²
Скорость			
V	0.00	V_{max}	0.00 м/с
Перемещение			
S	0.00	S_{max}	0.00 мм

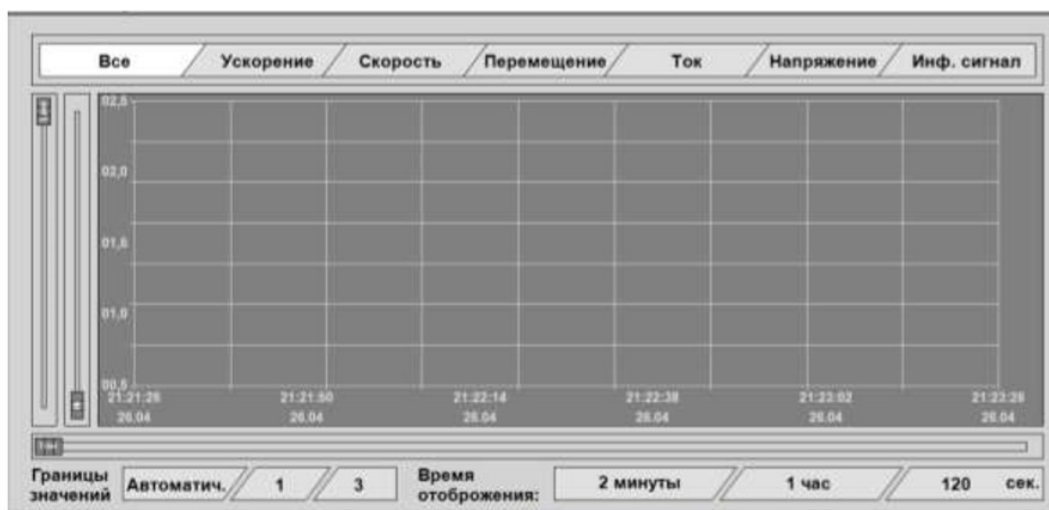


Настройка защиты от перегрузки

Состояние защиты от перегрузки

136 сурет- жүйені шамадан тыс жүктемеден қорғауды баптау терезесі

«Үрдіс» терезесінде вибратордың және тұтастай жүйенің параметрлерінің өзгеру динамикасы тіркеледі. Үрдіс терезесі 137 суретте көрсетілген.



137 сурет- сигналдарың үрісі

Бұл терезе келесі сигналдардың үрдістерін көрсетеді:

- үдету;
- жылдамдық;
- орынауыстыру;
- ток;
- кернеу;
- ақпараттық сигнал;
- бір графиктегі барлық сигналдар.

Тіркелген деректерді ыңғайлы талдау үшін, уақыт осі мен мәндер осі бойындағы үрдістердің көрінісін ауқымдау мүмкін болады.

«Журнал» терезесі жүйеде болған оқиғаларды тіркейді және осы терезедегі есепке соңғы оқиғаларды көрсетеді. 138 суретте оқиға журналы терезесі көрсетілген.

Дата	Событие
26.04.2016 21:23:54	Просмотр вкладки Журнал
26.04.2016 21:23:20	Просмотр вкладки Тренды
26.04.2016 21:22:19	Просмотр вкладки Настройки
26.04.2016 21:20:20	Просмотр вкладки Настройки
26.04.2016 21:15:02	Просмотр вкладки Модель
26.04.2016 21:14:57	Просмотр вкладки Режим сигнала
26.04.2016 21:14:55	Просмотр вкладки Модель
16.04.2016 17:38:25	Изменение настроек ПИД-регулятора
16.04.2016 17:38:20	Изменение настроек ПИД-регулятора
16.04.2016 17:37:13	Изменение настроек ПИД-регулятора
16.04.2016 17:37:07	Изменение настроек ПИД-регулятора
16.04.2016 17:36:05	Просмотр вкладки Настройки
16.04.2016 17:34:57	Просмотр вкладки Тренды
16.04.2016 17:34:57	Просмотр вкладки Тренды
16.04.2016 17:34:45	Режим внешнего квадратичного оптимального управления включен
16.04.2016 17:34:44	Режим внешнего квадратичного оптимального управления включен
16.04.2016 17:34:34	Режим внешнего квадратичного оптимального управления включен
16.04.2016 17:34:34	Режим внешнего квадратичного оптимального управления включен
16.04.2016 17:34:26	Режим внешнего квадратичного оптимального управления включен
16.04.2016 17:34:18	Режим внешнего квадратичного оптимального управления включен
Подробнее >>	

138 сурет- жүйенің оқиға журналы терезесі.

