

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

"Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің  
технологиялары" кафедрасы

Айдархан Айжан Әлібекқызы

«Жылдам прототиптеу әдістерін қолдана отырып "бағыттаушы білік"  
дайындау процесін зерттеу»

**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ**

6M071200 – Машина жасау мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

ӘОЖ: 621.824 (043)

Қолжазба құқығында

Айдархан Айжан Әлібекқызы

**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ**

Магистр ғылыми дәрежесі үшін

Диссертация тақырыбы Жылдам прототиптеу әдістерін қолдана отырып  
"бағыттаушы білік" дайындау процесін зерттеу

Дайындау бағыты 6М071200 – «Машина жасау»

Ғылыми жетекші

Доктор PhD, кафедра меңгерушісі

Б.А. Б.С.Арымбеков

"28" мамыр 2019 ж.

Рецензент

ҚазҰАУ «Механика және ауылшаруашылық  
техникасын құрылымдау» кафедрасының

т.ғ.к.

Л.А. Л.А.Курманғалиева

"29" мамыр 2019 ж.

Нормабақылаушы

Доктор PhD

Б.А. Б.С. Арымбеков

"28" мамыр 2019 ж.

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

БМ және МӨТ кафедрасының  
меңгерушісі

Доктор PhD

Б.А. Б.С. Арымбеков

"28" мамыр 2019 ж.

Алматы, 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

"Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің  
технологиялары" кафедрасы

6M071200 – Машина жасау

**БЕКІТЕМІН**

БМ және МӨТ

кафедрасының

менгерушісі, доктор PhD

Б.С.Арымбеков

"30" қазан 2017 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға  
ТАПСЫРМА**

Магистрант Айдархан Айжан Әлібекқызы

Тақырыбы: Жылдам прототиптеу әдістерін қолдана отырып "бағыттаушы білік" дайындау процесін зерттеу.

Университет ректоры бұйрығының №1596-м "30" қазан 2017 ж. шешімімен бекітілген.

Орындалған диссертацияны өткізу мерзімі "03" маусым 2019 ж.

Магистрлік диссертацияға бастапқы мәліметтері: Жылдам прототиптеу әдісін қолданып білікті дайындау негізіндегі ғылыми және оқу әдебиет

Есеп-түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтардың тізімі:

а) Бағыттаушы біліктердің қозғалыс жүйесіндегі құрылымдық өзгерістері

б) 3D FDM баспа жүйесі

в) Бағыттаушы біліктің динамикасын зерттеу

Ұсынылған негізгі әдебиет:


1 Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш [Текст]: // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.

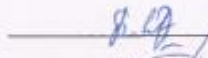
2 Буджик Г. Жылдам прототипті қолдану дайындау және сараптау әдісі. Қазіргі заманғы инженериядағы технологиялар (InTech баспагер, 2011) 339-364 с..

Магистрлік диссертацияны орындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атаулары, зерттелген мәселелердің тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Бағыттаушы біліктердің қозғалыс жүйесіндегі құрылымдық өзгерістері	24 қараша 2018 ж. 19 желтоқсан 2018 ж.	
3D FDM баспа жүйесі	15 қаңтар 2019 ж. 16 наурыз 2019ж	
Бағыттаушы біліктің динамикасын зерттеу	23 наурыз 2019ж. 18 сәуір 2019ж	

Аяқталған магистрлік диссертацияның және оларға қатысты диссертацияның бөлімдері кеңесшілерінің және норма бақылаушының қолтаңбасы

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Нормабақылаушы	Б.С. Арымбеков кафедра меңгерушісі, доктор PhD	28.05.19	

Ғылыми жетекші  Б.С. Арымбеков

Тапсырманы орындаушы  А.Ә. Айдархан

Күні "28" маусым 2019 ж.

## АҢДАТПА

Бұл магистрлік диссертацияда жылдам прототиптеу әдістерін қолданатын бағыттаушы білік қарастырылған. Бүгінгі күні жылдам прототипті технологиялар туралы көптеген ақпарат бар. Бірақ олардың әрқайсысының артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау оңай емес және практикалық тәжірибе болмаған кезде жақсысын таңдауға болады. Осы немесе басқа технологияны қолдану практикасының болуы нақты мәселелерді шешудің тиімді құралдарын таңдау кезінде анықтаушы фактор болуы керек.

Прототиптер, дизайнерлік құралдар сияқты ұлғаяды. Прототипті жоғары сапалы пайдаланушы интерфейстерін жасау барысында бізге көмектеседі. Интерфейстер интерактивті жасайтын болып табылады, пайдаланушы кірісіне және эмоцияларға ие болады. Прототиптер конструкцияның сезімін және функцияларын қарапайым экрандық пішіндер жасай алмайтын етіп қалыптастыруға мүмкіндік береді.

## АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертации рассмотрены направляющего вала с применением методов быстрого прототипирования. Сегодня о технологиях быстрого прототипирования имеется много информации, однако выявить преимущества и недостатки каждой из них и выбрать для себя оптимальную в отсутствие практического опыта весьма непросто. Только наличие практики применения той или иной технологии может и должно стать определяющим фактором при выборе эффективного средства для решения конкретных задач.

Прототипы, как инструменты дизайна, находятся на подъёме, и вот почему. Прототипирование помогает нам в процессе создания качественных пользовательских интерфейсов. Интерфейсы, которые мы создаём, интерактивны, откликаются на воздействие пользователя и обладают эмоциями. Прототипы позволяют сформулировать чувства и функции дизайна так, как этого не могут сделать простые экранные формы.

## **ABSTRACT**

The article discusses the guide shaft using rapid prototyping methods. Today, there is a lot of information about rapid prototyping technologies, but it's not easy to identify the advantages and disadvantages of each of them and choose the best one for yourself without practical experience. Only the presence of the practice of application of this or that technology can and should become the determining factor when choosing an effective means for solving specific problems.

Prototypes, like design tools, are on the rise, and here's why. Prototyping helps us in the process of creating high-quality user interfaces. The interfaces that we create are interactive, respond to user input and have emotions. Prototypes allow to formulate the feelings and functions of the design in a way that simple screen forms cannot.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе

- 1 Аддитивті технологиялардың CAD \ CAM \ CAE жүйесінде орындалуы
  - 1.1 Стереолитография (SLA) және балқыту арқылы модельдеу FDM технологиялары
  - 1.2 FDM технологиясының құрылымдық жүйесі
- 2 Бағыттаушы біліктердің қозғалыс жүйесіндегі құрылымдық өзгерістері
  - 2.1 Бағыттаушы және айналмалы біліктер
- 3 Бағыттаушы білікті басып шығаруға қатысты дағдарыстық факторлар
  - 3.1 3D FDM баспа жүйесі
  - 3.2 Сызықты және машина жолдарын жасау
- 4 Бұрамдықты бәсеңдеткіштер
  - 4.1 Бәсеңдеткіштің құрылымы мен сипаттамасы
  - 4.2 Бұрамдықты бәсеңдеткіштің топтасуы
  - 4.3 Бұрамдық берілістер мен жетектердің сипаттамалары
  - 4.4 Іліністегі сырғанау және бұрамдықты берілістердің ПӘК-і.
  - 4.5 Бұрамдықты жұптың кинематикасы мен геометриясы
  - 4.6 Бәсеңдеткіш тұрқысының құрылымдық өлшемдері
    - 4.6.1 Кілтектерді есептеу
    - 4.6.2 Бәсеңдеткіштің жылулық есебі
- 5 Бағыттаушы біліктің динамикасын зерттеу
  - 5.1** Еркіндік дәреже саны шектелген механикалық модельдерді құру тәсілдері
  - 5.2** Мәжбүрлі тербелістер
  - 5.3** Резонанс
  - 5.4** Массасы үздіксіз таралған біліктердің бұралу тербелістері



- 5.5** Бағыттаушы біліктің аумалы айналу жиілігін анықтау
- 5.6** Бағыттаушы білігін *APM FEM* бағдаламасында есептеу
- 6** Эксперименттік нәтижелер
- 6.1** 3D-FDM принтерінде бағыттаушы білікті басып шығару моделі

Қорытынды

Пайдаланылған әдебиеттер

## **КІРІСПЕ**

Қазіргі таңда машина жасау саласында жылдам прототиптеу әдісі маңызды рөл атқарады. Прототиптер конструкцияның функцияларын қарапайым экрандық пішіндер жасай алмайтын етіп қалыптастыруға мүмкіндік береді. Прототиптердің құралдарын немесе әдістерін бағалау үшін алдымен тиімді прототиптің өлшемдерін анықтауға болады.

Машинадағы білік, айналмалы (әдетте мойынтіректерде) машинаның бір бөлігі – айналу моменті. Барлық дерлік машиналар мен механизмдердің негізгі бөліктерінің бірі. Дизайн арқылы түзу (тегіс, баспалдақпен, қиғаш шыбықтарды), білікшелер, икемді біліктер және т.б. ерекшеленеді.

Тігінен біліктерге арналған бағыттағышты мойынтіректерді пайдалану тозу резеңке мен қаптаманың рұқсат етілген мөлшерін арттырады. Құрылғыны күрделі жөндеу мерзімін ұлғайтады, резеңке және серіппелер саңылаусыз байланысқа тік білікті бүйіріндегі тербелістерін сіңіретін амортизаторлар болып табылады. Оның байланысы арасындағы аймақтың ішкі бетін төмендетіп, металды тұтынуды азайтады .

# **1 Аддитивті технологиялардың CAD \ CAM \ CAE жүйесінде орындалуы**

## **1.1 Стереолитография (SLA) және балқыту арқылы модельдеу FDM технологиялары**

Аддитивтік технология революциялық технология деп бекер аталмайды. Бұл технология өндірістегі өнімдерді дайындау уақытын бірден он есеге қысқартты деп айтуға болады. Мысалы, автомобиль қозғалтқышының цилиндрлік прототипін жасауға жарты жыл уақыт керек болса, бұл технологияның көмегімен оны 3D принтерде екі апта ішінде басып шығаруға мүмкін болып отыр. 3D принтерде басып шығару тек уақытты үнемдеп қана қоймай, кез келген күрделі пішіндегі құймаларды алуға мүмкіндік береді. 3D технологияны пайдаланып құм қалыпта құйма жасау. Құм қалыпта құйма жасау ең бірінші математикалық үлгіні (көлбеу, шөгу т.б. параметрлерін анықтау) жасаудан басталады.

Сонымен 3D технологияны пайдаланып құм қалыпта құйма жасаудың басқа әдістерге қарағанда артықшылықтары: өндірістік циклдің айтарлықтай төмендеуі; өндіріс процесіне бірнеше инженерлерді немесе басқа технологтарды тарту қажет болмайды. 3D принтерінде бір мезгілде бірнеше өнімдерді басып шығаруға мүмкіндік береді. Технологиялық процестің рет-ретімен орындалуы:

- 1) Пластикалық үлгілер;
- 2) Опокалар
- 3) Принтерде басып шығарылғаннан орнатылады.
- 4) Силикондық массадан ауа;
- 5) Формалар силиконмен көпіршіктерін алып тастау үшін

толтырылады және газсыздандыру камерасына орналастырылады.

Аддитивті технологияларды қолданған кезде жобаны іске асырудың барлық кезеңдері идеядан материалдандыруға дейін (кезкелген түрде - аралық немесе дайын бұйым түрінде) бір технологиялық тізбекте орналасқан, мұнда әр технологиялық операциялар сандық CAD \ CAM \ CAE жүйесінде орындалады.

Аддитивті технологияларды пайдаланған кезде материал өндіріс үшін қажетті мөлшерде пайдаланылады, оның экономикалық тиімділігі 85% дейін болуы мүмкін. Аддитивті технологияның айрықша ерекшелігі дәстүрлі жолмен алынбайтын, атап айтқанда дәнекерлеу, құю, деформациялау, қысымдау және т.б. сияқты бұйымдарды ең аз өндірістік шығындармен және қоршаған ортаға теріс әсерін тигізбей шығаруға мүмкіндік береді. 1.1-кестеде қолданыстағы өндірістердің артықшылықтары мен кемшіліктері көрсетілген.

Селективті (іріктеп) лазерлік біріктіру (SLS) – аддитивті технологиялардың маңызды бағыты болып табылады, себебі сандық деректер негізінде күрделі формадағы бұйымдарды жылдам алуға мүмкіндік береді.

1.1 – кесте. қолданыстағы өндірістердің артықшылықтары мен кемшіліктері көрсетілген.

Өндіріс түрі	Бұйымдарды әзірлеу әдістері	Технология түрлері	Артықшылықтары/ кемшіліктері
Дәстүрлі өндіріс	Дәстүрлі бұйымды әзірлеу	Дәстүрлі технологиялар	– өндіріс циклінің жоғарылануы; – өндірістік шығындардың артуы; – адам факторының болуы; – ақаудың айтарлықтай үлесі; – қауіп-қатердің артуы;
Жылдам прототиптер	Сандық жобалау	Дәстүрлі технологиялар	– өндіріс циклінің төмендеуі; – өндіріс шығындарының азайуы; – қатердің айтарлықтай бөлігі; – адам факторының болуы;
Аддитивті өндіріс	Сандық жобалау	Аддитивті технологиялар	–қателіктердің болмауы; – нарықты жылдам игеру; –бұйым жасаудың жоғарғы дәлдігі; –транзакциялық шығындардың азайуы.

Selective Laser Sintering технологиясы бойынша басып шығару үрдісі берілген CAD-модель бойынша физикалық объект пайда болғанға дейін ұнтақ тәрізді материал бөлшектерінің қабаттап біріктіру процесі болып табылады. Материалды біріктіру бір немесе бірнеше лазер сәулесінің әсерінен болады. Құру процесі басталмас бұрын, тұтынылатын материалды балқу температурасына дейін қыздырады, бұл SLS қондырғысының жұмысын жеңілдетеді және жылдамдатады. SLS технологиясының құрылысы аддитивті болып табылады. Яғни, бұйымның «өсіруі» қабат қабатпен төменнен жоғары болады. Арнайы тегістеу механизмі камерадан ұнтақты құрылым камераға шығыспен жеткізеді. Содан кейін лазер компьютерлік модельдің негізінде бұйымның қабатын "күйдіреді". Осыдан кейін құрылым камерасына материалдың келесі қабаты беріледі. Процесс объект толық салынғанға дейін қайталанады. Басып шығару барысында құрылым платформасы үнемі төмен түсіріледі (қадам баспа қабатының қалыңдығына тең). Осылайша, материал мен лазер сәулесінің өзара әрекеттесу аймағы әрқашан бір деңгейде болады.

Стереолитография (SLA) және балқыту арқылы модельдеу (FDM – Fused Deposition Modeling) сияқты кейбір басқа технологиялардан айырмашылығы SLS қолдаушы құрылымдарды талап етпейді. Бұл, ең

алдымен, басып шығару ұнтақ айналасында жүргізіледі, деген дерекке байланысты. Кейбір SLS машиналары бір компонентті ұнтақты пайдаланады, мысалы, металды тікелей лазерлік біріктіру технологиясында пайдаланатын машиналар. Дегенмен, SLS машиналарының көпшілігі екі компонентті ұнтақты пайдаланады, әдетте, жабыны бар ұнтақ немесе ұнтақ қоспасы. Бір компонентті ұнтақтарда лазерлер бөлшектердің сыртқы бетін ғана балқытады (беттік балқыту), негізінде, бөлшектер бір-бірімен балқытылады.

## **1.2 FDM технологиясының құрылымдық жүйесі**

Қоспа өндірісі – деп аталатын 3D басып шығару аэроғарыштық, автомобильдік, биомедицина және энергетикалық салалар сияқты түрлі салаларда қолданылған. Соңғы он жылда 3D басып шығару өте кең қабылданды. Дегенмен, бірнеше маңызды кедергілер оның кеңінен қолданылуын болдырмайды. Ең маңызды тосқауылдардың бірі – басып шығарылған бөлшектердің сапасы болып табылады. Қазіргі уақытта көптеген өндірушілер мен түпкілікті тұтынушылар 3D басып шығаруды пайдаланады. Бөліктер немесе бұйымдар сапаның, беріктік пен сенімділіктің дәйектілікке ие екендігіне сенімділікпен қиындық көреді. Бұл кепілдіксіз көптеген өндірушілер AM технологиясынан абай болады. Сапалы материалды басып шығарған кезінде материалдық қасиеттер, машинаның сипаттамалары, басып шығару шарттары және технологиялық параметрлер сияқты факторларды ескеру қажет.

Көптеген 3D басу әдістерінің арасында, пластмасса бұйымдарын басып шығару үшін, тұндырудың тұндыру модельдеуі ( FDM – Fused Deposition Modeling) кеңінен қолданылады. Құжатта FDM үдерісінде әсер ететін факторларды талдауға болады. Олар технологиялық анықтамалық материалдарда, басып шығару процесінің параметрлерінің тиісті мәндерін күшейтуге арналған. Эксперименттік нәтижелер 3D FDM принтерінде басып шығару процесінің оңтайлы мәндерімен жүзеге асырылды.

3D басып шығару – кеңейтілген прототипті технология. Қазіргі уақытта AM технологиясының қарқынды өсуі арқасында, нарықта 3D басып шығару әдістері көп. Басып шығару үшін пайдаланылатын материалдар: полимерлер, металдар, керамика және металл керамика сияқты топтарға бөлінеді. Әр топта материалдар ұнтақ, қатты және сұйық сияқты түрлер бойынша жіктеледі. Соңғы зерттеулер FDM сапасын бағалауға және FDM-ды медицина саласында қолдануға бағытталған. FDM әдіснамасын жетілдіру және жетілдіру арқылы көптеген жеткізушілер нарыққа арналған. AM жүйелерін жеткізіп қана қоймайды, сондай-ақ пайдаланушыларға арнайы бағдарламалар үшін басқару жүйесін әзірлеуге ашық бастапқы кодты қолдайды. FDM техникасымен басылған бөліктің сапасын ескере отырып, ашық бастапқы кодты, сондай-ақ материалдық қасиеттерді бағалау жүргізілді. FDM-ның маңызды қосымшаларының бірі – графикалық дизайн және тез прототиптік курстар.

FDM( Fused Deposition Modeling) әдісімен 3D басып шығару

пластикалық бөлшектерді басып шығаруға кеңінен қолданылады. Жылдам прототиптер графикалық дизайн курстары мен 3D үлгілерді жасауға мүмкіндік береді. ABS және PLA материалдарымен басып шығару процесінің оңтайлы нәтижесі тісті беріліс қорабы мен беріліс қорабын басып шығару үшін қолданылады.