4.6 4-ші бөлім бойынша қорытынды

4-ші бөлім бойынша қорытындылар келесідей: 5 кГц жиілікте резонанстық шыңы бар электродинамикалық вибратордың бесінші ретті екі массалық математикалық моделі жасалды. Алынған математикалық модельге компьютерлік модельдеу жүргізілді. Компьютерлік модельдеу нәтижелері математикалық модельдің адекваттылығын растады. Жүйе бағынышты реттеу әдісімен синтезделді. Синтездің нәтижесі келесідей: 120-5000 Гц диапазонындағы резонанстық құбылыстар жойылды; жұмыс үстеліндегі дірілдің салыстырмалы қатесі 1% -ке азайды; жүйенің тербелісі 0,05-ден 0,035-ке дейін азайды; өтпелі процестің уақытын 150 мс дейін азайды.

АСОР-тың оңтайлы синтезі жасалды. Синтездің нәтижесі келесідей: жұмыс жиілігінің диапазоны 5 кГц-ден 7 кГц-ге дейін кеңейтілді; жұмыс үстеліндегі дірілдің салыстырмалы қатесі 1% -ға азайды; жүйенің тербелісі 0,05-ден 0,025-ға дейін азайды; өтпелі процестің уақыты 25 мс дейін азайды.

Жобаланған жүйенің техникалық және бағдарламалық қамтамасыз етуі таңдалды. Реттеушілердің математикалық моделінің және құрылған жүйені қорғау алгоритмі үшін бағдарламалық жасақтамасы жасалды. SCADA-жүйесі жобаланды.

ҚОРЫТЫНДЫ

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық зерттеу нәтижелері туралы қысқаша қорытындылар.

1. Автоматтандырылған дірілді сынақ жүйелеріндегі техникалық әдебиеттерді талдау.

2. Сенсорлардың механикалық әсерлерге әртүрлі сынау жүргізуді қарастыру келтірілген. Вибротұрақтылыққа тексеру жүргізу көрсетілді.

3. Электродинамикалық вибростендтің конструкциясына және оның сипаттамасына талдау жасалды. 120-5000 кГц жиілік диапазоны бар электромагниттік вибростендтер кең таралғаны анықталды.

4. Бұрыннан бар вибростендті басқару жүйелері қарастырылды. Олардың ішінде вибрацияны қайта қалпына келтіру арқылы автоматты басқару жүйелері анықталды.

5. 5 кГц жиілікте резонанстық шыңы бар электродинамикалық вибратордың бесінші ретті екі массалық математикалық моделі жасалды.

6. Алынған математикалық модельге компьютерлік модельдеу жүргізілді. Компьютерлік модельдеу нәтижелері математикалық модельдің адекваттылығын расталды.

7. Жүйе бағынышты реттеу әдісімен синтезделді. Синтездің нәтижесі келесідей: - 120-5000 Гц диапазонындағы резонанстық құбылыстар жойылды; - жұмыс үстеліндегі дірілдің салыстырмалы қатесі 1% -ке азайды; - жүйенің тербелісі 0,05-ден 0,035-ке дейін азайды; - өтпелі процестің уақытын 150 мс дейін азайды.

8. ACOR-тың оңтайлы синтезі жасалды. Синтездің нәтижесі келесідей: - жұмыс жиілігінің диапазоны 5 кГц-ден 7 кГц-ге дейін кеңейтілді; - жұмыс үстеліндегі дірілдің салыстырмалы қатесі 1% -ға азайды; - жүйенің тербелісі 0,05-ден 0,025-ға дейін азайды; - өтпелі процестің уақыты 25 мс дейін азайды.

9. Жобаланған жүйенің техникалық және бағдарламалық қамтамасыз етуі таңдалды.

10. Реттеушілердің математикалық моделінің және құрылған жүйені қорғау алгоритмі үшін бағдарламалық жасақтамасы жасалды.

11. SCADA-жүйесі жобаланды.

Қойылған міндеттерді шешудің толықтығын бағалау алынған нәтижелерді салыстыру арқылы анықталады:

- жұмыс үстелінің диапазоны оңтайлы басқару әдісін қолдану кезінде бағынышты реттеу әдісіне қарағанда **29 %** өсті.
- екі әдіс бойынша алынған қателіктер **%** тең.
- жүйенің тербелісі бағынышты реттеу әдісін қолдану кезінде оңтайлы басқару әдісіне қарағанда **29 %** азайды.
- өтпелі процестің уақыты бағынышты реттеу әдісін қолдану кезінде оңтайлы басқаруға қарағанда **83%** қысқарды.

Модельдеудің нәтижесінде оңтайлы басқару әдісін қолдану кезінде өтпелі процесс уақыты азаяды, жоғары жиіліктегі резонанстық құбылыстардың әсері жойылады және жұмыс диапазоны кеңейтіледі. Бірақ мұндай жүйелерде робастылық қасиеті болмайды.

Контурлық басқаруды пайдаланған кезде резонанстық құбылыстың әсері жойылады, бірақ жиіліктің жұмыс диапазоны азаяды және өтпелі процесс уақыты көбейеді. Берілген басқару әдісінің артықшылығы - бұл басқару әдісінің робастылығы.

Нәтижелерді нақты пайдалану туралы деректер мен ұсынымдар. Жұмыста жасалған автоматтандырылған зертханалық стендтік дірілге сынау жабдықтарына арналған эксплуатациялаудың техникалық шарттарын арттыруға бағытталған ғылыми-әдістемелік тәсілдердің жаңа жолдары ғылыми-зерттеу жұмыстарын және тәжірбиелік құрымдастыру жұмыстарын жүргізу тиімділігін айтарлықтай оңтайландырып, зертханалық сынақ нәтижелерінің сапасын жоғарлатады.

Жұмыста дірілді сынақтар бойынша әзірленген бағдарламалық-аппараттық кешен, оны тек жаңадан жасалып жатқан ғана емес, сонымен қатар қолданыстағы электродинамикалық вибростендтерге жаңарту мақсатымен орнатуға мүмкіндік береді. Бұл шешім экономикалық, уақыттық және функционалдық сипатта көптеген артықшылықтарға ие.

Алынған нәтижелер аспап жасау мен машина жасау салаларындағы көптеген әр түрлі кәсіпорындарында шығарылған өнімнің сапасын бақылау және мониторинг жасау мақсатында сынақтар өткізуде және ғылыми- зерттеу орталықтарында стендтік сынақтарды жүргізу, талдау, бағалау, жіктеу әдістерін жетілідіру мақсатында қолданыла алады.

Әрі қарай ілгерілеу үшін жаңа идеялар қажет. Қарастырылып отырған жұмыс болашағы зор. Ұсынылып отырған әдіс одан әрі материалтану және аспап жасау облысында материалдар мен бөлшектерді динамикалық жүктемелерге сынақтардың ұзақтығын қысқарту мәселесінде жетілдірілуі әбден мүмкін.

Диссертациялық жұмыста әзірленген теориялық тұжырымдамалар мен әдістемелер жасалған ДБАЖ негізін құрды, ол ЭДС сынау сынақтарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді, бұл келесі ғылыми-өндірістік орталықтарында ЖШС «Өлшеу- Бақылау технологиялары» және АҚ «ОДК-СТАР» жүзеге асыру актісімен расталды.

Іске асырудың техникалық және экономикалық тиімділігін бағалау. Жүргізілген есептеулерден алынған нәтижелер бойынша $TДҚ > 0$ таза дисконт құн шамасы, $KИ > 1$ кіріс индексі, ал есептелген $E_{III} = 107,112 \%$ іс жүзіндегі $E_{III} = 20 \%$ дисконт нормасынан асып түседі. Бұл берілген жобаны құруға инвестиция салу экономикалық тұрғыдан орынды болып табылады.

Бағдарлама құрудың жалпыланған техникалық-экономикалық көрсеткіштері: Капиталды қаржы жұмсалымы тн.- 153750, Пайдалану шығындары тн.- 122600, Көтерме бағасы тн.- 612599,6, Еркін босату бағасы тн.- 722615,2, Жобаға кеткен шығын тн.- 510168, Таза пайда, тн.- 1064000, Өнім бірлігіне келетін пайда, тн.- 118220, Таза дисконтталған құн ($E = 20\%$ болғанда) тн.- 640500, Ішкі кіріс нормасы %- 107,112, Кіріс индексі-2,5, Құрастырудың орташа табыстылығы %- 50, Сату табыстылығы тн. -1,275, Өтеу мерзімі ж.-1.

Осы саладағы ең жақсы жетістіктермен салыстырғанда орындалатын жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау.

Жұмыста келтірілген әдебиеттерге шолу, теориялық және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері қазіргі заманғы ғылыми-техникалық деңгейге сәйкес. Мәселені кешенді түрде шешетін мұндай жұмыстар - автоматтандырылған зертханалық стендтік дірілге сынау жабдықтарына арналған эксплуатациялаудың техникалық шарттарын арттыруға бағытталған ғылыми-әдістемелік тәсілдер қажет.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Голушко, Д. А. Методика проведения испытания электронных средств на стойкость к внешним вибрационным воздействиям с учетом их конструктивных особенностей / Голушко, Д. А. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 1. С. 373-376.
2. Автоматизированная многоканальная виброиспытательная установка/А. В. Затылкин, А.В. Лысенко, Д.А. Голушко, Д.А. Рындин, Н.К. Юрков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание -Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. Спецвыпуск-С. 83-87 .
3. Голушко, Д. А. Анализ современного виброиспытательного оборудования для исследования динамических характеристик конструктивных элементов РЭС / Д. А. Голушко // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. проф. Н. К. Юркова. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. -Вып. 17.-С. 89-94