Тұндыру шоғырлануы (FDM) арқылы үлгілеу немесе балқытылған талшықтан дайындалу (FFF) материалдың экструзия отбасына жататын қоспаларды өндіру процесі болып табылады. FDM-де объекті қабаты бойынша алдын-ала белгіленген жолда балқытылған материалды іріктеп қолдану жолымен құрылады. Қолданылатын материалдар термопластикалық полимерлер болып табылады және жіп түрінде болады.

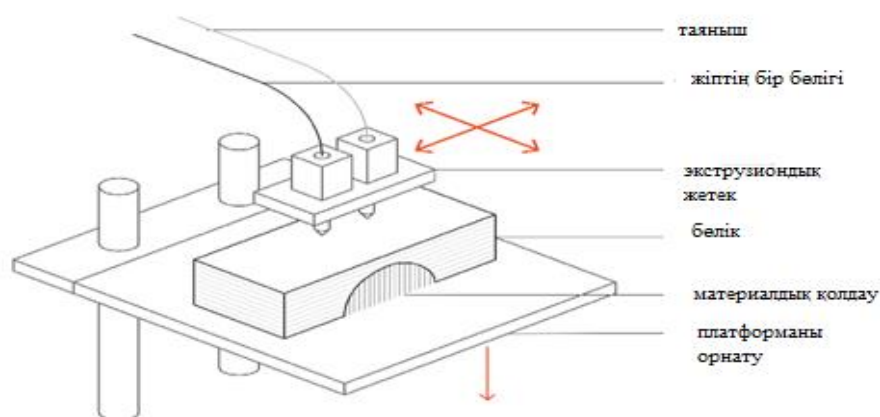
FDM ең кең қолданылатын 3D баспа технологиясы болып табылады: бұл әлемдегі 3D принтерлердің ең үлкен орнатылған базасы және жиі кездесетін адамдарға арналған алғашқы технологиялар.

FDM технологиясы қалай жұмыс істейді:

1) Термопластический спул бірінші рет принтерге жүктеледі. Шүмек қажетті температураға жеткенде, жіп электрмонстық басы мен шашатын жерге түседі, онда ол еріп кетеді.

2) Экструзионды басы X, Y және Z бағыттарында жылжуға мүмкіндік беретін үш осьтік жүйеге бекітілген, балқытылған материал қабаты бойынша салқындатылған және қатайтылған жерлерде қабат арқылы жұқа қабаттарға және тұндыру қабатына экструдталған. Кейде материалдың салқындатуы экструзия басына бекітілген салқындатқыш желдеткіштерді пайдалану арқылы жеделдетіледі.

3) Аумақты толтыру үшін бірнеше жолды (маркермен тіктөртбұрышты бояу сияқты) талап етеді. Қабат аяқталғаннан кейін, құрылыс платформасы төмендейді (немесе басқа машина қондырғыларында экструзия басы жылжытылады) және жаңа қабат сақталады. Бұл процесс бөлік аяқталғанша қайталанады.



1.1-сурет – FDM принтерінің диаграммасы

Принтер опциялары:

Көптеген FDM жүйелері саптаманың және құрылыс платформасының

температурасын, жинау жылдамдығын, төсек биіктігі мен салқындату желдеткішінің жылдамдығын қоса бірнеше процестің параметрлерін реттеуге мүмкіндік береді. Оларды әдетте оператор орнатады, сондықтан олар дизайнерге кедергі жасамауы керек.

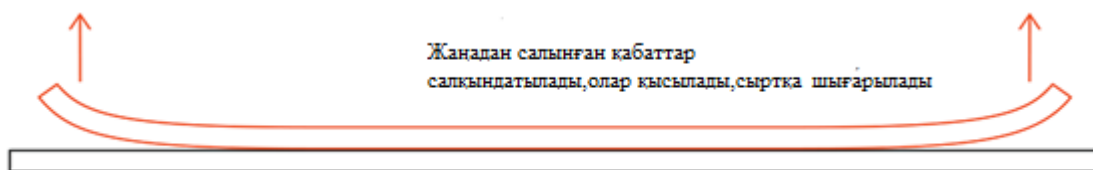
Дизайнер тұрғысынан маңызды нәрсе – құрастыру мөлшері мен қабаттың биіктігі:

Жұмыс үстелінің 3D принтерінің қол жетімді жинағы әдетте 200 x 200 x 200 мм, ал өнеркәсіптік машиналар үшін ол 1000 x 1000 x 1000 мм жетуі мүмкін. Егер үстел үсті компьютері жақсы болса (мысалы, өзіндік құнын төмендету үшін), үлкенірек үлгіні кішірек бөліктерге бөліп, содан кейін құрастыруға болады.

FDM-де қолданылатын типтік қабат биіктігі 50-ден 400-ге дейін өзгереді және тапсырыс беру кезінде анықталуы мүмкін. Кішірек қабат биіктігі егжей-тегжейлі мәліметтерді береді және қисықтың геометриясын дәл көрсетеді, ал биіктік биіктігі жылдамырақ және аз шығындармен береді. 200 мкм қабаттың биіктігі жиі пайдаланылады.

Қисық сызық.

Деформация – FDM-ның ең көп тараған ақауларының бірі. Экструдацияланған материал қатты зат кезінде салқындаған кезде оның өлшемдері азаяды. Басып шығарудың түрлі бөліктері түрлі жылдамдықта салқындатылғандықтан, олардың өлшемдері әртүрлі жылдамдықта өзгереді. Дифференциалдық салқындату 2-суретте көрсетілгендей, негізгі қабатты жоғары қарай тартатын ішкі кернеулердің жиналуын тудырады. Технологиялық тұрғыдан, деформация FDM жүйесінің температурасын (мысалы, жинау) неғұрлым мұқият бақылау арқылы болдырмауға болады. платформалар мен камералар) және құрастыру платформасы мен қосалқы бөлшектер арасындағы адгезияны ұлғайту.



1.2-сурет – FDM бөлігінің шетіндегі деформацияның схемалық көрінісі

Адгезия қабаты.

Қолданылған қабаттар арасындағы жақсы адгезия FDM бөлігі үшін өте маңызды. Балқытылған термопластиктің саңылаулар арқылы экструдталған кезде, ол алдыңғы қабатқа қарсы басылады. Жоғары температура мен қысым бұрынғы қабаттың бетіне ериді және жаңа қабатты бұрын басылған бөлікпен байланыстыруға мүмкіндік береді.

Әр түрлі қабаттар арасындағы байланыс күші материалдың негізгі беріктігінен әрқашан төмен.

Бұл FDM бөліктері анизотропты болып табылады: Z осі бойынша

олардың күші XY жазықтықта олардың күшінен әрқашан аз. Осы себепті FDM үшін бөлшектерді жобалау кезінде бөлшектердің бағытын есте сақтау маңызды.

Мысалы, 50% толтырумен ABS-да көлденеңінен басып шығарылған созылу сынағының үлгілері тігінен басып шығарылған сынақ үлгілерімен салыстырылды және олардың созылу қарқыны Z бағытымен салыстырғанда X, Y баспа бағытында шамамен 4 есе жоғары екенін көрсетті. (17,0 МПа салыстырғанда 4,4 МПа) және 10 есе дерлік созылып, сәтсіздікке (4,8% салыстырғанда 0,5%).

Бұдан басқа, балқытылған материал алдыңғы қабатқа қарсы басылғандықтан, оның пішіні сопақ тәріздес болады. Бұл FDM бөліктері әрқашан шағын қабат биіктігімен толқынды бетке ие болады. Сондай-ақ, шағын ұсақ тесіктер немесе жіптер сияқты элементтерді басып шығарудан кейін өңдеу қажет екенін білдіреді.

Дизайнер FDM-мен бөлшектерді өндіруде техниканың мүмкіндіктері мен шектеулерін ескеруі керек, себебі бұл ең жақсы нәтижеге жетуге көмектеседі.



1.3-сурет – FDM қабатты дизайн

#### *Қолдау құрылымы.*

Қолдау құрылымы FDM-дағы шығыңқы геометрияны құру үшін маңызды. Балқытылған термопластик жұқа ауаға қолданылмайды. Осы себепті кейбір геометриялар қолдау құрылымын қажет етеді. Қолдау құрылымын пайдалануды түсіндіретін мақаланы мына жерден табуға болады.

Субстратта басып шығарылған беттер, әдетте, қалғандарына қарағанда беткі сапаның төмендігіне ие. Осы себепті, бөлікті қолдаудың қажеттілігін барынша азайтатын етіп жасау ұсынылады.

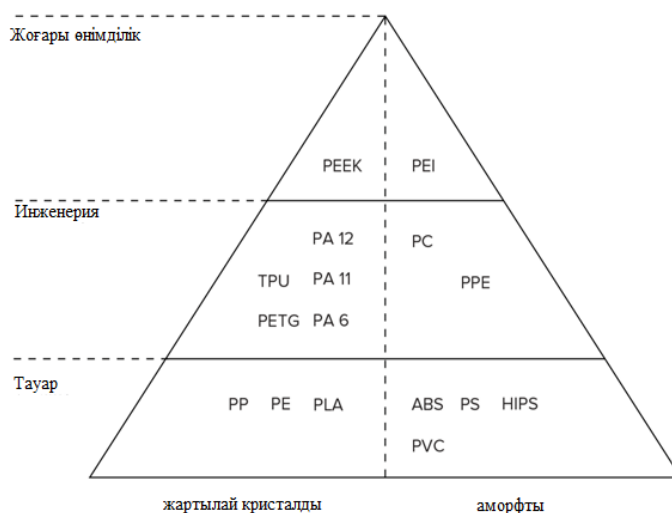
Қолдау, әдетте, сол материалдан басылады. Сұйықтықта еритін қосалқы материалдар да бар, бірақ көбінесе жоғары сапалы жұмыс үстелі немесе өнеркәсіптік 3D принтерлерде қолданылады. Ерітілген субстраттарда басып шығару бөліктің беткі сапасын едәуір жақсартады. Бірақ арнайы машиналар қажет болғандықтан, (қос экструзиямен) басып шығарудың жалпы құнын арттырады және еритін материалдың құны салыстырмалы түрде жоғары болады.

Жалпы FDM ( Fused Deposition Modeling) материалдары.

FDM-ның күшті бөліктерінің бірі – материалдардың кең ауқымы. Олар әдеттегі термопластикалардан (PLA және ABS сияқты) құрылымдық материалдарға (мысалы, PA, TPU және PETG) және жоғары күшті



термопластикалардан (PEEK және PEI сияқты) дейін ауытқуы мүмкін.



1.4-сурет – Термопластикадан құрылымдық материалдарға ауытқуы

Толтыру және қабықтың қалыңдығы.

FDM бөліктері басып шығару уақытын қысқартып, материалды үнемдеу үшін әдетте басып шығарылмайды. Оның орнына, сыртқы периметрі қабығы деп аталатын бірнеше өтулер арқылы бақыланады. Ішкі толтырғыш деп аталатын ішкі тығыздықтың ішкі құрылымымен толтырылады.

Толтырғыш және дененің қалыңдығы бөліктің беріктігін күшейтеді. 3D FDM басып шығару үшін ең жақсы қабықша мен толтыру параметрлерін таңдауға арналған нұсқаулықты мына жерден табуға болады. Жұмыс үстеліндегі FDM принтерлер үшін әдепкі параметр 25% толтыру тығыздығы 1 мм қалыңдықта болуы керек.

## 2 Бағыттаушы біліктердің қозғалыс жүйесіндегі құрылымдық өзгерістері

### 2.1 Бағыттаушы және айналмалы біліктер

Желілік қозғалыс жүйесін жобалау кезінде инженерлердің екі басты нұсқасы бар: сызықты біліктер немесе теміржол бағыттаушылары. Қате сызықты қозғалыс жүйесін таңдау қымбат қате болуы мүмкін. Себебі, конструкциялық немесе құрылымдық өзгерістерге, машиналардың жұмысының нашарлығына немесе жоғары шығындарға ие үлкен бөлшектерге әкелуі мүмкін.

Көптеген жағдайларда дөңгелек сызықты шахталар мен теміржол бағыттаушыларының қолайлы нұсқалары болуы мүмкін. Сызықты бағыттаудың қай түрі дұрыс екенін анықтайтын бірнеше критерий бар.

Цилиндрлік біліктерді пайдаланатын сызықты бағыттаушылар жүйесі 1940 жылдары ойлап шығарылған.



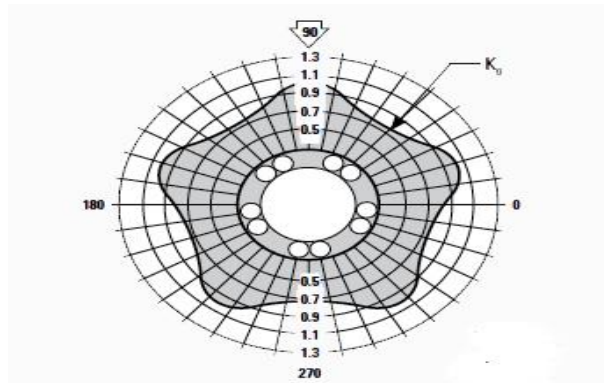
2.1-сурет – Сызықты және теміржол бағыттаушы білік

1970-жылдары теміржол профильдерін енгізу аса қымбат емес және аз еңбекқорлықты балама ұсынды, бұл өте пайдалы жүктемелер мен өте тығыз нысанда жоғары қаттылықты қамтамасыз етеді. Бірақ конструкцияларда дәлме-дәл біліктерді пайдалану кезінде дизайнерлер түсініксіз болды. Себебі теміржол бағыттаушылары бұрыннан тек дөңгелек біліктер қолданылған көптеген шешімдерде қолданыла алады. Нәтижесінде, нұсқаулықтың түрін таңдау өткен уақыттағы табысты шешімдерге негізделген (кейде осы күнге дейін). Бақытымызға орай, бастапқы іріктеу кезінде айналмалы біліктер мен профильді рельстерді анықтауға көмектесетін негізгі критерийлер бар.



2.2-сурет – Бағыттаушы және айналмалы біліктер

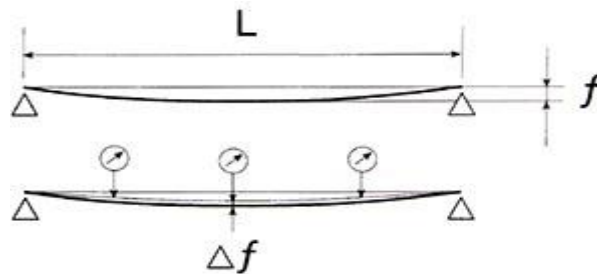
Жүк сыйымдылығы.



2.3-сурет – Жүктеме бағдарларына байланысты түзету коэффициенті

Артықшылығы: теміржол бағыттағышы.

Егер біз шарлар мен жолдар арасында хат алмасатын болсақ, онда профильді теміржол жүйелерінде үлкен контакт аймағы бар. Дөңгелек білікке қарағанда, стандартты өлшеммен жоғары жүктеме сыйымдылығы болып табылады. Профильді рельстер дөңгелек біліктерге қарағанда өткір шыңдар жүктемелеріне жақсы сай келеді. Әдетте, барлық төрт бағыт бойынша бірдей жүктеме сыйымдылығына ие. Керісінше, айналмалы біліктердің көтеру қабілеті жүктеу бағытымен байланысты, яғни шарикті мойынтіректегі жүктеме бағыты.



2.4 –сурет – Теміржол бағыттағышы

Дәлдік.

Қатты тегіс жүретін жолдарға байланысты профильді рельстер дөңгелек бағыттағыш біліктерге қарағанда әлдеқайда жоғары ығысу дәлдігін қамтамасыз етеді. Соңғылары өздерінің деңгейін жоғарылату үшін

бағаланады, бірақ олар қозғалыс дәлдігін жоғалтады.



2.5-сурет – Рельсті бағыттағыш білік

Жылдамдық.

Басшылық біліктер максималды жылдамдығы 2 м/с жетуі мүмкін. Бұл шарларды жүктеу аймағына кіріп, сыртқа шығып кету мүмкіндігі шектеулі. Күрделі рециркуляция әдісі бар рельстер жылдамдығы 5 м / с жетуі мүмкін.

Прототиптер, дизайнерлік құралдар сияқты ұлғаяды. Жоғары сапалы пайдаланушы интерфейстерін жасау процесінде прототиптеу бізге көмектеседі. Біз бай, динамикалық пайдаланушы интерфейстер әлемінде, онлайн және біздің құрылғыларда жұмыс істейміз. Жасайтын интерфейстер интерактивті болып табылады. Пайдаланушы кірісіне жауап береді және эмоцияларға ие болады. Прототиптер конструкцияның сезімін және функцияларын қарапайым экрандық пішіндер жасай алмайтын етіп қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Прототиптердің құралдарын немесе әдістерін бағалау үшін алдымен тиімді прототиптің өлшемдерін анықтау қажет. Ең жақсы жобалау процесіне түсетін прототиптер. Біз эскиздерден жылдам интерактивті түрде көшу мүмкіндігіне ие болғымыз келеді.

Тиімді прототиптер тез. Итерацияны қысқартуға көмектесетін әдістерді қолданғымыз келеді. Прототиптің сатысы жобалау процесінің соңында қатаң бекітілмеуі керек. Күнделікті дизайнерлік жұмысыңызға прототипті енгізу идеялардың пайда болуына және тұжырымдамаларды тез тексеруге ықпал етеді.

Тиімді прототиптер бір рет пайдаланылады. Іске асыруға арналған кез-келген басқа дизайнер секілді, идеяны басқа біреуге (мүдделі тұлға, әзірлеуші, пайдаланушы және т.б.) жеткізуге арналған артефакт жасаймыз. Дизайнер идеясы жіберілгеннен кейін, прототипті іске асырудан бас тартылуы мүмкін. Біз міндетті түрде жүзеге асырылатын шедевр жасайтын ауыр сезімге төзбеуіміз керек, және біз, әрине, код деңгейінде жұмыс істейтін прототипті жасамауымыз керек.

### **3 Бағыттаушы білікті басып шығаруға қатысты дағдарыстық факторлар**

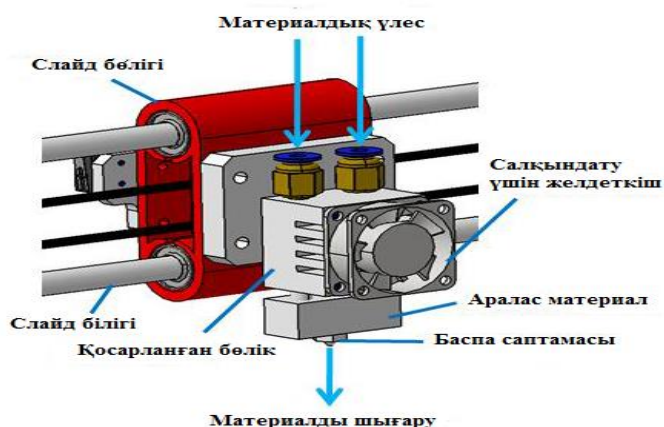
#### **3.1 3D FDM баспа жүйесі**

Қазіргі уақытта FDM үдерісін қоса алғанда, қосалқы өндіріс процестері дәйекті сапаны, жоғары өнімділікті, қауіпсіздікті, өндіріс шығындарын азайтуды және қысқа уақытты жеткізуді талап етеді. Осы талаптарды қанағаттандыру үшін FDM процесінің параметрлері әр қолдануға арналған болуы керек. Қорытынды бөліктің сапасы ұнтақ қасиеттері, процестің параметрлері және FDM машинасының сипаттамалары бойынша анықталады.