4. Астахова Т.В. Автоматизация процессов проведения виброиспытаний датчиковой и преобразующей аппаратуры / Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации / под ред. Е. А. Ломтева, А. Г. Дмитриенко. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – С. 178-182.
5. Юрков Н.К., Жаднов В.В. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры. Учебное пособие. Пенза: ПГУ, 2012. – 112 с.
6. ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения. М. 1980.
7. ГОСТ 30630.1.1-99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Определение динамических характеристик конструкции. Минск, 2001.- 20с.
8. <https://publikacija.ru/images/PDF/2016/11/sovremennye-tendentsii-sozdaniya.pdf>
9. <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2376/doc/50690/>
10. https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/393368/#i326449
11. ГОСТ 23752.1-92 Платы печатные. Методы испытаний. Введ. 199301-01. — М., 1993. - 57с.
12. Автоматизация вибростендов - Copyright 2009, ООО "Витэк", 7 с.
13. Барашков В. А. Механические воздействия и защита электронных средств: учеб. Пособие / Под ред. А.А. Левецкий. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. - 122с.
14. Лысенко А. В. Влияние способов крепления, площади и толщины платы на ее собственные частоты // Молодежь. Наука. Инновации: Труды VI международной научно-практической конференции. – Пенза: Изд-во ПФ ФГБОУ ВПО «РГУИТП», 2013.– С. 192-194.
15. Голушко, Д. А. Моделирование влияния внешних механических воздействий на АЧХ бортовых РЭС / Голушко Д.А., Юрков Н.К., Долотин А.И. // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Москва, 2013. Т. 1. С. 392-394.
16. Программное обеспечение система управления вибростендами ZET017-U - Москва, Зеленоград, 2011.
17. <https://docplayer.ru/45689857-Iiiaiodiaiaay-nenoaia-iiieoideiaa-aeadaoeiiaai-ninoiyey-dioidiuo-iaoaieciia.html>
18. <http://www.rosteh.ru/catalog/products/management-system-vibrotest/51/32/>
19. <http://www.emtld.com/catalog/30/58/67/>
20. <https://all-pribors.ru/opisanie/38978-08-cats-puma-jaguar-cougar-40438>
21. Шишкин И.Ф. Испытания и испытательное оборудование: учебное пособие – СПб.: СЗТУ, 1999.- 50 с.
22. Вибрация в технике: справочник / под ред. М.Д. Генкина. – М.: Машиностроение, 1981. - 496 с.
23. Глудкин О.П. Методы и устройства испытания РЭС и ЭВС: справочник - М.: В.Ш., 2001. - 335 с.
24. Остроменский П. И. Вибрационные испытания радиоаппаратуры и приборов. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. — 173с.

25. Тумковский С.Р. Виброакустический контроль бортовой космической аппаратуры / С.Р. Тумковский, С.У. Увайсов, И.А. Иванов, Р.И. Увайсов // Мир измерений, 2007. № 12. – С. 4-7.
26. Муслимова А.К., Михайлов П.Г., Кабдолдина А.О., Султангазинов С.К. Многофункциональные датчики физических величин для систем автоматики. / «Промышленный транспорт Казахстана», Алматы, №2(51) 2016.- С. 113-116.
27. Евтушенко, Г.С. Исследование электродинамического сейсмоприёмника: методическое пособие по выполнению лабораторной работы для студентов магистерской подготовки «Геофизическое приборостроение» / Г.С. Евтушенко. – Томск: ТомГУ, 2008. - 14 с.
28. Генкин, М.Д. Электродинамические вибраторы / М.Д. Генкин, А.М. Русаков, В.В. Яблонский. - М.: Машиностроение, 1975. - 96 с.
29. Дьяконов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник/ Круглов В. –С. Пб.: Питер, 2001. - 448 с.
30. Божко А.Е. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей - Киев: Наукова думка, 1989. - 205 с.
31. Дьяконов В. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании/ Полное руководство пользователя.-М.: СОЛОН-Пресс, 2009.- 242 с.
32. http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/886/44886/21664?p_page=10
33. Лысенко А.В. Оценка степени влияния внешних механических воздействий на динамические параметры РЭА при вхождении в резонанс / А.В. Лысенко // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2013 г.: в 14 частях. / Часть 11 ; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2014. С. 100–104.
34. http://alnam.ru/book_ads.php?id=29
35. Семёнов А. Д. Основы теории линейных систем автоматического управления: учебное пособие / Под ред. А.Д. Семёнов, Д.В. Артамонов. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2003.- 135 с.
36. Ловчаков В. И. Оптимальное управление электротехническими объектами: справочник - Тула: ТулГУ, 2004. – 149 с.
37. Александров А.Г. Оптимальные системы: учебное пособие для вузов по специальности «Автоматика и управление в технических системах» - М.: В.Ш., 1989. – 263 с.
38. Кабдолдина Ә.О., Михайлов П.Г., Ожикенов Қ.А., Кабдолдина Н.О., Уалиев Ж.Р. Вибростендің автоматтандырылған басқару жүйелері үшін асор-ды қолдану / «Шахмардан Есеновтың ғылыми мұрасы» халықаралық Сәтбаев оқуларының еңбектері, Алматы, 2017, 619-623 б.
39. Гишваров, А. С. Оптимизация ресурсных испытаний технических систем имитационным моделированием жизненного цикла / А. С. Гишваров. Уфа : Гилем, 2005. 328 с.

40. Трунин, И. И. Оценка длительной прочности материалов с большими сроками службы / И.И. Трунин // Надежность и контроль качества. 1970. №12. С. 50–57
41. Серенсен, С. В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность : справ. пособие / С. В. Серенсен, В.П.Когаев, Р. М.Шнейдерович. М. : Машиностроение, 1975. 488 с.
42. Қабдолдина Ә.О., Ожикенов Қ.А., Михайлов П.Г., Уалиев Ж.Р. Оңтайлы реттеуіштерді аналитикалық құрамдастыру арқылы электродинамикалық стендтің динамикалық сипаттамасын жақсарту/ Вестник КазАТК, Алматы, 2017, №4.- с. 63-69.
43. Қабдолдина Ә.О., Ожикенов Қ.А., Михайлов П.Г., Қабдолдина Н.О., Уалиев Ж.Р. Электродинамикалық стендтердің автоматтандырылған адаптивті жүйелерін тұрақтандыру/ Вестник КазНПУ, Алматы, 2017, №3.-с. 176-180.
44. ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001) Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования - М.: Стандартинформ, 2008.
45. Ожикенов Қ.А., Михайлов П.Г., Кабдолдина А.О., Уалиев Ж.Р. The forming processes of local removal of semiconductor materials in micromechanical devices manufacturing technologies/ International Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET) – Volume: 9, Issue: 10, October, 2018. p.1356-1367.
46. Ж.Р. Уалиев, Н.Б. Усенбаев, А.О. Кабдолдина. Численный метод для моделирования физико-химического процесса/Proceedings of the Joint International VIII Symposium "Combustion & Plasmochemistry", 2015.- с.24-29
47. Q. Chen and C. Levy. Vibration analysis of flexible beam by using smart damping structures. Composites. Part B: Engineering, 30:395–406, 1999.
48. V. Piefort. Finite Element Modelling of Piezoelectric Structures. PhD thesis, Universit'e Libre de Bruxelles, 2001.
49. П.Г. Михайлов, М.К. Бактыбаев, З.А. Баясилова, А.Хабай, М.Ж. Айтимов, А.О. Кабдолдина, Г. Машир, М.С. Гусманова, Вопросы контроля пьезоэлектрических чувствительных элементов датчиков физических величин/ Молодежь. Наука. Инновации (Youth.Science.Innovation): Труды XII Международной научно-практической интернет-конференции/ Под ред. И.В. Палаткина, Н.А. Виноградовой - Пенза: Издательство ПКИТ ФГБОУ ВО «МГУТУ» им. К.Г. Разумовского (ПКУ), 2016. – с. 185-191.
50. LORD Corporation. Magneto-Rheological (MR) Fluid, 2006
51. Geoffrey P. Mc Knight. Magnetostrictive materials background. Website. Available: <http://aml.seas.ucla.edu/research/areas/magnetostrictive/overview.htm>.
52. A. Preumont. Vibration Control of Active Structures. Kluwer Academic Publishers, 2. edition, 2002.
53. Zhomart Ualiyev, Assem Kabdoldina and Karen S. Martirosyan, Nanostructured Complex Oxides Catalysts for Reduction Soot Ignition Temperature, 2015 AIChE Annual Meeting, November 8-13, Houston.-p. 158-159.
54. G. Giannopoulos, F. Santafe, J. Vantomme, F. Buysschaert, and P. Hendrick. Smart helicopter blade using piezoelectric actuators for both cyclic and collective