Басып шығарылған бөліктің ең жақсы сапасын алу үшін материалдық қасиеттер, машина сипаттамалары, басып шығару шарттары және технологиялық параметрлер сияқты әсер ету факторларын ескеру қажет.

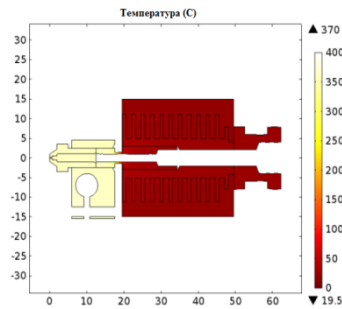
Қазіргі уақытта өндіруші ұсынатын басып шығару процесінің параметрлерін әдепкі параметр пайдаланушы пайдаланатын болады. Алайда, кейбір жағдайларда бұл әдепкі мәндер басып шығарылған бөліктің сапасына (өлшем қателігі мен күшіне) кепілдік бермейді, себебі ескеру қажет бірнеше процесс параметрлері бар. FDM үдерісінің басты жетістігі процестің оңтайлы параметрлерін таңдауға байланысты. Баспа процесінің оңтайлы параметрлерін анықтау өнімдердің сапасын қамтамасыз ету, өлшемді дәлдікпен қамтамасыз ету, қолайсыз қалдықтарды және қалдықтардың көп мөлшерін болдырмау, өнімділікті жоғарылату және өндірістік уақыт пен шығынды азайту үшін маңызды рөл атқарады.

Жылытылған экструзион басы 3.1-сурет басып шығару механизмінің температурасын қамтамасыз ету үшін, басып шығару механизмін, жылытқыш материалын және салқындату құрылғысын қамтитын баспа компоненттерін көрсетеді. Құрылғы тірекке орнатылып, басып шығару үшін X осіндегі қозғалысты бағыттау білігіне сырғытамыз.



3.1-сурет – Баспа жүйесі

Хофстаетер және басқалар. баспа жүйесіндегі температура таралуын зерттеп, E3D HotEnd экструдерімен, ол шашатын ұшында 200-ден 400 мкм диаметрі бойынша жасалған. Температураны бөлу, ABS материалының қолайлы басып шығару температурасы 3.2-суретте көрсетілгендей, 230°C температурада қамтамасыз етеді.



3.2-сурет – Баспа жүйесіндегі температураны бөлу

Саңылаулар диаметрі Оңтайлы саптаманың диаметрін таңдау тек дәлдікпен ғана емес, экструзия уақытында да маңызды. Саңылаулар диаметрі 0,2 мм-ден 0,4 мм-ге дейінгі диапазонда орналасқан. Диаметрі 0,3 мм диаметрлі саңылау экструзия уақытын ескере отырып, эктрудата PLA материалының оңтайлы мәні ретінде ұсынылған. Бұл нәтиже экструзия уақытын мынадай түрде есептеу үшін формулада көрсетілген:

$$\text{Экструзия уақыты} = \frac{V}{d * f * l}$$

Онда, V - басылған бөліктің көлемі (мм<sup>3</sup>),  
d -форсунка диаметрі (мм),  
f - жіптің берілу жылдамдығы (мм / с),  
l - жалпы қабаттың қалыңдығы (мм).

### 3.2 Сызықты және машина жолдарын жасау

Жылдам прототипті процестердің сипатына байланысты жылдам прототипті (RP) жасау үшін стандартты машина жолы коды жоқ. Әрбір RP процесі, сипаттамалары мен талаптары негізінде, процестің қажетті деректерін алу үшін стандартты CAD файл пішімін пайдаланады. CAPR жүйесі тиісті машина жолы файлы жасау үшін мамандандырылған машина генераторына қажет. Шеткі жол және люктік жол сияқты машина жолы басып шығару үлгісін жасауы керек, ол машинаның пайдаланушыға қоршаған материалдан дайындалған бөлікті оңай алып тастауға мүмкіндік береді.

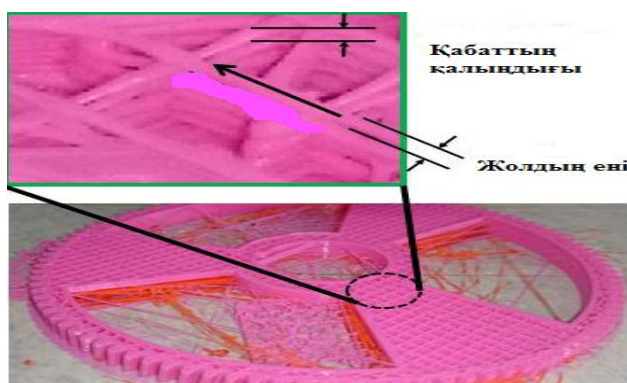
Құрылғы генераторының векторы. Содан кейін ол бірінші вектордың бастапқы нүктесіне (жабық цикл жағдайында) жететінге дейін немесе жаңа жетекші қосымшасы жоқ векторды табады (ақаулы STL файлы бар). Векторларды сұрыптау үшін алгоритм бір уақытта бір файлды бір векторды оқиды және оны басқа файлға жазады. Бұл файл вектор алдыңғы векторға қосылмаған кезде, алдыңғы векторға немесе уақытша файлға қосылған кездегі жол файлы болып табылады. Сондықтан, сұрыптау процесі

деректерді сұрыптау үшін үлкен көлемді жадты қажет етпейді және тілдегі және кіріс файл өлшеміндегі векторлардың санын шектеу жоқ. Бұл алгоритм STL файлындағы өшіру қателіктерімен бірге машина жолын жасай алады.

Кез келген салада жұмыс істейтін машиналардың механизмдерінің бөлшектерінде нақты пайда болатын жүктемелердің пайда болатын тербеліс режимдерін анықтау үшін осы механизмдердің динамикалық моделдерін құру керек және олардың қозғалыстарының математикалық өрнектермен сипаттау (математикалық модель).

Динамикалық модель – теориялық зерттеулерде және инженерлік есептеулерде қолданылатын, қарастырылатын механикалық жүйенің дәріптелген кескіні (есептеу сұлбасы).

Былайша айтқанда динамикалық модель өз тұрғысынан қарастырылып отырған механикалық жүйенің көздеген параметрлері және белгіленген өлшемдерімен осы механизмнің қарапайым есептік нұсқасын жазуға мүмкіндік береді. Параметрлерді басқаша теңдеудегі өлшемдер және динамикалық моделдің келтірушісі ретінде өрнектеуге болады. Математикалық модель дәстүрлі өз тұрғысынан келтірілген динамикалық моделге қатысты қарастырылынған механикалық жүйесінің қозғалысының дифференциалды теңдеулерінің жүйесі деп көрсетіледі.



3.3-сурет – Басып шығару процесінің параметрлері

Ажырату жағдайында жүйе журнал файлына хабар жібереді және принтерді өшіреді және жаңа вектордан басталады. Кез келген жағдайда принтер өшіріліп, жүйе басқа басталу нүктесінен басып шығара бастайды.

CAPP жүйесі ASCII форматымен STL файлдарын кіріс ретінде пайдаланады және екі кезеңде жұмыс істейді. Алғашқы қадам Z бөлігінің әрбір бөлігіндегі XY жазықтықты бөлік ішіндегі қырлармен қию арқылы кесектерді жасайды. Екінші қадамда контурды қалыптастыру үшін әрбір Z инкрементінде әрбір жеке қиылыспалы қиылысу сызығы қолданылады. Бұл қадам қиылысатын сызықтарды сұрыптау, жабық ілмектерді және ажыратуды (STL файл қателігін) тануды және шекара жолы мен люктік жолын және модельдеу файлдарын жасау сияқты машина жолын жасауды қамтиды.

Бірінші қадамда STL файлы кіріс ретінде оқылады. Содан кейін тілім

файлдары кесу алгоритмін орындау арқылы жасалады. Тек ағымдағы  $Z = z$  қиылысатын бұл қырлар қиылысы есептеліп, сақталады. Бұл кадамда STL файлынан бір уақытта оқылады.

Содан кейін барлық қырлары ХҮ жазықтықта осы қырлы қиылысу сызықтары есептеледі. Қиылысу сызығы көрсетілген файлда тиісті  $z$  increment үшін сақталады. Бұл әрбір ХҮ жазықтықта бір қиылысу сызығына әкеледі. Осы процесті барлық қырлар үшін қайталап, тіліктер жиынтығы жасалады.

Кесу процесін аяқтағаннан кейін, әрбір  $z$  ұлғайту векторлардың жиынтығы қол жетімді болады. Бұл векторлар қосылмаған және бірізді емес.

Жұмыс істеп тұрған мехнизмде айнымалы күштер мен моменттер пайда болады, олар жеке бөлшектерге де, бірімен бірі байланысып жүйе деп аталатын бөлшектер жиынтығына да әсер етеді. Айнымалы күштер мен моменттер бөлшектердің, тораптардың және бәсеңдеткіштің тұтастай еріксіз тербелістерін тудырады. Сыртқы күштер әсер етпеседе жүй тербеліске ұшырауы мүмкін. мұндай ербелістер ерікті тербеліс немесе автотербеліс деп аталады.

Бәсеңдеткіштегі тербелістер кесірінен қосымша динамикалық жүк және кернеулер пайда болады, бұлар жүйенің жұмысына әсер етеді, сенімділігі мен мерзіділігін төмендетеді.

Статистика бойынша тербеліспен байланысты тоқтап қалу саны машинажасау саласында сексен пайызға дейін жетеді. Сондықтан тербелістермен күресудің өзектілігі өте зор.

Тербелісті азайту немесе жою шараларына бәсеңдеткіштерді жобалау, дайындау, қалыптастыру және пайдалану кезеңдерінде, үлкен көңіл аудару керек.

Дифференциалдық теңдеулер саны, өз тұрғысынан жалпылама координаттар жүйесіне тең, және келтірілген динамикалық моделмен анықталады. Зерттеліп жатқан жүйенің параметрлерін геометриялық және физикалық деп бөлуге болады. Геометриялық параметрлерге мына шамаларды жатқызуға болады. Олар: ұзындық және біліктің диаметрі, машинаның доңғалағының диаметрі, инерция моментінің қимасы, бұралуға (полярлық) және иілуге(өстік) қарсы моменттер және басқада шамалар. Негізінде тұрақты шамалар беріледі, немесе оңай анықталады.

## 4 Бұрамдықты бәсеңдеткіштер

### 4.1 Бәсеңдеткіштің құрылымы мен сипаттамасы

Бұрамдықты бәсеңдеткіштер деп, жеке агрегаттар түрінде құрылған, бұрыштық жылдамдықты кеміте, ал айналдыру моментін арттыра қозғалтқыш қуатын жұмыс машинасына беруге арналған, бұрамдықты берілістері бар механизмдерді айтамыз.



Өзара айқасатын біліктер арасында (әсіресе перпендикулярмен айқасатын біліктер) қозғалысты беруге бұрамдықты берілістер қолданылады. Бұрамдықты беріліс, цилиндрлі бұрамдық (трапециялы немесе оған жақын бұрандалы бұрама) пен доға пішінді тістері бұрамдықтың бір жақ бөлігін қапсырып тұрған бұрамдық дөңгелегінен тұрады.

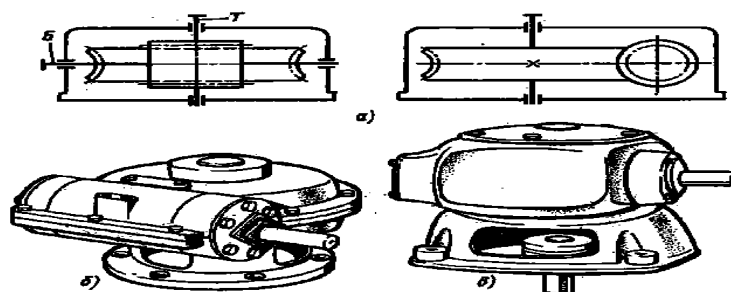
Бұрамдықты берілісінің қозғалысы бұрама жұптарының қозғалысына ұқсас кледі. Бұрама қызметін бұрамдық атқарады, ал бұрамдық дөңгелегін ұзын сомынды шеңбер бойымен игенде шыққан сектор ретінде қарастыруға болады. Сол себепті, бұрамдықты берілісте тісті берілістің, сондай-ақ бұрама берілісінің қасиеттері бар. Доға формалы етіп жасалған бұрамдық дөңгелегінің тісі жанасу кернеуін азайтуға мүмкіндік береді.

Берілісте бұрамдықтың дөңгелекке қатысты орналасуы әр түрлі болуы мүмкін: төмен (4.1а-сурет), жоғары (4.1б-сурет) және бір бүйірінде (4.2-сурет). Бұрыштық жылдамдық 4...5 м/с-таназ болған жағдайда бұрамдық (1) дөңгелектің төменгі жағында, 4...5 м/с-тан артық болғанда – жоғарғы жағында орналастырылады. Бұл жағдайда ілінісу аймағының майлануы, дөңгелектің майға малынуы арқылы жүзеге асады.



4.1-сурет – Бұрамдықты беріліс

Бұрамдық дөңгелектің астына орналасқан болса, онда май деңгейінің рұқсат етілетін шегі, мойынтіректердің төменгі тербелу денесінің ортасынан аспауы керек. Бұрамдық майға  $2,5 \cdot m$  мөлшерінен кемдеу батырылған жағдайда, майды ілінісу аймағына беру үшін шашыратқыштар қолданылады (мұндағы  $m$  – бұрамдық модулі).



4.2-сурет – Бұрамдығы бүйірінде және дөңгелек білігі тік орналасқан бұрамдықты бәсеңдеткіш

а – кинематикалық сұлбесі; б – тұрқысы ажырамалы бәсеңдеткіштің жалпы көрінісі; в – тұрқысы ажырамайтын бәсеңдеткіштің жалпы көрінісі

Үйкеліс күшін жұмсарту және тістесуге қарсыласуды жоғарылату үшін арнайы тұтқырлығы жоғары май түрі қолданылады. Айналу жылдамдығы төмен болған кезде арнайы май ваннасы көмегімен немесе үйкеліс көп жерлерге майды шашыратушы арнайы құрылғылар пайдалану арқылы майанады. Айналу жылдамдығы жоғары бұрамдықты бәсеңдеткіштер үшін ванналарын қолдану тиімсіз, сондықтан суытылған майлау материалдарымен қыстап майлау қолданылады.

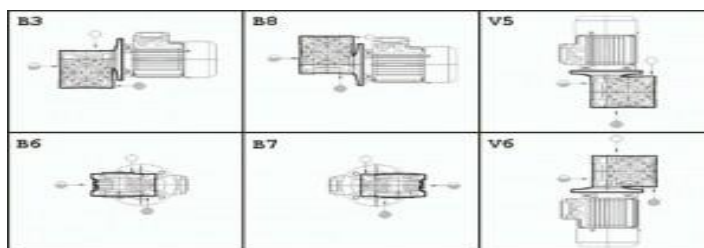
Бұрамдық пен бұмадық дөңгелегінің материалдары.

Әдетте бұрамдықты болаттан дайындайды және білікпен біртұтас етіп жасайды. Бұрамдық орамдарының бүйір беттерін жоғары қатандыққа дейін шынықтырады да, сонан соң орамдарын тегістеп ажарлайды немесе жылтыратады, бұл бұрамдық жұбының жабысып қалудан шыдамдылығын арттыруға мүмкіндік береді.

Бұрамдық дөңгелектерін өлшемдеріне байланысты тұтас немесе түсті металдарды үнемдеу мақсатында, құрамды етіп жасайды. Бұрамдық дөңгелектерінің тәжі қола немесе жез, ал дөңгелектің ортаңғы бөлігі болат немесе сұр шойыннан дайындалады. Кейде бұрыштық жылдамдығы 2 м/с-тан артпайтын баяу қозғалысты берілісте, бұрамдық дөңгелегін тұтасымен сұр шойыннан дайындайды. Бірлі-жарым немесе аз сериялармен шығарғанда тісті тәжді дөңгелектің ортаңғы бөлігіне өзара жылжымау шартын қамтамасыз ету үшін кепілді керілісті қондыру және бұрамалар арқылы қосады. Бұрамалар тәж бен ортаңғы бөліктің беттесетін жігіне бұралады. Бірте-бірте қызудың салдарынан киістірілген денелердің ұстасуы әлсірей бастағанда, бұрандалар кілтек қызметін атқарады. Бұл бұрамаларды тартып болған соң, олардың басын біріктірілген беттермен тегістеп қырқады. Орташа сериялы, ірі сериалы және жаппай өндірісте қола тәжді көбінесе дөңгелектің ортаңғы бөлігіне балқыта біріктіреді.

Бұрамдықты бәсеңдеткіштің құрастырылуы (4.3-сурет) құрылғыларға қойылатын талаптарға байланысты таңдалынады. Қозғалтқышты дөңгелектің үстіңгі, астыңғы және бүйір жағына орналастыруға болады. Бүйір жанына ораналсқанда қозғалтқышты тік қондырады, жетектегі білікте тік тұрады. Бұл жағдайда мойынтіректердің майлануы және сыртқы элементтерді тазарту қиындайды.

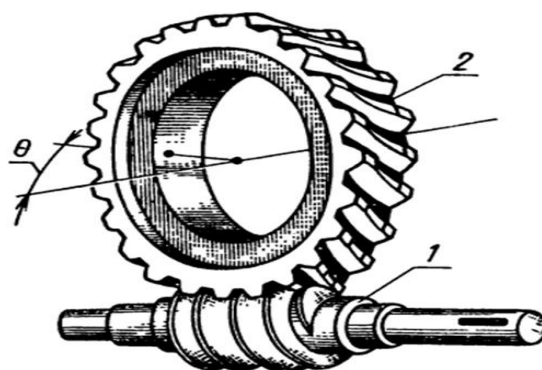
Бүгінгі күні бәсеңдеткіштің құрылымында білікке үрлеп тұру үшін арнаулы желдеткіш орналастырады. Ол ілініс аумағындағы қызуды азайтуға және сонымен қоса қуат қондырғысының жұмыс мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді.



#### 4.3-сурет – Бұрамдықты бәсеңдеткішті құрастыру

Бұрамдықты беріліс өзінің ерекше құрылымына байланысты үлкен бұраушы момент пен төмен бұрыштық жылдамдықты талап ететін құрылғыларда оны пайдалану тиімді. Бұрамдық тетіктің жетекші буыны болып келеді. Қозғалыс қозғалтқыштан бұрамдыққа, сонан соң бұрамдық дөңгелегіне беріледі, ал ол шығаберіс білікті айналдырады. Өздігінен тежеу қабілеттілігіне қарай бұрамдықты берілісте қозғалыс кері қарай берілмейді, яғни бұрамдық дөңгелегіне берілген момент бұрамдықты қозғалысқа келтіре алмайды, май болсада үйкеліс күшінің шамасы түсірілген күштен бірнеше есе артық болады. Бұрамдық айналғанда оның орамдары дөңгелек тістерін итереді, сонымен ол айналады.

Бұрамдық берілістің жұмыс принципі 4.4-суретте көрсетілген.



4.4-сурет – Бұрамдық берілістің жұмыс принципі  
1 – бұрамдық; 2 – бұрамдық дөңгелегі

Бұрамдықты бәсеңдеткіштен басқа бұрамдықты беріліс әртүрлі құрылғыларды реттеу және басқару жүйелерінде қолданылады. Мысалы, реттелетін кілтте бұрамдықты беріліс бар (4.5-сурет). Өздігінен тежеу қасиетіне байланысты орнына дәл бекіту қамтамасыз етіледі, ал беріліс қатынасының үлкен болуы орналасуын өте дәл етіп реттеуге немесе қуаты аз қозғалтқыштар пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бұрамдықты берілістер мен бұрамдықты бәсеңдеткіштер өздерінің құрылымдық ерекшеліктеріне сай көтеру және шығырлы (лебедочный) тетіктерде беріліс механизмдері ретінде пайдалануға өте жақсы келеді.



1.5-сурет – Реттелетін кілт

Бұрамдықты берілістерде тісті берілістерге тән қуат жоғалуынан басқа бұрамалы жұпқа тән қуат жоғалуы да бар, сондықтан бұрамдықты берілістің ПӘК-і әлдеқайда төмен. Осыған және қымбат антифризионды материалдар пайдалануына байланысты олар тісті берілістерге қарағанда аз қолданылады және де төмен және орташа қуат, әдетте 50 кВт-қа дейін (кейде 200 кВт-қа дейін) беру үшін қолданады.

#### **4.2 Бұрамдықты бәсеңдеткіштің топтасуы**

Негізінде бәсеңдеткіштердің топтасуы сол бұрамдықты бәсеңдеткіш құрастырылған бұрамдықтар мен бұрамдық дөңгелкелерінің әр түрлі болуымен байланысты.

**Келесі көрсеткіштер бойынша бұрамдықтарды бірнеше түрге бөледі:**

1. Орамдарының кіріс санына қарай: бір кірісті, екі кірісті, үш кірісті, төрт кірісті
2. Бұранданы кесу бағытына қарай: оңды; солды.
3. Беттік формасы бойынша бұрамдықтар:
  - цилиндрлі;
  - глобоидты.
4. Бұрамдық орамының пішіні бойынша:
  - архимедті;
  - конволютті;
  - эвольвентті;
  - трапециялы.

Бұрамдықты ось арқылы қиғанда (I-I) түзу сызықты пішін пайда болса, онда оны архимедті бұрамдық дейді, олар трапециялы бұрандаға ұқсас келеді, сондықтан оларды жиі кездесетін қарапайым бұранда кескіш станоктарда дайындауға болады. Бірақ оларды ажарлау қиын, себебі өңдеу үшін белгілі пішінді өңдейтін арнаулы қайрақтар керек. Осыған байланысты ажарлауды қажет етпейтін, қыздырумен өнделмеген червяктер көбінесе архимед қисығына ұқсас сол пішіндес етіп жасалады.

Ал егер түзу сызықты пішін бұрамдық бұрандасына түскен перпендикуляр арқылы пайда болса, (III -III), онда бұрамдық конволютті бұрамдық деп аталады. Мұндай бұрамдықтерді бұранда ажарлайтын қарапайым станоктарда ажарлау ды қажет ететін бұрамдықтарда жиі қолданылады.

Эвольвентті червяктер қисық тісті дөңгелекке ұқсас келеді (II -II), бірақ олардың айырмашылығы - тіс саны аз және тісінің көлбеу бұрышы үлкен.

Бұрамдық дөңгелкелерін **келесі көрсеткіштер бойынша ажыратады.**

Тістерінің пішіні бойынша:

- түзу (жанасуы нүкте арылы, шамалы жүктелген берістерде);
- ойыс, бұрамдықты «қамтитын» (жанасуы сызық бойынша);
- аунақшалы – нұқсанды сектордың тістері тарақты аунақшалармен ауыстырылған;

Бұрамдық дөңгелегінің түрі бойынша:

- толық дөңгелек (үздіксіз айналмалы қозғалыс беретін);
- тісті сектор (сектормен шектелген бұрышқа бұралатын);
- аунақшасы бар нұқсанды сектор (глобоидты бұрамдықпен жұптасқан – сектордың жұмысшы ұзындығы бұрамдықтың жұмысшы ұзындығынан кіші, үлкен момент беруге мүмкіндігі бар).

Кең тараған кәсіпорындарда өндірілетін бұрамдықты бәсеңдеткіштердің кейбір техникалық сипаттамалары 4.1-кестеде келтірілген.

Бір сатылы бұрамдықты бәсеңдеткіш ең көп тараған. Бұрамдықты бәсеңдеткішпен біріктіріліп жинастырылан қозғалтқышты бұрамдықты мотор-редуктор деп атайды.

Егер үлкен беріліс саны қажет болса, онда екі сатылы және біріктірілген (цилиндрлі сатысы бар) бәсеңдеткіштер қолданылады. Біріктірілген бәсеңдеткіштер бұрамдықты-тісті немесе тісті-бұрамдықты болуы мүмкін.

4.1-кесте – Бұрамдықты бәсеңдеткіштердің техникалық сипаттамалары

Түрі		Беріліс саны	Шығу біліктің айналу жиілігі, об/мин	Валға кіретін номиналды айналғыш моменті, Н м
Бәсеңдеткіш	моторлы-бәсеңдеткіш			
Ч-20	МЧ-20	5 - 50	28 - 300	4
Ч-25	МЧ-25			6
Ч-31,5	МЧ-31,5			8
2Ч-40	МЧ-40	5 - 80	9,37 - 300	28 - 37
Ч-50	МЧ-50			50 - 70
1Ч-63, 2Ч-63	МЧ-63	5 - 80	7,5 - 300	95 - 135
1Ч-80, 2Ч-80, Ч-80	МЧ-80			150 - 280
Ч-100	МЧ-100			315 - 570
Ч-125	МЧ-125			615 - 1000
Ч-160	МЧ-160			1100 - 1900
Ч-200	МЧ-200			1600 - 3100
Ч-250	МЧ-250			2700 - 5700
Ч-320	МЧ-320			4400 - 10000
Ч-400	МЧ-400			6500 - 19000
Ч-500	МЧ-500			8200 - 33000
РЧН-180	МРЧН-180			12,5 - 50
РЧП-300	МРЧП-300	16, 25, 50	20 - 40	4200

### 4.3 Бұрамдық берілістер мен жетектердің сипаттамалары

Бұрамдық берілістің тісті берілістен артықшылықтары мынадай:

1) беріліс санының көптігі:  $u=8...80$  (кейбір кинематикалық берілістерде  $u=500$  дейін жетеді), сол себепті цилиндрлі тісті беріліске қарағанда арзандау және құрылымы қарапайым келеді;

2) бір қалыпты және дыбыссыз жұмыс істеуі, шуға жоғары талап қойылатын машиналарда пайдалану мүмкіндігі;

3) өздігінен тежеу қабілеттілігі, мысалы көтергіштерде қосымша тежеуіш қоюдың қажеті жоқ;

4) көлемі мен салмағының аздығы, қозғалыс бағытын өзгерту қажет болғанда пайдалану қолайлы;

5) кинематикалық дәлдігінің жоғарылығы;

5) шығаберіс білігін қуыс етіп жасау мүмкіндігі, мұндай жағдайда бәсеңдеткішті орындаушы механизмнің білігіне жалғастырғыштарды қолданбай орналастыруға болады.

Кемшіліктері:

1) сырғанау үйкелісінің шамасы үлкен болғандықтан;

а) пайдалы әсер коэффициенті төмен:  $\eta=0,7 -0,9$ ;

б) тез қызады, ПӘК-ің аздығынан қуаттың біршама бөлігі жылуға айналып кетеді;

в) антифрикционды қымбат материалдар қолдануға мәжбүр етеді, олар да үйкеліс күшін азайту үшін керек;

2) жасау технологиясы күрделі және қымбат, себебі арнаулы станоктар қажет етеді;

3) ПӘК-і өте аз болғандықтан өте көп қуат беруге жарамайды (қуаты не бары 50 кВт-тан аспайды);

4) жинастыру дәлдігіне қойылатын талап жоғары және дәл реттеу қажеттілігі;

5) бұрамдық дөңгелегі білігінің тірегінде пайда болатын өстік күштердің орнын толтыру қажеттілігі.

#### 4.4 Іліністегі сырғанау және бұрамдықты берілістердің ПӘК-і.

Бұрамдық қозғалысқа келгенде оның орамы бұрамдық дөңгелектің тісімен сырғанайды. Бұрамдық және бұрамдық дөңгелегінің өстері бірімен-бірі перпендикуляр екі түрлі жазықтықта айналады, соған байланысты олардың шеңберлік жылдамдықтары тең болмайды, сондықтан олардың арасында қосымша сырғанау барыс орын алады

$$v_c = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \frac{v_1}{\cos \lambda}, \quad (4.1)$$

мұндағы  $v_1$  – бұрамдықтың шеңберлік жылдамдығы;

$v_2$  – бұрамдық дөңгелегінің шеңберлік жылдамдығы.

Бұрамдық пен бұрамдық дөңгелегінің шеңберлік жылдамдығын төмендегіше анықтайды:

$$v_1 = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \cdot 1000}; \quad (4.2)$$

$$v_2 = \frac{\pi d_2 n_2}{60 \cdot 1000}, \quad (4.3)$$

осында  $n_1, n_2$  – бұрамдықтың және дөңгелектің айналу жиіліктері;  
 $d_1, d_2$  - бұрамдық пен дөңгелектің диаметрлері, мм.

Бұрамдықты берілістің пайдалы әсер коэффициенті бұрандалы қосылыстардың П.Ә.К-іне сәйкес анықталады:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \lambda}{\operatorname{tg}(\lambda + \varphi)} \quad (4.4)$$

Көрсетілген (4.1) формулаға қарап келесідей қорытынды жасауға болады. Үйкеліс коэффициентінің шамасы азаятын болса үйкеліс бұрышының шамасы өседі, ал бұрамдықты берілістердің ПӘК-і көбейеді. Сондай-ақ бұрамдық орамының көтерілу бұрышының мәнін көбейтіп оның ПӘК-ін арттыруға болады.

Осындай нәтижеге келтіру үшін бұрамдық орамының кіріс санын арттыру қажет. Іс жүзінде бұрамдықты берілістердің ПӘК-ін жоғарылату үшін бұрамдық жұптарының арасындағы үйкеліс коэффициентін азайтып, бұрамдықты көп кірісті қылып жасаған жөн.

Осыған байланысты бұрамдық дөңгелегіне көбінесе қоладан жасалған тәж қондырылады. Сонымен қатар, ПӘК-і сырғанау жылдамдығына байланысты болатынын да ескерген жөн. Егер де бұрамдықтың орамының көтерілу бұрышы іліністегі үйкеліс бұрышынан аз болса, онда онай беріліс өздігінен тежелетін бұрамдықты беріліс деп аталады. Үйкеліс бұрышының шамасы үйкеліс коэффициентінің мәніне байланысты алынады.

Бұрамдықты берілістердің ПӘК-ін бұрамдықтың бұранда сызығының кіріс санына байланысты алуға болады.

#### **4.5 Бұрамдықты жұптың кинематикасы мен геометриясы**

Бұрамдықты берілістің кинематикасы тісті берілістің кинематикасына карағанда басқаша келеді:

1) беріліс санының шамасы диаметрлер қатынасы арқылы анықтамайды;

2) бұрамдық пен бұрамдық дөңгелегінің шеңберлік жылдамдықтары әр түрлі жазықтықта бағытталғанына байланысты, олардың шамасы мен бағыты да әр түрлі келеді. Сондықтан бұрамдықты берілістерде әлбетте сырғанау пайда болады.

Бұрамдықты жұптардың беріліс саны, бұрамдық бір айналғанда, бұрамдық дөңгелегінің ілініске кіретін тістер санына тең болады.

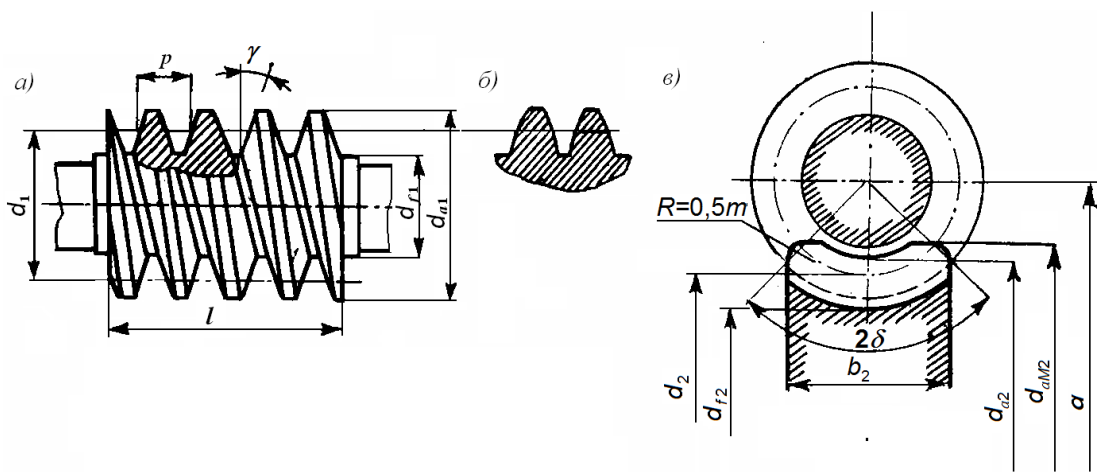
$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}, \quad (4.5)$$

мұнда  $n_2, z_2$  – дөңгелектің айналым және тістер саны;  
 $n_1, z_1$  – бұрамдықтың айналым саны және бұрамдық орамының кіріс саны.

Бұрамдықты берілістердің геометриялық өлшемдері 4.6-суретте көрсетілген.

Бұрамдық орамының қадамы  $p_t$  ілініс қадамы деп аталады, ал оның  $\pi$ -ге қатынасы ілініс модулі деп аталады.

$$m = \frac{p_t}{\pi}. \quad (4.6)$$



4.6-сурет – Бұрамдықты берілістердің геометриясы

Бұрамдық бұрандасы бір кірісті және көп кірісті болуы мүмкін. Ол  $z_1$  арқылы белгіленеді.

Бұрамдықтың бөлгіш цилиндрінің диаметрі:

$$d_1 = qm; \quad (4.7)$$

мұнда,  $q$  – бұрамдықтың бөлгіш цилиндрінің диаметріндегі модуль саны. Бұл шама стандартталған (МЕСТ 2144-76).

Бұрамдықтың бұранда сызығының көтерілу бұрышы  $\gamma$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{S}{\pi d_1} = \frac{p_t z_1}{\pi d_1} = \frac{m z_1}{d_1} = \frac{z_1}{q}, \quad (4.8)$$

бұл формулада  $S = p_t z_1$  – бұрамдық жүрісі.

Бұрамдық диаметрлері

орамының төбесін қамтитын шеңбер диаметрі



$$d_{a_1} = d_1 + 2m; \quad (4.9)$$

орамының табанын қамтитын шеңбер диаметрі:

$$d_{f_1} = d_1 - 2,4m. \quad (4.10)$$

Бұрамдықтың бұранда кесілген бөлігінің ұзындығы олардың кіріс санына байланысты қабылданады:

$$\left. \begin{aligned} z_{1_1} = 1, 2; b_1 &\geq (11 + 0,06z_2)m; \\ z_{1_1} = 4; b_1 &\geq (12,5 + 0,09z_2)m. \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

Дайындау технологиясына байланысты бұрамдықы ажарлау қажет болса, онда  $b_1$  шамасы  $3m$  мәніне ұзартылады.

Бұрамдық дөңгелектері. Бұрамдық тісті дөңгелектері көбінесе екі бөлектен тұрады. Білікке орналасатын негізгі бөлігі – күпшегі болаттан немесе шойыннан дайындалады, оған қоладан жасалған тәж (венец) отырғызылады. Қола мен болат жанасу кезінде үйкеліс коэффициентінің азаюына байланысты, олар берілістердің ұзақ уақыт жұмыс істеуіне мүмкіншілік туғызады.

Бұрамдық доңғалақтың негізгі өлшемдері.

Тістерінің саны

$$z_2 = z_1 \cdot u, \quad (4.12)$$

бұл, өрнекте  $u$  – бұрамдықты берілістің беріліс саны.

Тістер саны  $z_2 = 26-28$  -ден кем алмау керек, негізгі өлшемдері төменгі қатынастармен анықталады.

Бөлім диаметр:

$$d_2 = z_2 \cdot m; \quad (4.13)$$

Тістер төбесінің диаметр:

$$d_{a_2} = d_2 + 2 \cdot m; \quad (4.14)$$

Ойыстарының диаметрі:

$$d_{f_2} = d_2 - 2,4 \cdot m; \quad (4.15)$$

Бұрамдықты доңғалақтың ең үлкен диаметрі:

$$d_{a_{m_2}} \leq d_{a_2} + \frac{6m}{z_1 + k}, \quad (4.16)$$

осындағы,  $k=2$  – эвольвенталы бұрамдықты берілістер үшін;  
 $k=4$  – сызықты емес беттері тормен жасалатын берілістер үшін.