- pitch control. Multifunctional Structures / Integration of Sensors and Antennas, 11(1), 2006.
55. P. Gaudenzi, R. Carbonaro, and E. Benzi. Control of beam vibrations by means of piezoelectric devices: theory and experiments. Composite Structures, 50.:373–379, 2000.
56. Қабдолдина Ә.О., Оралканова Қ.О., Уалиев Ж.Р., Усенбаев Н.Б. Физико-химиялық процесстерді моделдеу үшін сандық әдістер/ Международные Сатпаевские чтения – 2015 «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана», 2015, 10 ноябрь.-с. 552-555.
57. Kabdoldina A., Tuleshov E., Ualiyev Zh. Modeling of physical and chemical processes using CUDA technology. / Казахстан (АО НЦ НТИ) Международный журнал "Горение и плазмохимия", 2014.- с. 24-29.
58. Steinberg D.S. Vibrations analysis for electronic equipment. – New York, 1973. – 456 p.
59. Александровская Л. Н., Круглов В. И., Кузнецов А. Г., Кузнецов В.А, Кутин А. А., Шолом А. М. Теоритические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. М.: Логос, 2003 – 735с.
60. Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. М.: Машиностроение, 1978 – 1981.
61. Голушко Д.А. Методика исследования радиоэлектронных средств опытно-теоретическим методом на ранних этапах проектирования / А.В. Лысенко, А.В. Затылкин, Д.А. Голушко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева (национального исследовательского университета) № 7 (38). 2012. – С. 91-96.
62. Колесников А.Е. Шум и вибрация: Учебник. – Л.: Судостроение, 1988. – 248 с.
63. Маквецов Е.Н., Тартаковский А.М. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. для вузов. – М.: Радио и связь, 1993. – 200 с.
64. Третьяченко, Г. Н. Термическая усталость материалов в условиях неоднородного термонапряженного состояния / Г.Н. Третьяченко, А.В. Кравчук, Р.Н. Курият. Киев : Наук. думка, 1985. 280 с.
65. Қабдолдина Ә.О., Ожикенов Қ.А., Михайлов П.Г., Оралканова К.О., Уалиев Ж.Р. Өлшегіш түрлендірушілердің метрологиялық модельдері/ Вестник КазНПУ, Алматы, 2017, №4.- с. 142-146.
66. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления/ С. Ф. Гребен, М. Э. Сальгадо. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. —911 с.
67. Устройство программного управления TREI-5B-05. Руководство по эксплуатации TREI.421457.501 РЭ– Пенза: АО «ТРЭИ», 2015.
68. D. U. Bodykov, M. S. Abdikarimov, M. A. Seitzhanova, M. Nazhipkyzy, Z. A. Mansurov, A. O. Kabdoldina , and Zh. R. Ualiyev Processing of oil sludge with the use of the electrohydraulic effect / Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Vol. 90, No. 5, September–October, 2017, p. 1096-1101.
69. Виброиспытательное оборудование. Каталог– Москва: НПФ «ДИПОЛЬ», 2009.

70. Летные испытания аэрокосмической техники. Каталог– Москва: ООО «ОКТАВА+», 2009.
71. Черных И. Simulink: среда создания инженерных приложений – Москва: Диалог-МИФИ. 2003.
72. UnimodPro. Руководство пользователя– Пенза: АО «ТРЭИ», 2008. 14.
- DataRate™. Быстрый старт– Пенза: НПФ «КРУГ», 2007.
73. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления/ С. Ф. Гребен, М. Э. Сальгадо. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. —911 с. 6.
74. Семёнов А. Д. Основы теории управления и идентификации в технических системах: Учебн. Пособие / А.Д. Семёнов, М.А. Щербаков. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. - 211 с.
75. DataRate. Разработка НМІ-приложений/1-е изд. 2005-2008. НПФ «КРУГ».
76. Ожигенов К.А., Касимов А.О., Аналиева А.У. Узлы и компоненты микроэлектронных датчиков // Известия Южного федерального университета. Технические науки. № 3(164) 2015 С. 184-193.
77. Уваров И.В., Наумов В.В., Аминов М.К., и др. Исследование резонансных характеристик металлических микро- и нанобалок. // Нано- и микросистемная техника, 2011, № 12, с. 45-48.
78. Ломтев В.А., Сазонов А.О., Аналиева А. У. Многофункциональные датчики физических величин. Принципы построения, модели и конструкции Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль 2015, № 2(12), С. 57-64.
79. Polysilicon MEMS accelerometers exposed to shocks: numerical-experimental investigation / Ghisi Aldo, Kalicinski Stanislaw, Mariani Stefano, De Wolf Ingrid, Corigliano Alberto // J. Micromech. and Microeng. : Structures, Devices and Systems. - 2009. - 19, № 3. - С. 035023/1-035023/12.

А қосымшасы

MATLAB ортасында басқару объектісінің математикалық моделін іске асыру бағдарламасы

Бағдарлама мәтіні:

```
c1=7000000; c2=1000;  
m1=1.7; m2=80;  
a1=5; b=22;  
ki=100; R=4;  
L=.001;  
a1=[-R -a1 0 0 0]/L;  
a2=[ki -b b -(c1+c2) c2]/m1;  
a3=[0 b -b c2 -c2]/m2;  
a4=[0 1 0 0 0];  
a5=[0 0 1 0 0];  
A=[a1; a2; a3; a4; a5];  
B=[1 ;0 ;0; 0; 0]/L;  
C=[0 0 0 1 0];  
D=0;  
SSmod=ss(A,B,C,D);  
bode(SSmod),grid  
step(SSmod),grid
```

Б қосымшасы

MATLAB ортасында «MModLQG» бағдарламасы

Бағдарлама мәтіні:

```
c1=7000000;c2=1000;
m1=1.7;m2=80;
a1=5;b=22;
ki=100;R=4;L=.001;
a1=[-R -a1 0 0 0 0]/L;
a2=[ki -b b -(c1+c2) c2 0]/m1;
a3=[0 b -b c2 -c2 0]/m2; a4=[0 1 0 0 0 0]; a5=[0 0 1 0 0 0];
a6=[0 0 0 -1 0 0];
A=[a1; a2; a3; a4; a5; a6];
B=[0 ;1 ;0; 0; 0; 1]/L;
C=[0 0 0 1 0 0];
D=0;
SSmod=ss(A,B,C,D);
SSmod=minreal(SSmod)
[ A, B, C, D ]=ssdata(SSmod)
bode(SSmod),grid
step(SSmod),grid
K=lqry(SSmod,1000,.00001);
P=ss(A,[B B],C,[D D]);
Kest=kalman(P,1000,0.00001);
```

```
G=lqgreg(Kest,K)
clsm=feedback(SSmod,G,+1);
q1=tf(Kest);
q2=tf(G);
bode(clsm,SSmod)
K1=K(1);K2=K(2); K3=K(3) ; K4=K(4) ; K5=K(5)
[AC BC CC DC]=ssdata(ss(G))
```

В қосымшасы

Басқару объектісінің математикалық моделін іске асыру

Бағдарлама коды

```
_TIRA_TV_52009((BOOL_TO_REAL(ModelPLC)*(Signal_U)));  
Signal_2_I:=_TIRA_TV_52009.I;  
Signal_2_A:=_TIRA_TV_52009.A;  
Signal_2_W:=_TIRA_TV_52009.W1;  
Signal_2_S:=_TIRA_TV_52009.S1;  
Signal_2_W1:=_TIRA_TV_52009.W2;  
Signal_2_S1:=_TIRA_TV_52009.S2;  
Signal_W:=(Signal_2_W+(Input_W));  
Signal_I:=(Signal_2_I+(Input_I));  
Signal_A:=(Signal_2_A+(Input_A));  
Signal_S:=(Signal_2_S+(Input_S));  
Signal_W2:=(Input_W2+(Signal_2_W1));  
Signal_S2:=(Signal_2_S1+(Input_S2));  
Output_U:=(BOOL_TO_REAL((NOT ModelPLC))*(Signal_U));
```

TIRA_TV_5200 функциясы

```
TSTART(T1);  
if T1>=t#10ms then  
TSTOP(T1);  
I:=0.25*U1-0.49*U2+0.36*U3-0.24*U4+0.12*U5+1.97*I1-  
1.42*I2+0.94*I30.49*I4+1.61*(POW(10.0,-16.0))*I5;
```

```

W1:=0.04*U1-
0.01*U2+0.008*U3+0.0003*U4+0.12*U5+1.97*W1_11.42*W1_2+0.94*W1_3-
0.49*W1_4+8.5*(POW(10.0,-17.0))*W1_5;
S1:=2.55*(POW(10.0,-6.0))*U1-2.59*(POW(10.0,-6.0))*U2-
2.07*(POW(10.0,6.0))*U3+1.74*(POW(10.0,-6.0))*U4+1.97*S1_1-
1.42*S1_2+0.94*S1_30.49*S1_4+3.4*(POW(10.0,-17.0))*S1_5;
W2:=1.1*(POW(10.0,-6.0))*U1-1.09*(POW(10.0,-
6.0))*U2+4.05*(POW(10.0,7.0))*U3+2.7*(POW(10.0,-7.0))*U4+1.97*W2_1-
1.42*W2_2+0.94*W2_30.49*W2_4-1.06*(POW(10.0,-17.0))*W2_5;
S2:=2.69*(POW(10.0,-6.0))*U1-2.94*(POW(10.0,-6.0))*U2-2.36*(POW(10.0,-
6.0))*U3+1.71*(POW(10.0,-6.0))*U4-1.29*(POW(10.0,-
6.0))*U5+1.97*S2_11.42*S2_2+0.94*S2_3-0.49*S2_4+3.4*(POW(10.0,-
17.0))*S2_5;
A:=W1-A1; A1:=A;
I5:=I4; I4:=I3; I3:=I2; I2:=I1; I1:=I;
W1_5:=W1_4; W1_4:=W1_3; W1_3:=W1_2; W1_2:=W1_1; W1_1:=W1;
W2_5:=W2_4; W2_4:=W2_3; W2_3:=W2_2; W2_2:=W2_1; W2_1:=W2;
S1_5:=S1_4; S1_4:=S1_3; S1_3:=S1_2; S1_2:=S1_1; S1_1:=S1;
S2_5:=S2_4; S2_4:=S2_3; S2_3:=S2_2; S2_2:=S2_1; S2_1:=S2;
T1:=t#0ms;
end_if