Доңғалақ тәжісінің ені:

$$\left. \begin{aligned} z_1 = 1-3; b_2 \leq 0,75d_{a_1}; \\ z_1 = 4; b_2 \leq 0,67d_{a_1}. \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

Бұрамдықты берілістің өсаралық қашықтығы

$$a_w = \frac{(d_1 + d_2)}{2} = \frac{(z_1 + z_2)m}{2}. \quad (4.18)$$

#### 4.6 Бәсеңдеткіш тұрқысының құрылымдық өлшемдері

Бұрамдықты берілістердің тісті берілістерге қарағанда айырмашылығы олардың істен шығуы көбінесе тозудан немесе қысылудан болады. Ол тозудың өзі бұрамдық орамы мен дөңгелек тістерінің арасындағы жанасу кернеуіне байланысты, сондықтан жақсы майға малыну арқылы майланатын бұрамдықты берілістерді біріншіден, жанасу кернеуіне есептеу қажет. Бұл кезде иілу беріктігіне есептеу тек қана тексеру ретінде жүргізіледі. Бұрамдық дөңгелегінің тістер саны көп болған жағдайда (90 -100), оларды иілуге есептеу қажет.

Тұрқы мен қақпақ қабырғаларының қалыңдығы  $\delta$  және  $\delta_1$

$$\delta = 1,8\sqrt[4]{T_m} \geq 6 \text{ мм}; \quad (4.19)$$

$$\delta = 1,8\sqrt[4]{2579} = 12,82 \text{ мм},$$

$\delta = 13 \text{ мм}$  деп қабылдаймыз.

$$\delta_1 = (0,9 \div 1,0) \cdot \delta = (0,9 \div 1,0) \cdot 13 = 11,7 \div 13 \text{ мм}, \quad (4.20)$$

$\delta_1 = 12 \text{ мм}$  деп қабылдаймыз.

Бұрандамалар диаметрі:  
 фундаменттік

$$d_{\phi} = 0,036 \cdot a_w + 10 \quad (4.21)$$

$$d_{\phi} = 0,036 \cdot 280 + 10 = 20,08 \text{ мм},$$

$d_{\phi} = 20$  мм деп қабылдаймыз.

Тұрқы негізі мен қақпағын мойынтірек жанында бекітетін

$$d_2 = (0,7 \div 0,75) d_{\phi} = (0,7 \div 0,75) \cdot 20 = 14 \div 15, \quad (4.22)$$

$d_2 = 16$  мм деп қабылдаймыз.

Тұрқы негізі мен қақпағын қосатын

$$d_3 = (0,5 \div 0,6) d_{\phi} = (0,5 \div 0,6) \cdot 20 = 10 \div 12, \quad (4.23)$$

$d_3 = 12$  мм деп қабылдаймыз.

Көру қақпағын бекітетін

$$d_{ск} = \delta_1 = 12 \text{ мм};$$

Бұрандасы М5 бұрамалар таңдаймыз.

Бәсеңдеткіш біліктері үшін жеңіл сериалы радиалды-сүйеніш конус аунақшалы мойынтіректер таңдаймыз (423 бет, 24.16-кесте).

Кесте-4.2 - Радиалды-сүйеніш конус аунақшалы мойынтіректер

Мойынтіректің шартты бел-рі	d, мм	D, мм	T, мм	b, мм	c, мм	C, кН	C <sub>0</sub>	e	γ
7210А	65	140	36,5	33	28	183	150,0	0,35	1,7
7216А	80	140	28,5	26	22	140	114,0	0,43	1,4

Мойынтірек қақпақтарының өлшемдері:

Қабырға қалыңдығы  $\delta$ , бұрамалар диаметрін  $d$  және санын  $z$  мойынтіректің сыртқы диаметріне байланысты таңдаймыз (148 бет).

4.2-кесте – Мойынтірек қақпақтары элементтерінің өлшемдері

Өлшемдері	D	δ	D	z
Жетекші білік мойынтіректері үшін	140	7	10	6
Жетекші білік мойынтіректері үшін	140	7	10	6

#### 4.6.1 Кілтөктерді есептеу

Кіреберіс білік:  
 Кілтек параметрлері:  $b \times h = 14 \times 9$  мм;  $t_1 = 5,5$  мм;  $t_2 = 3,8$  мм (8.9-кесте 169 бет).

$$l_p = \frac{2T_{\sigma}}{d(h-t_1)[\sigma]_{cm}} = \frac{2 \cdot 108,55 \cdot 10^3}{48 \cdot (9 - 5,5) \cdot 50} = 25,8 \text{ мм}, \quad (4.61)$$

Білік диаметрі бойынша  $l_p = 36$  мм деп қабылдаймыз.

Шығаберіс білік:

Кілтек параметрлері:  $b \times h = 22 \times 14$  мм;  $t_1 = 9$  мм;  $t_2 = 5,4$  мм

$$l_p = \frac{2T}{d(h-t_1)[\sigma]_{cm}} = \frac{2 \cdot 2579 \cdot 10^3}{80 \cdot (14 - 9) \cdot 120} = 107,5 \text{ мм}, \quad (4.62)$$

білік диаметрі бойынша  $l_p = 110$  мм деп қабылдаймыз.

Кілтек өлшемдерін есепке және білік диаметріне байланысты таңдайды. Кілтектің есептік өлшемі білік диаметріне сәйкес келетіннен кіші болғанықтан тексеру есебінің қажеті жоқ.

#### 4.6.2 Бәсеңдеткіштің жылулық есебі

Май температурасын  $t_M$  тексеру:

$$t_m = t_g + \frac{P_1(1-\eta)}{K_t A} = 20 + \frac{11380(1-0,761)}{17 \cdot 1,16} = 86 \text{ } ^\circ\text{C} \leq [t_m] = 80 \dots 95 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4.63)$$

мұнда  $t_g = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  – бәсеңдеткіштің сыртындағы ауа температурасы;

$P_1$  – бәсеңдеткіштің жетекші білігіндегі қуат, Вт

$\eta$  – берілістің ПӘК-і;

$K_t = 9 \dots 17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$  – жылу беру коэффициенті;

$A$  – бәсеңдеткіштің тұрқысының жылу беруші бетінің ауданы;

$[t_m]$  – бәсеңдеткіштегі майдың мүмкіндік температурасы.

## **5 Бағыттаушы біліктің динамикасын зерттеу**

### **5.1 Еркіндік дәреже саны шектелген механикалық модельдерді құру тәсілдері**

Механикалық жүйенің еркіндік дәреже саны деп оның барлық материалды нүктелерінің орнын нақты анықтайтын тәуелсіз координаттар санын айтады. Динамика мәселелерінде жүйенің орны уақытқа байланысты өзгереі, сол себепті нүктелердің координаттары уақыт функциясы болып табылады.

Динамикның негізгі міндеті – осы функцияларды табу немесе жүйенің қозғалысын табуда.

Тербеліс жөнінде есептерді шығару үшін дәл аналитикалық шешем табу қиынға соғады, сондықтан нақты объектілерді зерттеуден есептік сұлбелерге ауысқанда жүйенің еркіндік дәрежелер санын шектеу үшін болжамдар нгізу қажет.

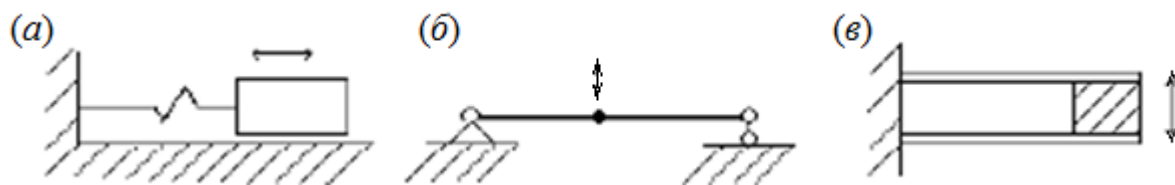
Жүйенің еркіндік дәрежелер саны шектелген механикалық модельдер құрудың келесі үш негізгі тәсілін атап өтуге болады.

Бірінші тәсіл бойынша жүйенің салыстырмалы түрде ең жеңіл бөліктерінің салмағы жоқ деп есептеледі (бұның өзінде олар қатаңда, деформациялатында болып саналуы мүмкін), ең ауырлары абсолют қатты деп

қабылданады, олардың өлшемдері шамалы болған жағдайда материалдық нүкте есебінде қарастырылады.

Мысалы, серіппе (5.1а-сурет) және арқалық (5.1б-сурет) салмақсыз және серпәнді, ал жолақтар (5.1в-сурет) – салмақсыз және қатаң болып саналады.

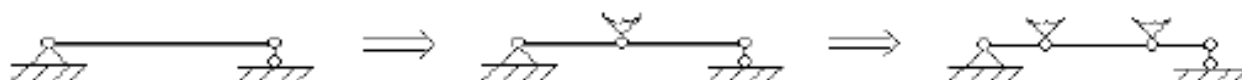
Осындай етіп кезкелген еркіндік дәреже саны шектелген механикалық модель құруға болады.



5.1-сурет

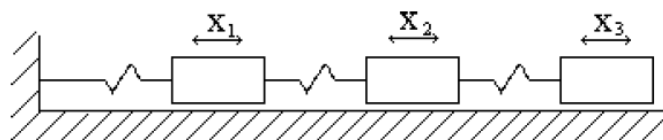
Екінші тәсілдің негізі – жүйенің бүкіл көлеміне таралған икемділік қасиеттері саны бойынша шектелген нүктелер немесе сызықтарға шоғырланған. Бұл кезде жүйені серпімді байланысқан қатаң элементтердің жиынтығы ретінде қарастырады.

Мысалы, салмағы үздіксіз таралған серпімді арқалықты жуықша түрде серпімді топсалармен бекітілген бірнеше қатаң буындармен ауыстыруға болады (5.2-сурет). Топсалар саны есепті шығаруға қажетті дәлдік деңгейіне байланысты анықталады.



5.2-сурет

Үшінші тәсіл жүйенің тербеліс барысында конфигурациясы өзгеруі туралы болжамға негізделген. Мысалы, серіппелермен қосылған жүктер жүйесі (5.3-сурет) үшін  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(t)$  орын ауыстырулардың арасындағы қатынас уақыт бойынша өзгермейтін деп, ал  $x_2/x_1 = x_3/x_1 = \beta$  алдын-ала тағайындалады.



5.3-сурет

Нәтижесінде жүйенің қозғалысы бір ғана уақыт функциясымен толықтай сипатталады, мысалы  $x_1(t)$ . Бұл функциямен жүйенің барлық нүктелерінің орын ауыстырулары өрнектеледі. Сонымен нақты объекті еркіндік дәрежесі бірге тең механикалық модельге келтірілді.

Тап осы тәсілмен екі тіректі арқалық үшін иілген өстің пішіні кез келген сәтте өзгермей қалады, ал оның масштабы ғана өзгереді деп қабылдауға болады. Онда арқалық нүктелернің тербелу кезінде тік орын аусуы екі айнымалы функция болып келеді және оны келесі түрде жазуға болады

$$y(x, t) = q(t) \cdot f(x), \quad (5.1)$$

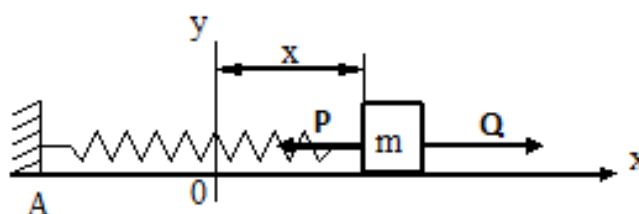
мұндағы  $f(x)$  – пішіннің тұрақты функциясы;

$q(t)$  – уақыттың айнымалы функциясы.

Осы функция есептегі жалғыз белгісіз шама болып келеді. Бір нақты жүйенің өзін жоғарыда аталған кезкелген тәсілді пайдаланып еркіндік дәрежесі бір немесе бірнеше модельге келтіруге болады.

## 5.2 Мәжбүрлі тербелістер

Мәжбүрлі тербелістердің пайда болуы механикалық жүйе нүктелеріне қоздырушы күштер әсер етуіне байланысты. Кейбір жағдайда күштік мәжбүрлеуші әсерлерден басқа жүйеге түсірілген кинематикалық мәжбүрлеуші әсерлерде кездеседі. Көлденең жылтыр жазықтықта жатқан салмағы  $m$  жүгінің қатаңдығы  $c$  серіппе әсерінен тербелістерін қарастырайық (3.4-сурет).



5.4-сурет

Жүкке уақытқа тәуелді мәжбүрлеуші  $Q$  күш және қайтарушы  $P$  күш әсер ететін болсын (5.4-сурет):

$$Q = H \sin pt; \quad (5.2)$$

$$P = -c \cdot x, \quad (5.3)$$

Осы екі формулаларда:  $c$  – серіппенің қатаңдығы;

$x$  – серіппенің деформациясы;

$H$  – мәжбүрлеуші күштің амплитудасы;

$p$  – мәжбүрлі тербелістердің жиілігі.

Жүк қозғалысын төмендегі дифференциалдық теңдеумен сипаттауға болады:

$$m\ddot{x} = -cx + H \sin pt, \quad (5.4)$$

(5.4) теңдеуін түрлендіру үшін оны  $m$  – массаға бөлеміз, онда

$$\ddot{x} + k^2 x = h \sin pt \quad (5.5)$$

мұндағы,  $k^2 = \frac{c}{m}$  – еркін тербелістер жиілігінің квадраты,

$h = \frac{H}{m}$  – тербеліс амплитудасының массаға қатынасы.

(5.4) теңдеуі біртекті емес, сызықты дифференциалдық теңдеулер тобына жатады, оның жалпы шешімі:

$$x = x_1 + x_2, \quad (5.6)$$

мұндағы,  $x_1 = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt$  -  $\ddot{x} + k^2 x = 0$  біртекті дифференциалдық теңдеуінің жалпы шешімі;

$x_2$  – (5.4) теңдеуінің дербес шешімі;

Егерде  $p$  және  $k$  жиіліктер бір-біріне тең емес болса, яғни  $p \neq k$ , онда дербес шешім  $x_2 = A \sin pt$  түрінде табылады ( $A$  – тұрақты белгісіз шама).

$A$ -ны анықтау үшін дербес шешімнен ( $x_2$ ) уақыт  $t$  бойынша екінші туындысын алып (5.4) теңдеуіне  $x$ ,  $\ddot{x}$  орына қою керек:

$$\ddot{x}_2 = -Ap^2 \sin pt; \quad (5.7)$$

$$-Ap^2 \sin pt + Ak^2 \sin pt = h \sin pt. \quad (5.8)$$

Мына теңдеудің екі жағындағы синустарының коэффициенттері бір-біріне тең болу керек, яғни

$$-Ap^2 + Ak^2 = h \text{ немесе } A = \frac{h}{k^2 - p^2}. \quad (5.9)$$

Сондықтан дербес шешім

$$x_2 = \frac{h}{k^2 - p^2} \sin pt. \quad (5.10)$$

(5.4) дифференциалдық теңдеудің жалпы шешімі төменднгідей жазылады



$$x = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt + \frac{h}{k^2 - p^2} \sin pt, \quad (5.11)$$

мұндағы,  $C_1$  мен  $C_2$  – белгісіз тұрақтылар.

Белгісіз шамаларды табу үшін (5.11) өрнегінен уақыт  $t$  бойынша бірінші туындысын аламыз

$$\dot{x} = v = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt + \frac{p h}{k^2 - p^2} \cos pt. \quad (5.12)$$

Бастапқы шарттары  $t=0$ ,  $x = x_0$ ,  $\dot{x} = \dot{x}_0 = v_0$  (5.11), (5.12) теңдеулерге қойығаннан кейін  $C_1$  және  $C_2$  тұрақтылар анықталады.

(5.11)-дің түрі

$$x_0 = C_1 \cos 0 + C_2 \sin 0 + \frac{h}{k^2 - p^2} \sin 0, \text{ немесе } C_1 = x_0. \quad (5.13)$$

(5.12)-нің түрі

$$\dot{x}_0 = v_0 = -C_1 k \sin 0 + C_2 k \cos 0 + \frac{p h}{k^2 - p^2} \cos 0, \quad (5.14)$$

немесе

$$v_0 = C_2 k + \frac{p h}{k^2 - p^2}, \text{ яғни } C_2 = \frac{v_0}{k} - \frac{p}{k} \cdot \frac{h}{k^2 - p^2}. \quad (5.15)$$

Сонымен (5.4) дифференциалдық теңдеуін шешімі былай жазылады

$$x = x_0 \cos kt + \frac{v_0}{k} \sin kt - \frac{p}{k} \frac{h}{k^2 - p^2} \sin kt + \frac{h}{k^2 - p^2} \sin pt. \quad (5.16)$$

Мұндағы (5.16) теңдеуін бірінші мүшесі

$X_1 = x_0 \cos kt + \frac{v_0}{k} \sin kt$  - бастапқы шарттарынан ( $t=0$ ,  $x = x_0$ ,  $\dot{x} = \dot{x}_0 = v_0$ ) тәуелді еркін тербелістері (қайтаруші күш  $P = -c \cdot x$  әсерімен).

Екінші мүшесі

$X_2 = -\frac{p}{k} \frac{h}{k^2 - p^2} \sin kt$  - еркін тербелістерін  $k$  – жиілігімен тербелістері, бырақ олардың себебі мәжбүрлеуші күш  $Q = H \sin pt$ .

Үшінші мүшесі

$X_3 = \frac{h}{k^2 - p^2} \sin pt$  -  $p$  жиілігімен шынындағы мәжбүр тербелістері (мәжбүрлеуші күш  $Q = H \sin pt$  әсерімен).

$X_2$  мен  $X_3$  мүшелері бастапқы шарттарынан тәуелсіз.

### 5.3 Резонанс

Тербелмелі бөлшектерге әсер етуші сыртқы күштер импульсінің белгілі кезеңде қайталануы бұл бөлшектерді тербелуге мәжбүр етеді. Тербелу жиілігі мен қозбалы күштердің жиілігінің еселігінен немесе сәйкес келуінен резонанс пайда болады, бөлшектің тербеліс амплитудасы күрт өседі, тербеліс машинаның басқа элементтеріне беріледі де бүкіл машина дірілдей бастайды. Бұл кезде пайда болатын таңбасы айнымалы кернеулер бөлшектердің бұзылуына себепші болуы мүмкін.