```

Г қосымшасы

Ақпараттық сигналды қалыптастыру бағдарламасы

Бағдарлама коды

```
_GENERATOR_SIGN1(Pusk,Stop,REGIM,(INT_TO_REAL(AMP)*(0.5)),INT_TO_REAL(FREQ),CLK);  
Signal_inf:=_GENERATOR_SIGN1.Output;  
Stop:=false;  
Pusk:=false;
```

GENERATOR_SIGN функциясы

```
TRIG_RS(PUSK,STOP);  
STATUS:=TRIG_RS.Q;  
if STATUS THEN  
CASE REGIM OF  
1: OUTPUT:=Amp*sin(Freq*CLK);  
2: If Amp*sin(Freq*CLK)>0.0 then OUTPUT:=Amp; else OUTPUT:=0.0; end_if;  
3: OUTPUT:=Amp*sin(int_to_real(rand(real_to_int(Freq)))*CLK);  
END_CASE;  
else  
OUTPUT:=0.0;  
end_if;
```

Д қосымшасы

Кері байланысты іске асыру бағдарламасы

Бағдарлама коды

```
Error:=((BOOL_TO_REAL(ErrorA)*((Inf_Sign-Signal_A))))  
+((BOOL_TO_REAL(ErrorV)*((Inf_Sign-(Signal_V))))))  
+((BOOL_TO_REAL(ErrorD)*((Inf_Sign-(Signal_D))))))  
+((BOOL_TO_REAL(ErrorI)*((Inf_Sign-(Signal_I))))))  
+((BOOL_TO_REAL(ErrorOff)*(Inf_Sign)))));  
ErrorA:=(FeedType = 1);  
ErrorV:=(FeedType = 2);  
ErrorD:=(FeedType = 3);  
ErrorI:=(FeedType = 4);  
ErrorOff:=(FeedType = 5);
```

Ж қосымшасы

PID контроллер негізінде реттеу бағдарламасы

Бағдарлама коды

```
IF (NOT (Contr = 1)) THEN RETURN;
END_IF;
Error_contur_Up:=(Signal_inf-(Signal_W));
_PID_OGR1(Setting[1, 1],Setting[1, 2],Setting[1, 3],
Setting[1, 4],CLK,Error_contur_Up,Setting[1, 5],Setting[1, 6]);
Control_contur_Up:= _PID_OGR1.Output;
Error_contur_Down:=(Control_contur_Up-(Signal_I));
_PID2(Setting[2, 1],Setting[2, 2],Setting[2, 3],
Setting[2, 4],CLK,Error_contur_Down);
Control_contur_Down:= _PID2.Output;
Signal_U:=Control_contur_Down;
```

PID функциясы

```
TSTART(T1);
if T1>=t#100ms then TSTOP(T1);
Ts:=0.01; D:=POW(2.7183,-TS/TF);
Ti:=1.0/Ki; Td:=1.0/Kd; b0:=K+(Td/Tf);
b1:=-K*(1.0+D)+(Ts/Ti)-(2.0*Td/Tf);
b2:=(Td/Tf)+(K*D)-(Ts*d/Ti);
a1:=-d-1.0;
a2:=d;
Output:=-a1*y1-a2*y2+b0*Input+b1*u1+b2*u2; y1:=Output; y2:=y1;
u1:=Input;
u2:=u1;
T1:=t#0s;
end_if;
```

II қосымшасы

LQG реттегішінің негізінде реттеу бағдарламасы

Бағдарлама коды

```
IF (NOT (Contr = 2)) THEN RETURN; END_IF;  
Error_LQG:=(Signal_Inf-(Signal_W));  
Summ:=((Setting[3, 1]*(Signal_I))+((Setting[3, 2]*(Signal_W))) +((Setting[3,  
4]*(Signal_S)))+((Setting[3, 3]*(Signal_W2))) +((Setting[3, 5]*(Signal_S2))));  
Signal_U:=(Setting[3, 6]*(Summ));
```

К қосымшасы

Шамадан тыс жүктемеден қорғау бағдарламасы

Бағдарлама коды

```
Alarm_Set:=((ABS(Signal_U) > Setting[4, 1]) OR (ABS(Signal_A) > Setting[4, 2])  
OR (ABS(Signal_W) > Setting[4, 3]) OR (ABS(Signal_S) > Setting[4, 4]) OR  
(ABS(Signal_S) > Setting[4, 5]));  
_SR25((REAL_TO_BOOL(Setting[4, 6]) AND Alarm_Set),Alarm_Cvint);  
_RF_TRIG28(_SR25.Q);  
Pusk:=_RF_TRIG28.Q;  
Alarm_Ind:=_SR25.Q;  
Alarm_Cvint:=false;
```