*Резонанс* жағдайы  $p = k$ , немесе еркін және мәжбүрлі тербелістерін жиіліктері бір-біріне тең. Дербес шешім осы жағдайда келесі түрде ізделеді

$$x_2 = Vt \cdot \cos kt \quad (5.17)$$

Оның уақыт  $t$  бойынша бірінші, екінші туындыларын алып, келесі өрнектерге келеміз:

бірінші туындысы

$$\dot{x}_2 = V \cdot \cos kt - Vkt \cdot \sin kt ; \quad (5.18)$$

екінші туындысы

$$\ddot{x}_2 = -Vk \cdot \sin kt - Vk \cdot \sin kt - Vk^2 t \cdot \cos kt \quad (5.19)$$

(5.17) мен (5.19) формулаларын дифференциалдық теңдеу (5.3)-ке қойып жазамыз

$$-Vk \cdot \sin kt - Vk \cdot \sin kt - Vk^2 t \cdot \cos kt + Vk^2 t \cdot \cos kt = h \sin kt .$$

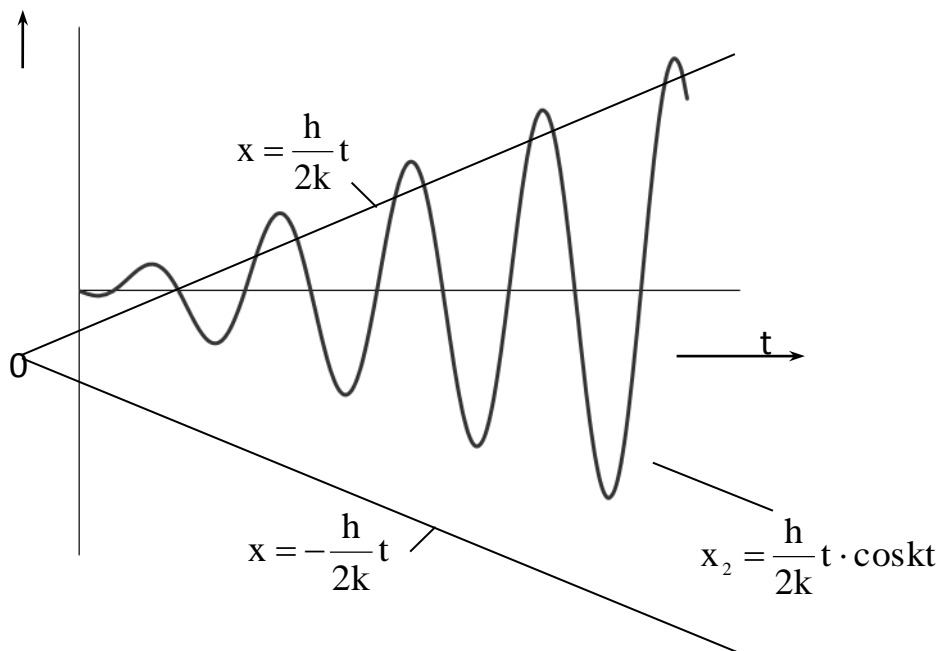
Осы өрнегінен  $V$  – тұрақтысы табылады,  $V = \frac{h}{2k}$ .

$V = \frac{h}{2k}$  -ні  $x_2 = Vt \cdot \cos kt$  - өрнегіне орналастырсак резонанс кезіндегі

қозғалысынын теңдеуі болып шығады

$$x_2 = \frac{h}{2k} t \cdot \cos kt . \quad (5.20)$$

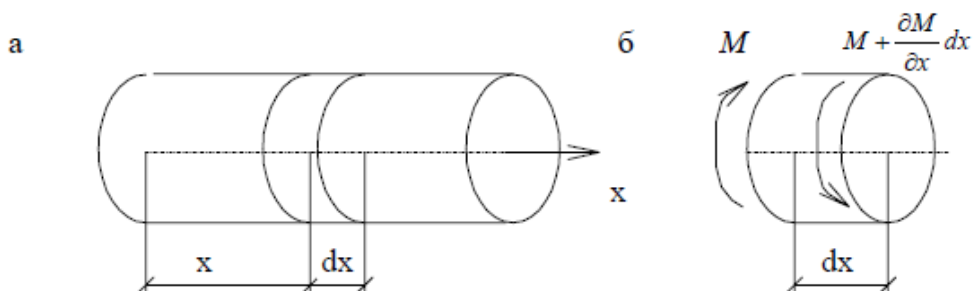
Резонанстын графигі 5.5 – суретте келтірілген.



5.5-сурет – Резонанс

#### 5.4 Массасы үздіксіз таралған біліктердің бұралу тербелістері

Массасы үздіксіз таралған біліктердің бұралу тербелістері (3.6,а-сурет) ішкі құрылымы бойынша толығымен сырықтардың бойлық тербеліс теңдеулерімен сәйкес келеді.



5.6 – сурет. Бұралу тербелістері

Абсиссасы  $x$  қимадағы бұраушы момент бұралу бұрышымен дифференциалдық теңдеу арқылы байланыста болады:

$$M = GJ_p \frac{d\varphi}{dx}, \quad (5.20)$$

Мұнда,  $J_p$  – көлденең қиманың полярлық кедергі моменті.  
 $dx$  қашықтықта орналасқан қимада бұраушы момент тең болады (5.6,б-сурет):

$$M + \frac{\partial M}{\partial x} dx.$$

« $\rho J_p$ » арқылы (мұндағы,  $\rho$  – білік материалының тығыздығы) білік массасының өсіне қатысты инерция моментінің қарқындылығын, яғни бірлік ұзындықтың инерция моментін, элементарлы телімнің қозғалыс теңдеуін былай жазуға болады:

$$-M + \left( M + \frac{\partial M}{\partial x} dx \right) = \rho J_p \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 t} dx.$$

немесе

$$\frac{\partial M}{\partial x} = \rho J_p \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 t}.$$

Мұнаған (5.20) өрнегін қойып,  $J_p = \text{const}$  болған жағдайда шешімін аламыз:

$$C_1^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 x} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial^2 t}, \quad (5.21)$$

мұндағы

$$C_1^2 = \frac{G}{\rho}.$$

(5.19) теңдеудің жалпы шешімі келесі:

$$\varphi = \sum X_B(x) T_B(t),$$

Мұндағы

$$X_B(x) = C_B \sin \frac{\omega_B x}{C_1} + D_B \cos \frac{\omega_B x}{C_1}, \quad (5.22)$$

$$T_B(t) = A \sin(\omega_B t + \alpha_B).$$

Бұл кезде өзіндік жиіліктер мен өзіндік функциялар нақты шекті шарттармен анықталады.

Негізгі шеттерін бекіту жағдайларында олар төмендегідей болады:

а) шеті бекітілген ( $\varphi=0$ ):  $X=0$ ;

б) шеті бос ( $M=0$ ):  $X'=0$ ;

в) сол жақ шеті серпімді бекітілген:  $C_0X=GJ_p X'$  ( $C_0$  –қатаңдық коэффициенті);

г) оң жақ шеті серпімді бекітілген:  $-C_0X=GJ_p X'$ ;

д) сол жақ шетінде табақша орнатылған:  $-J_0\omega^2X=GJ_p X'$  ( $J_0$  – табақшаның сырық өсіне қатысты инерция моменті);

е) оң жақ шетінде табақша орнатылған:  $J_0\omega^2X=GJ_p X'$ .

Егер біліктің сол жақ шеті бекітілген ( $x=0$ ), ал оң жақ шеті ( $x=l$ ) бос, онда  $x=0$  кезінде  $X=0$  және  $x=l$  кезінде  $X'=0$ : өзіндік жиіліктер төмендегіше аныталады

$$\omega_n = \frac{(2n-1)\pi C_1}{2l}, \quad (n = 1, 2, \dots). \quad (5.23)$$

Егер біліктің сол жақ шеті бекітілген, ал оң жақ шетінде табақша тұрса, онда трансценденттік теңдеу табамыз:

$$\frac{\omega l}{C_1} \operatorname{tg} \frac{\omega l}{C_1} = \frac{\rho J_p l}{J_0}. \quad (5.24)$$

Егер біліктің екі жақ шеті де бекітілген болса, онда шекті шарттары клесі  $x=0$  и  $x=l$  кезінде  $X=0$ . Бұл кезде (5.22) табамыз

$$C \sin \frac{\omega l}{C_1} = 0; \quad D = 0,$$

яғни,

$$\frac{\omega l}{C_1} = \pi n; \quad (n = 1, 2, \dots),$$

бұдан өзіндік жиілігін табамыз:

$$\omega_n = \frac{\pi n C_1}{l}.$$

Егер біліктің сол жақ шеті бос, ал оң жақ шетінде табақша тұрса, онда  $x=0$  кезінде  $X'=0$ ;  $x=l$  кезінде  $J_0\omega^2X=GJ_pX'$ .

(5.22) көмегімен табамыз:

$$C = 0; J_0 \omega \cos \frac{\omega l}{C_1} = GJ_p \frac{\omega}{C_1} \sin \frac{\omega l}{C_1},$$

немесе трансценденттік жиілікті теңдеу:

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{\omega l}{C_1}}{\frac{\omega l}{C_1}} = - \frac{J_0}{\rho J_p l}.$$

### 5.5 Бағыттаушы біліктің аумалы айналу жиілігін анықтау

Резонансқа сәйкес келетін бұрыштық жылдамдық  $\omega$  мен айналу жиілігі  $n$ -ді аумалы деп атайды.

Біліктер көлденең немесе июші, бұрыштық немесе бұраушы және иіп-бұраушы тербелістерге ұшырайды. Көптеген жағдайда машиналарда мезгіл-мезгіл қайталанып отыратын көлденең күштердің әсерінен туындайтын көлденең тербелістер пайда болады. Әдетте, біліктің көлденең тербелісі ұзақ уақытқа созылады, себебі қалпына келтіруші серпімді күштер салыстырмалы түрде аз болады. Осы себептердің салдарынан біліктің қатаңдығы жеткіліксіз болған жағдайда, резонанс айналым жиілігі аз кезде де туындауы мүмкін.

Біліктерді көлденең тербелістерге есептеу деп қалыптасқан жұмыс тәртібінде резонанстың болмау шартына тексеруді айтады.

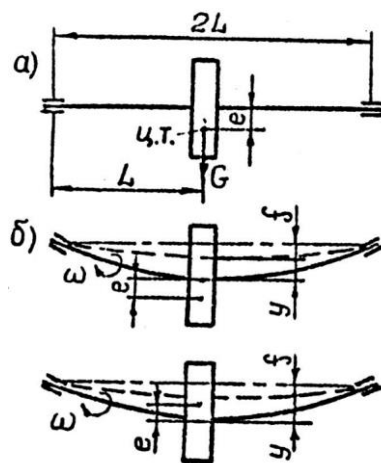
Шапшаң жүрісті біліктердің көбінде теңгертілмеген салмақтардың инерциялық күштері қозбалы күштер болып табылады.

Біліктер тербелгенде болатын құбылыстарды қарапайым мысалмен қарастыруға болады. Айталық, бірқалыпты қималы білікке тіректеріне қатысты симметриялы теңгертілмеген табақша бекітілген (5.7-сурет). Табақшаның ауырлық күшінің әсерінен білік  $f$  шамасына иіледі (статикалық иілу). Білік бірқалыпты айналғанда табақшаға әсер етуші ортадан тепкіш күштің  $F_y$  салдарынан біліктің иілуі  $u$  шамасына артады (5.7б-сурет).

Динамикалық иілуді тудыратын күш:

$$F_y = m\omega^2(y + e), \quad (5.25)$$

мұндағы  $m$  – табақшаның салмағы;  
 $e$  – табақшаның ауырлық ортасының геометриялық айналу өсінен ауытқуы (эксцентриситет);  
 $(y+e)$  – табақшаның ауырлық ортасының айналу радиусы.



5.7 – сурет. Біліктің тербелуіндегі есептік сұлбесі

Білік айналғанда ортадан тепкіш күш өзінің бағытын өзгертіп, білікті үйлесімділік (гармониялық) тербеліске ұшыратады.

Инерция күші, тербелуші жүйенің қатаңдығы  $C$  мен деформациясы  $y$ -тің көбейтінсіне тең болатын білік деформациясының серпімді кедергі күшімен теңестіріледі.

Мына шарт орындалады:

$$F_y = F_{yn}$$

немесе

$$m\omega^2(y + e) = Cy,$$

бұдан

$$y = \frac{m\omega^2 e}{C - m\omega^2} = \frac{e}{\frac{C}{m\omega^2} - 1}. \quad (5.26)$$

Бұрыштық жылдамдық  $\omega$  жоғарылаған сайын иілу  $y$  ұлғая береді. Біліктің аумалы бұрыштық жылдамдығының шамасы  $(C - m\omega^2) \rightarrow 0$  жағдайдағыдай мәнге жетуі мүмкін. Сонда  $y \rightarrow \infty$  да, резонанс пайда болады, ал бұл жағдай біліктің бұзылуына әкеліп соғуы мүмкін.

Біліктің аумалы бұрыштық жылдамдығы:

$$\omega_{ay} = \sqrt{\frac{C}{m}} = \frac{\pi n_{ay}}{30} \quad (5.27)$$

Аумалы айналым жиілігі

$$n_{ay} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{C}{m}} \quad (5.28)$$

және  $C=G/f$ , ал  $m=G/g$  болғандықтан, мұндағы  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  – еркін түсу үдеуі, сонда

$$n_{ay} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{f}} \approx 30 \sqrt{\frac{1}{f}}. \quad (5.29')$$

мұндағы,  $f$  – біліктің статикалық иілуі, м.

Біліктің статикалық иілуінің мөлшерін сәйкесінше қарастырылып отырған сұлбе бойынша білікті жіктегенде материалдар кедергісі пәнінен белгілі формуламен анықтауға болады

$$f = G (2L)^3 / 48 EJ, \quad (5.30)$$

мұндағы,  $E$  – білік материалының серпімділік модулі, МПа;

$J=0,05 \cdot d^4$  – біліктің қима ауданының өстік инерция моменті, м<sup>4</sup>.

(5.26), (5.27) формулаларын қорытындай келе:

$$y = e / [(\omega_{kp} / \omega)^2 - 1]$$

немесе

$$y = -e / [1 - (\omega_{kp} / \omega)^2].$$

Бұрыштық жылдамдық өскенде аумалыдан кейінгі аумақта біліктің динамикалық иілуі азаяды. Эксцентриситеттің теріс мәні аумалыдан кейінгі аумақтағы  $e$  және  $y$ -тің бағыттары қарама-қарсы екенін білдіреді, ал сол кезде (5.26) формуласы бойынша аумалыға дейінгі аумақта  $e$  және  $y$  бірдей болады.

Біліктің айналыс санының аумалыға жақындағанын біліктің қатты тербелуінен байқауға болады;  $0,7n_{ay}$ -дан  $1,3n_{ay}$ -ға дейінгі айналыс аймағын пайдаланбау керек, себебі бұл тәртіпте ұзақ жұмыс істегенде біліктің бұзылуы шарасыз.

Тербелу кезінде пайда болатын әртүрлі кедергілердің (ішкі үйкеліс, мойынтіректердегі үйкеліс, сыртқы ортаның әсері) салдарынан біліктің бұзылуы лезде болуы мүмкін емес. Ал  $\omega > \omega_{ay}$  кезде білік иілуі ақырғы мәндеріне ие болатындықтан, аумалы жылдамдықтар аймағынан тез өтіп кеткен жағдайда білік қозғалысы тұрақталады. Сондықтан біліктер  $n > n_{ay}$



болған кезде де жұмыс істейді; әдетте  $n \geq (2 \div 3)n_{ay}$ . Мұндай біліктерді иілгіш деп атайды.

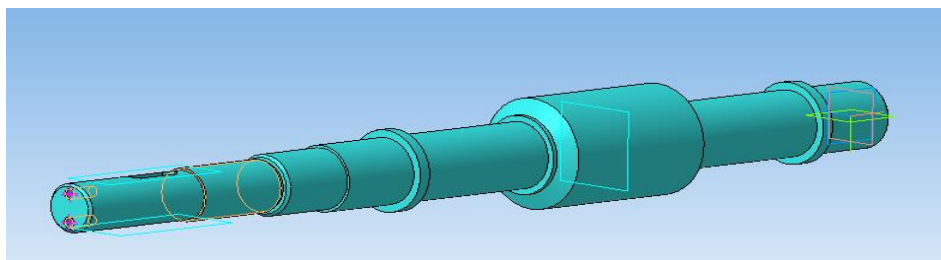
$\omega \rightarrow \infty$  кезде аумалыдан кейінгі аймақта  $y \rightarrow -e$  болады, демек табақшаның ауырлық орталығы біліктің айналу өсімен дәл келуге тырысады.

Сондықтан, резонанс болмау үшін қалыптасқан қозғалыста біліктің бұрыштық жылдамдығы аумалы жылдамдықтан жоғары немесе төмен болуы тиіс. Тербелгенде пайда болатын әртүрлі кедергілердің салдарынан аумалыдан кейінгі аймаққа тез өткен кезде біліктердің бұзылуы лезде болуы мүмкін емес және олардың жұмыс істеу қабілеттілігі толығымен сақталады.

Көптеген біліктер аумалыға дейінгі аймақта жұмыс істейді, және де резонанс қауіптілігін азайту үшін біліктердің қатаңдығын және осыған орай, өзіндік тербелу жиіліктерін де жоғарылатады. Жоғары жылдамдықты механизмдерде тұрақтылығын сақтап қалу үшін икемділігі жоғарылатылған біліктерді қолданады. Иілгіш біліктерді пайдалану резонанс аймағын тезірек өтіп және одан алыстап кетуге мүмкіндік береді. Резонанс аумағынан өту мүмкіндігінше жоғары жылдамдықпен іске асады; арнайы тербеліс амплитудаларын шектегіштер қолданылады; тез айналушы бөлшектерді мұқият теңгертеді.

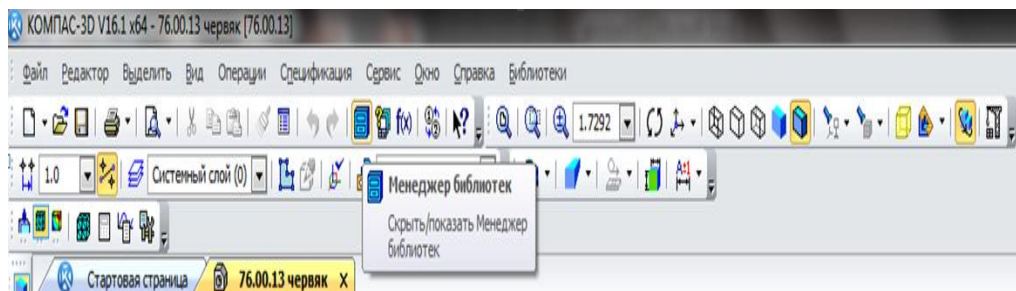
## 5.6 Бағыттаушы білігін *APM FEM* бағдаламасында есептеу

Білікті есептеу үшін бөлшекті КОМПАС 3D бағдаламасында өз өлшемімен сызамыз. (5.8-сурет).



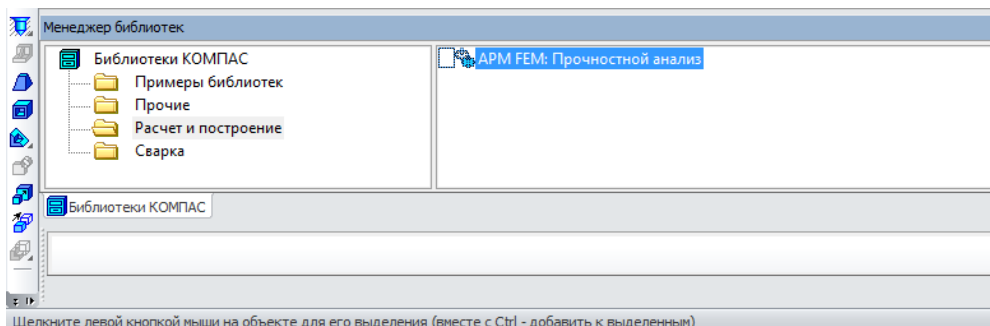
5.8-сурет – Бағыттаушы біліктің КОМПАС-3D моделі

APM FEM қолданбалы кітапханасын қосамыз (5.9-сурет)



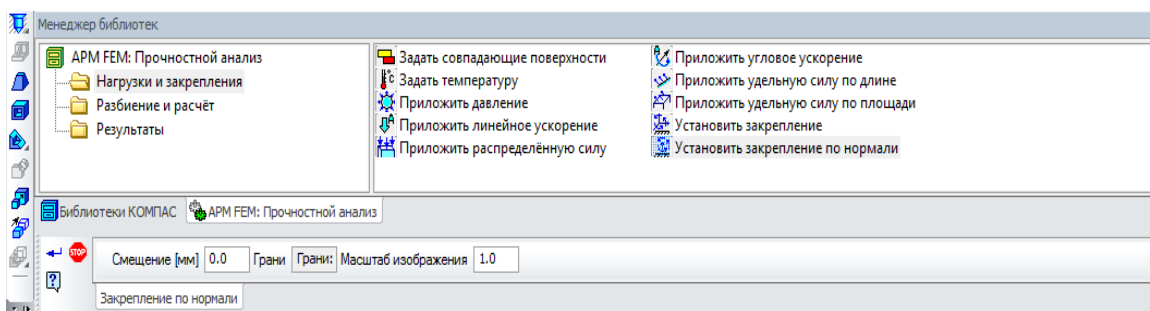
5.9-сурет – Запуск менеджер библиотек

Әрі қарай «Расчет и построение» терезесіне кіріп «APM FEM: Прочностной анализ» (5.10-сурет) команданы іске қосамыз.



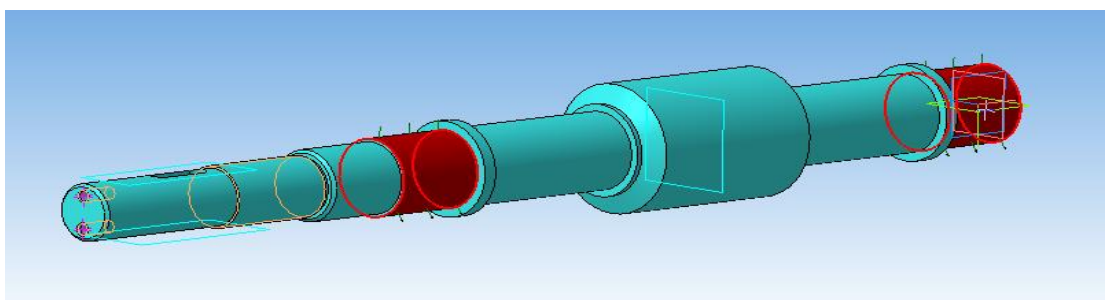
5.10-сурет – APM FEM іске қосу

Келесі кезеңде «Нагрузки и закрепления» бөлімінде «Установить закрепления по нормали» командасын таңдау арқылы бөләктің бекітілуін орнатамыз (5.11-сурет).



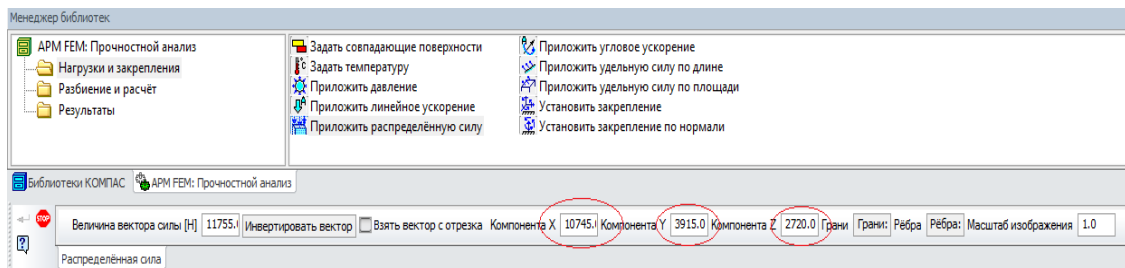
5.11-сурет – Бекітілуін орнату

Бөлшекте мойынтірек астын бекіту үшін көрсетеміз (3.12-сурет).



5.12-сурет – Бекіту беті

Бөлшекке күш түсіреміз, ол үшін «Нагрузки и закрепления» бөлімінде «Приложить распределённую нагрузку» бұйрығын таңдаймыз (3.13-сурет).

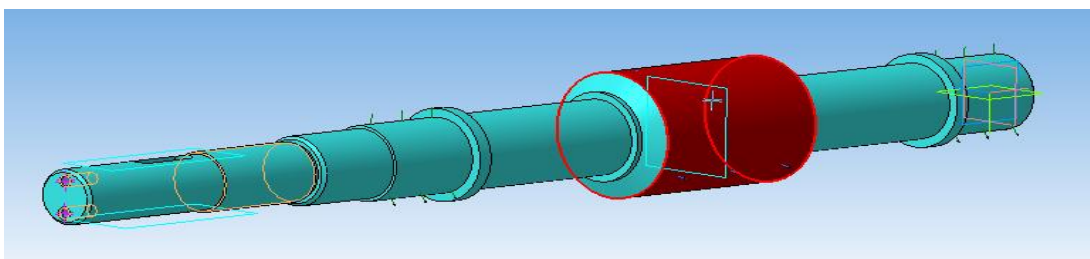


5.13-сурет – Жүктемелеу және бекіту

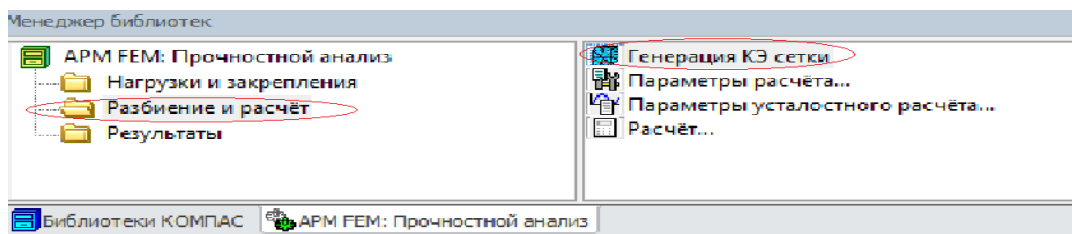
Жүк түсірілетін бетті таңдаймыз (5.14-сурет).

Бөлшекті элементтерге бөлеміз, ол үшін «Разбиение и расчёт» бөлімінде «Генерация КЭ сетки» бұйрығын таңдаймыз (5.15-сурет).

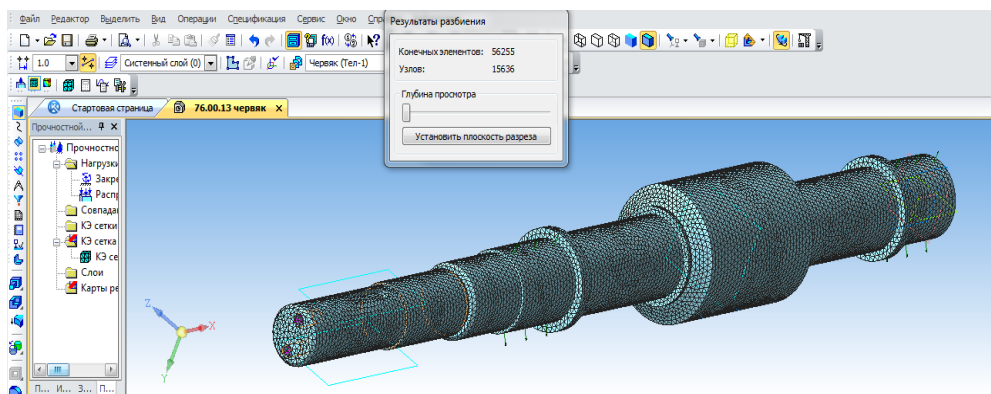
«Генерация КЭ сетки» бұйрығы орындалғаннан кейін бөлу нәтижелері шығады, на 5.16-суреттен визуалдық арасын көруге болады.



5.14-сурет – Тексерілетін бет таңдау



5.15-сурет – КЭ торын өндіру

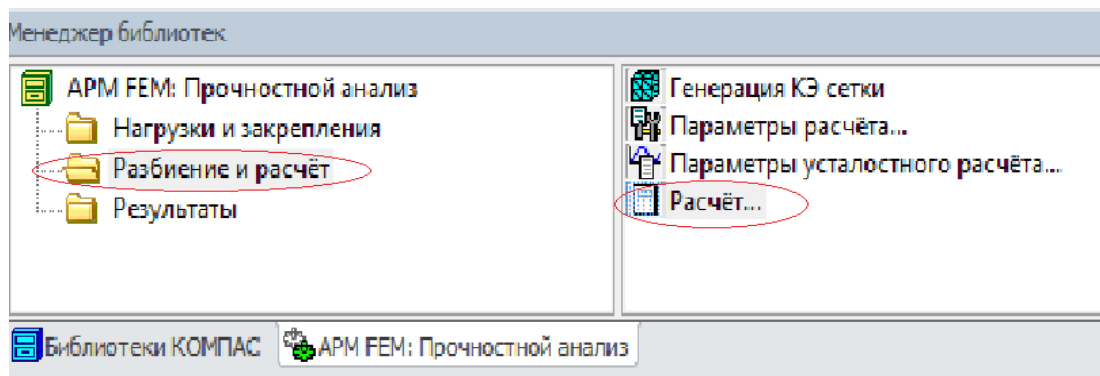


5.16-сурет – КЭ торын өндіру (генерация)

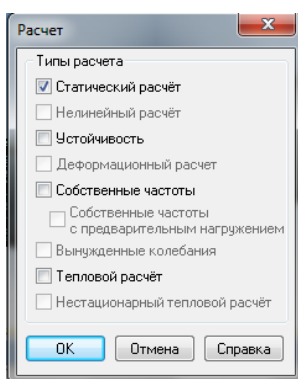
«Генерация КЭ сетки» бұйрығын орындап, тор салғаннан кейін

бөлшекті есептейміз, бұл үшін «Разбиение и расчет» бөлімінде «Расчет» бұйрығын таңдаймыз (5.17-сурет). «Расчет» терезесінде «Статический расчет», «Устойчивость» және «Собственные частоты» (5.18-сурет) бұйрықтарын белгілеп әрі қарай «ОК»-ды басамыз, содан соң статистикалық есептеу шығарады (5.19-сурет).

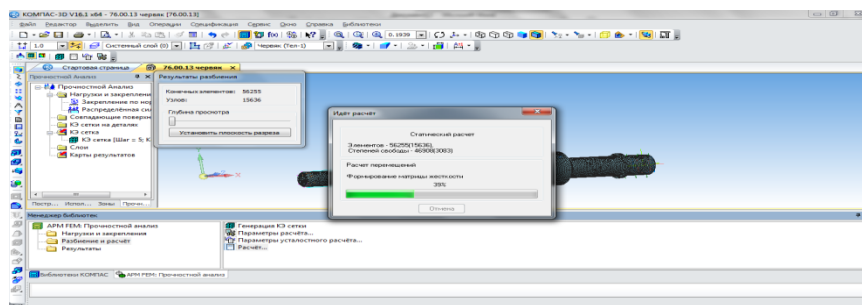
Есептеу және визуализация нәтижелерін талдау үшін «Результаты» бөлімінен «Карта результатов» бұйрығын басамыз (5.20-сурет). Бұл бұйрықтан кейін «Параметры вывода результатов» терезесі ашылады, одан «Напряжения» бұйрығын таңдап ОК басамыз (5.21-сурет).



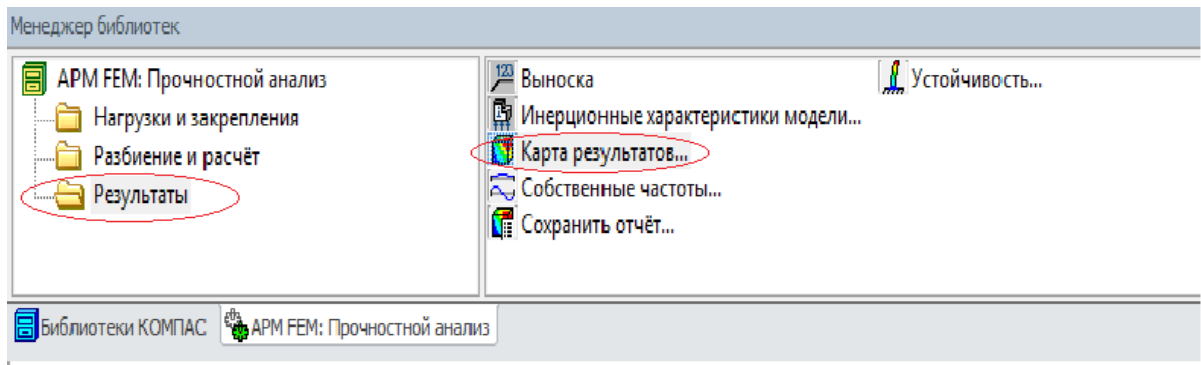
5.17-сурет – «Разбиение и расчет» терезесі



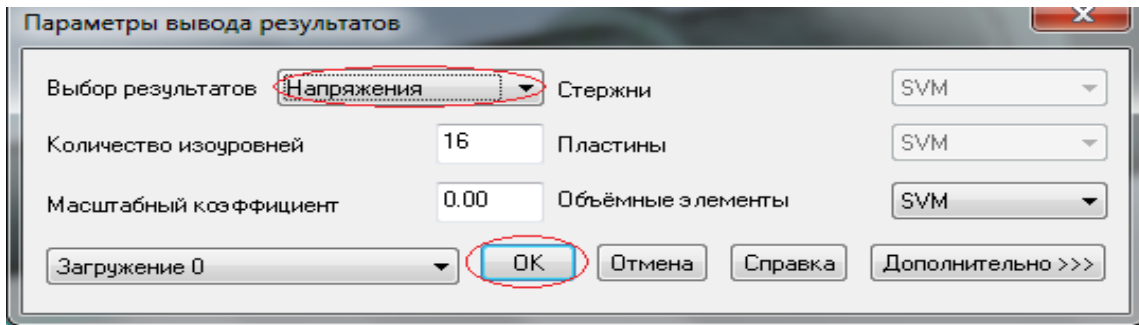
5.18-сурет – «Расчет» бөлімі Статикалық есеп



5.19-сурет – Статикалық есептің орындалуы

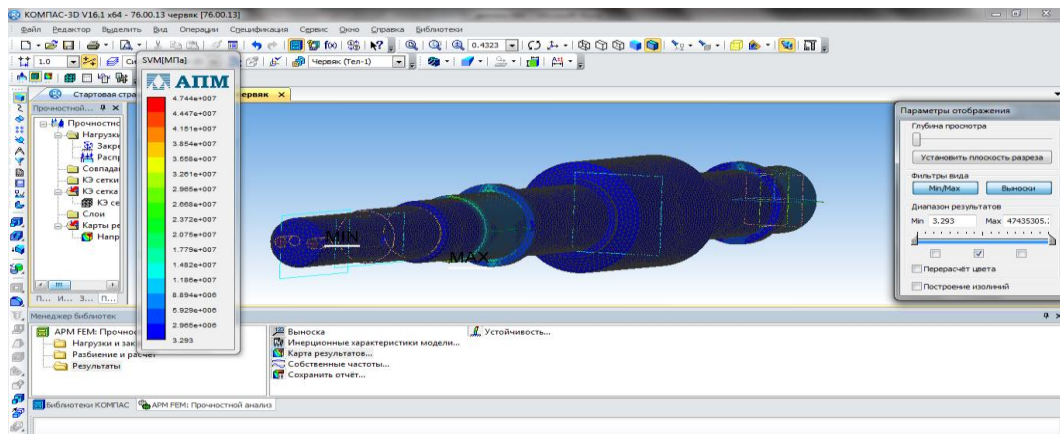


5.20-сурет – «Результаты» терезесі



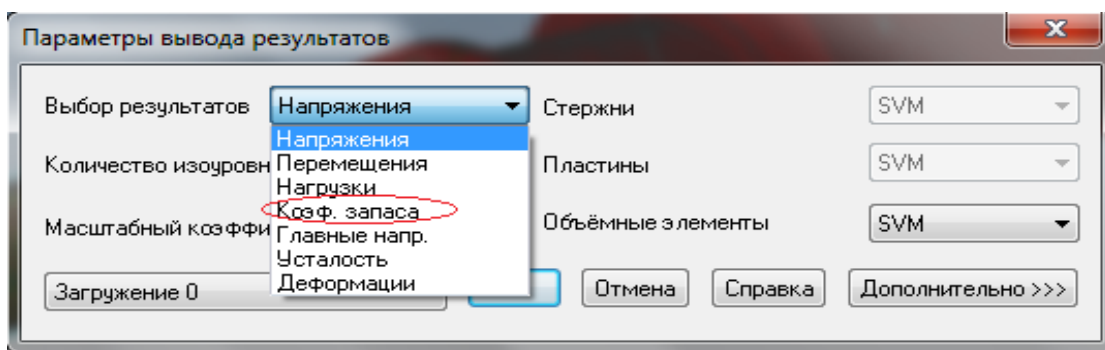
5.21-сурет – «Параметры вывода результатов» терезесі

Терезеде есептеу және визуализация нәтижелері шығады (5.22-сурет), «АПМ» терезесінде бөлшек денесіндегі максималды және минималды кернеулер графигін және бөлшек бетінде таралуын көруге болады.



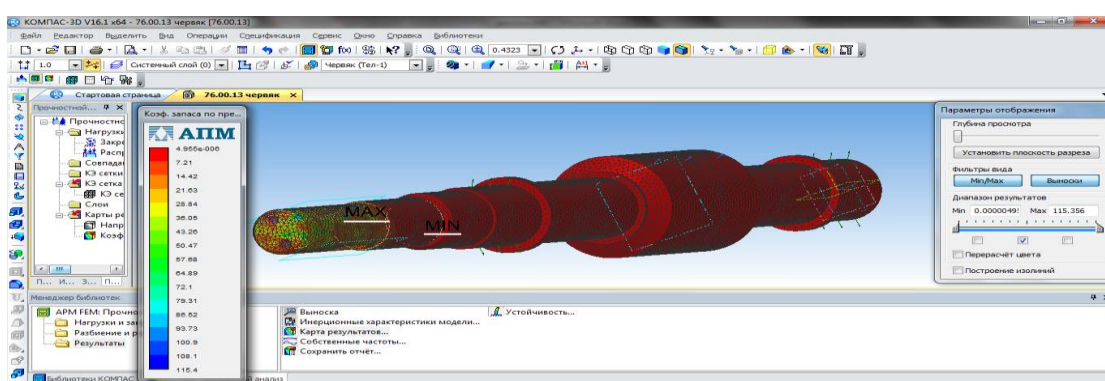
5.22-сурет – Есептеу және визуализация нәтижелері

Қор коэффициентін талдау үшін «Параметры вывода результатов» терезесіндегі «Карта результатов» бөлімін қайта ашамыз, ашылған терезеде Результаты расчётов «Коэф. Запаса» пердесіне «OK» басамыз(5.23-сурет).



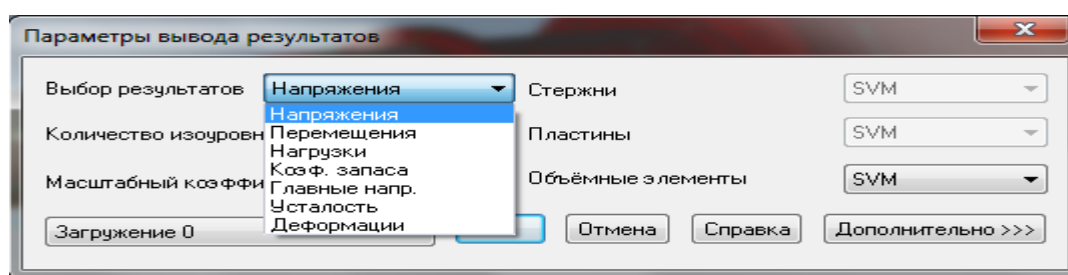
5.23-сурет – Шығыс параметрлерінің нәтижесі

Талдау нәтижелері терезеде көрініп шығады (5.24-сурет)



5.24-сурет – Беріктік қорына есептеу және визуализация нәтижелері

Сәйкесінше «Карта результатов» командалары арқылы басқа есептердің де нәтижелерін көруге болады (5.25-сурет).



5.25 – сурет. «Параметры вывода результатов»

APM FEM бағдарламасы бойынша есептерден байқауға болады: Қауіпті қималарда пайда болатын кернеулер мүмкіндік шамасынан әлде қайда төмен. Беріктік шарты орындалды.

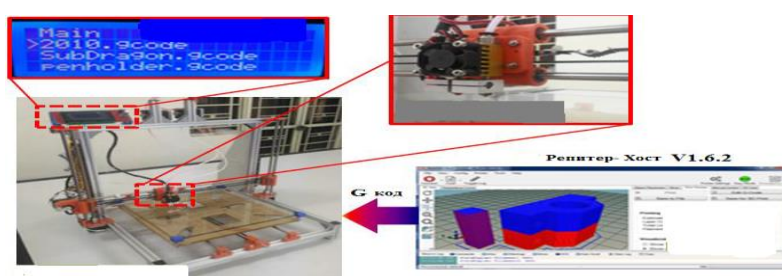
## 6 Эксперименттік нәтижелер

## 6.1 3D-FDM принтерінде бағыттаушы білікті басып шығару моделі

6.1-суретте 3D принтердің құрылымы көрсетілген. Бағдарламалық камтамасыз ету Марлин 3D баспа драйвері бағдарламалық жасақтамасы ретінде таңдалды. Марлин – 3D басып шығару үшін Ардуино негізделген бағдарлама.

3D принтерлердің әрбір дизайны үшін келесі ақпаратты орнату қажет: бақылау тізбегі; принтердің атауы; пластик саны, экструзия; бастапқы түрі; температура сенсорын орнату. Экструдер ең аз рұқсат етілген тұрақтандырылған температура, сондай-ақ барынша рұқсат етілген температура, жылу үстеліне арналған қоректендіру көзі.

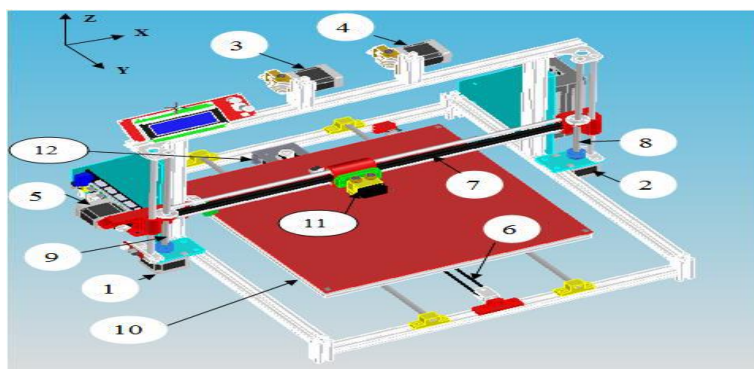
Принтер үшін температура проблемаларын болдырмау, баспа аумағының өлшемі және контроллерін орнатамыз.



6.1-сурет – Өндірілген 3D-FDM принтерінің моделі

Репитер-Хост V1.6.2 бағдарламалық жасақтамасы қолданылады. 3D принтер үшін G-кодты жасаймыз. Параметрлер Репитер-Хост бағдарламалық құралы пайдаланылатын 3D принтермен дұрыс орнатылуы керек. 3D-FDM принтерінің сипаттамалары келесідей:

- FDM басып шығару технологиясы бар 3D принтер;
- Баспа материалдары: ABS, PLA пластмасса;
- Максималды өнім мөлшері: 310x310x250мм;
- Баспа қалыңдығы: 0,1 ÷ 0,5 мм.



6.2-сурет – Басып шығару процесінің драйвер жүйесі

6.2-суретте 3D-FDM машинасының драйвер жүйесі бейнеленген. Қозғалтқыштар (1 және 2-де сипатталған) Z осі бойымен жоғары және төмен бойымен бұрандалар мен біліктер арқылы аудару үшін (8 және 9-

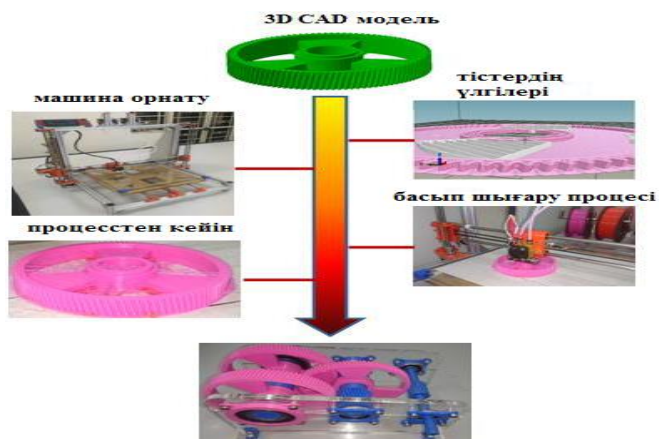
тармақтармен сипатталған) басып шығару механизмін жүргізеді (6.1-суретте сипатталған). Басып шығару механизмі Х осі бойынша қозғалтқыш арқылы (5 сипатталған) белдік таспалы транспортер арқылы аударылады .

Құрастыру платформасы (6.2-суретте сипатталған) Y осі бойымен қозғалтқышты (12 сипатталған) белдік таспалы транспортер арқылы аударды (6 сипатталады). Қозғалтқыштар (1, 2, 3, 4, 5 және 12 сипатталған) NEMA 17 42Н42НМ-0504А-18 қозғалтқыштары болып табылады. Қозғалтқыштар (3, 4-тараумен сипатталған) баспа бастары үшін пластмассадан жасалған материалды орауға арналған.

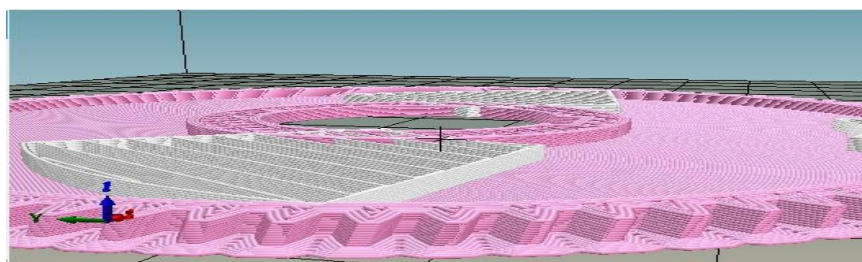
Тісті берілістер мен біліктер тәрізді элементтерді басып шығару, содан кейін осы элементтерді 6.3-суретте көрсетілгендей беріліс қорабына жинау бұл зерттеудің кейстік мысалы болып табылады. Элементті басып шығарудың жүйелік процедурасы беріліс ретінде 6.4-суретте сипатталған.



6.3-сурет – Беріліс қорабында басылған біліктер



6.4-сурет – Берілістерді басып шығару қадамдары





### 6.5-сурет – Тісті берілістің дің үлгілеу моделі



### 6.6-сурет – Басып шығару процесі

Тісті берілу және басып шығару процесінің кескінделген үлгілері тиісінше ( 6.5 және 6.6-суретте ) көрсетілген. Тісті берілістер мен біліктерді басып шығару параметрлері келесідей:

- Саңылау диаметрі: 0,3 мм;
- қабаттың қалыңдығы: 0,2 мм;
- Басып шығару жылдамдығы: 15 ÷ 20 мм / с;
- филаменттің диаметрі: 1,8 мм;
- Жол стилі: ректилинар;
- Материалдар: ABS, PLA;
- Басып шығару температурасы: 205°C (PLA); 230°C (ABS).

Жоғарыда көрсетілген басып шығару параметрлері бар 3D-FDM принтерінде тісті доңғалақтар мен біліктер сәтті басып шығарылды. Бұл бөліктердің геометриялық үлгілері 6.5-суретте көрсетілген.

Басып шығарылған бөлшектердің өлшемді дәлдігі рұқсат етілген шектерде болады. Ауытқу CAD моделін басып шығарылған бөліктің сканерленген моделімен салыстыру арқылы танылады.

Жылтыратылған біліктер жоғары легирленген болаттардан жасалады, әдетте – конструкциялық төсем және бетінің индукциялық қатаюына ұшырайды, содан кейін тегістеледі. Ұнғымаларда фабриканың индукциялық қатаюы бар, бұл ұзақ жұмыс уақытын қамтамасыз етеді және біліктердің аз тозуына әкеледі. Жер үсті біліктердің мінсіз беті бар және өте аз үйкеліспен қозғалысты қамтамасыз етеді. Біліктер тек қана екі нүктесінде ұштарда орнатылады, сондықтан оларды орнату өте қиындық тудырмайды. Дегенмен, көптеген адал өндірушілер жиі материалдың түрін және оның қаттылығын тексеру үшін сатып алушы әрдайым құралға ие бола алмайтын фактілерді пайдалана отырып, жоғары көміртекті болаттардың арзан және жұмсақ сыныптарынан біліктерді жиі жасайды. Жылтыратылған біліктердің кемшіліктері:

Рамадағы тіреудің болмауы.

Білік біліктің екі жағында бекітіледі – бұл бағыттаушыларды бекітуді жеңілдетеді, алайда, бағыттаушылар жұмыс бетіне қарамастан орнатылады. Сол кезде портал машиналарында кестелермен тығыз байланысы бар бағыттаушыларды қою өте қажет (егер мұндай жұмыс үстелінде қисықтық

өткен болса, өңдеу қателіктерін азайтады, «бұрандамаған» - бағыттаушылар, қайталанатын кестенің бұрыштары, кейбір қателіктер деңгейлері).

Ұзақ ұзындықта сықақ.

Іс жүзінде саңылау біліктерінің арқасында ұзындығы 1 метрден артық емес. Сонымен қатар, біліктің диаметрінің ұзындығына қатынасы – қолайлы нәтижелерге қол жеткізу үшін оның мәні кем дегенде 0,05, жақсырақ 0,06-0,1 ауқымында болуы керек. Нақты деректерді CAD пакеттеріндегі білікке жүктеуді модельдеу арқылы алуға болады.

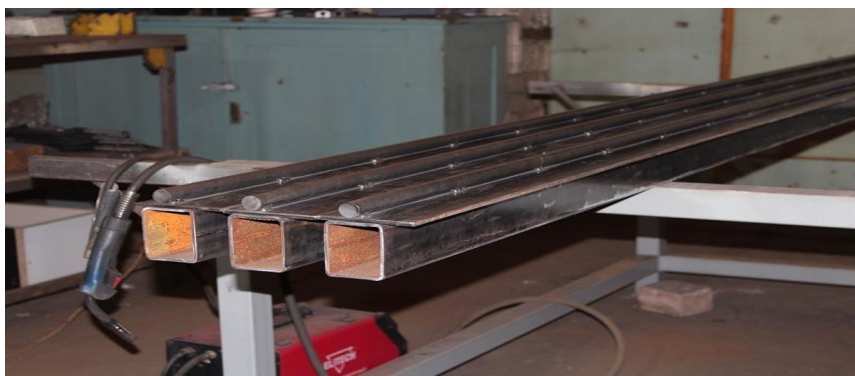
Мәселен, біліктер бойынша негізгі қорытындылар – біліктердің негізгі кемшілігі олар тек қана екі нүктеден соң жақтауға бекітіледі. Осылайша, біліктер принтердің кинематикасында туындайтын статикалық және динамикалық күштердің әсерінен бүйірлік жүктемелерді қабылдамайды. Сөзбе-сөз айтқанда, оңай бүгілуі және дірілдейді. Баспа жылдамдығының ұлғаюы және демек, динамикалық жүктемелердің көбеюі бұл баспа басының дұрыс емес орналасуына, демек баспа сапасының нашарлауына әкеледі. Ең алдымен, ол модельдің өткір бұрыштарын күлдіру түрінде келеді.



6.7-сурет – Жылтыратылған білік

Саусағыңызбен нәзік басқанда, білікше жүздеген, тіпті миллиметрдің оннан бір бөлігін бүктейді. Мұндай деформациялар басып шығару кезінде қабаттың қалыңдығына теңеледі, сондықтан басып шығарылған модельдің геометриясына айтарлықтай әсер етеді. Бұл қиындықпен қалай күресуге болады? Бұл өте қарапайым, себебі бұл балама – BALL PROFILE RAIL GUIDES немесе одан да оңай, RAILS. Wiki.purelogic.ru сайтынан қайтадан цитата келтіріңіз:

Профильді бағыттаушы бағыттаушылар жоғары дәлдіктің талап етілетін жерлерінде пайдаланылады. Цилиндрлік, профильді рельстер тікелей машина шеңберіне орнатылады. Арнайы рельстік жолдар профильді рельстерде жасалады, соның салдарынан жүк бойынша жүк жүктеме жолдарының жұмыс бетінде біркелкі бөлінеді: теміржол контактісі профилі нүкте емес, доға тәріздес болады.



6.8-сурет – Профильді рельсті білік

Профильді рельстер жоғары дәлдікпен және түзуімен, жоғары жүктеме қабілеттілігімен, жоғары тозуға төзімділігімен, төмен керілуімен немесе оның толық болмауымен ерекшеленеді. Профильді бағыттаушылардың кемшіліктері – бекіту нүктесінің кедір-бұдырлығы мен түзуіне, сондай-ақ орнатудың күрделілігіне жоғары талаптар. Әдетте, рельстер мен вагондар әртүрлі дәрежеде алдын-ала жүктемемен және жүктеме сыйымдылығымен бірнеше нұсқаларда бар. Классикалық мысал – Нівіп және ТНК теміржол бағыттаушылары. Профиль рельстері күрделі және қымбатқа түседі, демек, рельс өндірушілер біліктер өндірушілерінен аз және олар (әдетте) олардың беделін бағалайды, профиль рельстерінің сапасы әлдеқайда тұрақты.

Аралық қорытындылар – рельстердің басты артықшылығы олардың бірнеше ұзына бойына бірнеше тірекке бекітілгендіктен, олар жүктің астына мықтап жатпайды, дірілдемейді, тіпті ұзындықтың трансферлік жүктемелерін ортаға қойып білдіреді.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Қорыта келгенде, бұл жұмыста дифференциалдық теңдеулер саны, өз тұрғысынан жалпылама координаттар жүйесіне тең және келтірілген динамикалық модельмен анықталады.

Физикалық параметрлер: масса; күш және күш моменттері; инерция күштері; серпімді буындардың, серпімді байланыстардың қатаңдығы; сырғанау үйкелісі мен тербеліс коэффициенттері. Көптеген есептер үшін бұл әдіс қолайлы. Дегенімен бұл кезде бөлшектің немесе жинақ бірліктің жүйедегі динамикалық күйін бағалау қиынға түседі.

Жетектің білікшелері мен сызықты мойынтіректері бар жүйе сызықты қозғалыстың экономикалық және сенімді әдісі болып табылады. Сандық программалық басқару (СПБ) жүйесінде фрезерлік, плазмалық кескіш, лазер және 3D принтерлер жиі пайдаланылады.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Аддитивные технологии: возможности и перспективы 3D-печати // Управление производством. – 2017. – №2. – С. 38–44 с.
- [2] Каблов Е. Новые материалы и технологии – основа технологического лидерства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://viam.ru/news/5032>.
- [3] Galenko p. K., Danilov D. A. Local nonequilibrium effect on rapid dendritic growth in a binary alloy melt // Phys. Lett. A. – 1997. – V. 235. – P. 271–280 с.
- [4] Направляющий вал: [Электронный ресурс]. URL: <http://3dp.su/Investigation-of-the-process-guide-shaft-using-rapid-prototyping-methods> .
- [5] Askarov Ye.S. Osnovy proektirovaniya .–Almaty, 2015.–№4.S.32-35
- [6] Л.М. Галантуччи, И. Боди, Ж.Качани және Ф. Лавечия, өлшемді талдау ашық 3D принтері үшін өнімділік шөгінділерді модельдеуге негізделген әдістемесі, CIRP практикасы, 28, 2015, 82-87 с .
- [7] С.Л.С. Борги және Ф. Ростиролла, 3D басып шығару графикалық дизайндағы білім беру: білім беру модельдеудегі шөгінді модельдеуді қолдану тәжірибесі (FDM) Бразилия университетінде, Bártolo et және т.б. (Ed.), жоғары құны өндірісі: Виртуалды және жылдам саладағы алдыңғы қатарлы зерттеулер Прототиптер, (CRC Press, 2014) 25-30 с.
- [8] Буджик Г. жылдам прототипті қолдану дайындау және сараптау әдісі тісті доңғалақтардың дөңгелектері. Қазіргі заманғы инженериядағы технологиялар (InTech баспагер, 2011) 339-364 с.