

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Уәлиева Сұлу Дәуітқызы

SLA/DLP 3D принтинг функциясы бар көп функциялы CNC станокты  
жаңалау

дипломдық жобасына

**ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБАСЫ**

5B071600 - Аспап жасау мамандығы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

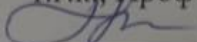
Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

РТЖАТҚ кафедра меңгерушісі

т.ғ.к., Профессор

 Қ.А. Ожикенов

« 23 » 05 2019 ж.

дипломдық жобаның

### ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБАСЫ

Тақырыбы: «SLA/DLP 3D принтинг функциясы бар көп функциялы CNC станокты жаңалау»

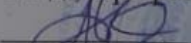
5B071600 - Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындаған

Уәлиева С.Д.

Сын пікір беруші

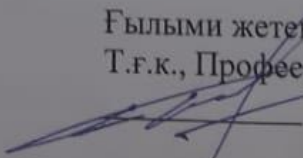
Т.ғ.д., Профессор

 Жомартов А.А.

« 23 » 05 2019 ж.

Ғылыми жетекшісі

Т.ғ.к., Профессор ассистенті

 Тулешов Е.А.

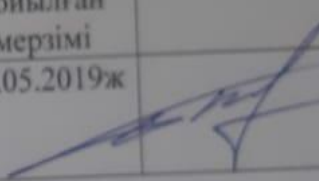
« 23 » 05 2019 ж.

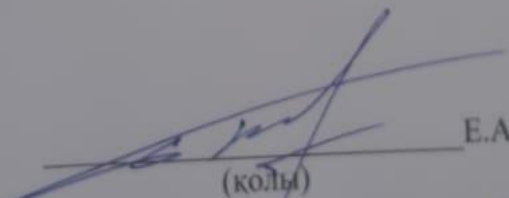
Алматы 2019

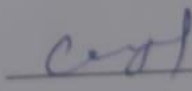
Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдер қарастырылатын сұрақтардың тізімі	атауы,	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескертулер
Негізгі бөлім		15.01 – 05.03.2019 ж.	орындаймыз
Технологиялық бөлім		06.03 – 10.04.2019ж.	орындаймыз
Құрылымдық бөлім		15.04 – 10.05.2019 ж.	орындаймыз

Аяқталған дипломдық жұмыс (жобаға) және оған қатысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының  
ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Қалып бақылаушы	Е.А.Тулешов, техника ғылымдарының профессор ассистенті	17.05.2019ж	

Ғылыми жетекшісі  Е.А.Тулешов  
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  С.Д.Уәлиева  
(қолы)

Күні « 23 » 05 2019 ж.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломном проекте был разработан портальный станок с 3D принтингом, лазерной резкой и гравированием. Была модернизирована и улучшена программная часть, которая отвечает за обработку и исполнение команд оператора. Дипломный проект состоит из нескольких частей: основная, аппаратно-конструкторской и программно-расчетной.

В основной части выполняется обзор и анализ ныне существующих видов станков и их возможности, функциональные характеристики. В характеристике был описан сам лазер и сборка и разработан образец ЧПУ станка. В аппаратной части описано принцип работы электронных модулей, микроконтроллера, и шаговых двигателей. В конструкторской-программной части выполняется сборка станка. Также, в данной части было разработана и откалибрована рабочая зона программного обеспечения для управления шаговыми двигателями шпинделей.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада 3D принтинг, лазерлі кесу және жонуы бар порталды станок әзірленді. Оператор командаларын өңдеу және орындау үшін жауап беретін бағдарламалық бөлім жаңғыртылып, жақсартылды. Дипломдық жоба бірнеше бөліктен тұрады: шолу, аппаратты конструкторлы және бағдарламалы-есептеу.

Негізгі бөлімде қазіргі бар станоктардың түрлеріне және олардың мүмкіндіктеріне, функционалдық сипаттамаларына шолу және талдау жасалады. Сипаттамада лазердің өзі сипатталған және құрастыру және СББ станоктың үлгісі әзірленді. Аппараттық бөлімде электрондық модульдердің, микроконтроллердің және қадамдық қозғалтқыштардың жұмыс принципі сипатталған. Конструкторлық-бағдарламалық бөлімде станокты құрастыру орындалады. Сондай-ақ, осы бөлікте шпиндельдердің қадамдық қозғалтқыштарын басқару үшін бағдарламалық қамтамасыз етудің Жұмыс аймағы әзірленді және калибрленді.

## **ABSTRACT**

In this diploma project was developed portal machine with 3D printing, laser cutting and engraving. Has been upgraded and improved the software part that is responsible for the management and execution of operator commands. Diploma project consists of several parts: the main, hardware design and software design.

In the main part of the review and analysis of the existing types of machines and their capabilities, functional characteristics. The characteristic was described by the laser itself and the Assembly and developed a CNC machine sample. The hardware describes the principle of operation of electronic modules, microcontroller, and stepper motors. In the design and software part of the machine Assembly is performed. Also, in this part the working area of the software for control of stepper motors of spindles has been developed and calibrated.

## Мазмұны

	Кіріспе	
1	SLA/DLP 3D принтинг функциясы бар көп функциялы CNC станокты жаңалау	10
1.1	Станоктың жұмыс аймағының параметрін анықтау	10
1.2	Станина үшін материалды таңдау	11
1.3	Станок үстелі	12
1.4	Бағыттаушы және жүру бұрандаларын таңдау	13
2	Технологиялық бөлім	16
2.1	Қосымша функция: Лазерлік гравировка және кесу, FDM және SLA/DLP 3D принтинг	16
2.2	SLA/DLP 3D лазерлік стереолитография	20
3.1	Есептеу бөлімі	25
3.2	Статикалық жүктемеге конструкцияны есептеу	27
	Қорытынды	32
	Пайдаланған әдебиеттер тізімі	33
	ҚОСЫМША А	
	ҚОСЫМША Б	
	ҚОСЫМША В	
	ҚОСЫМША Г	
	ҚОСЫМША Д	

## Кіріспе

Бүгінгі күні нарықта әртүрлі жабдықтар бар, мысалы, үстел үсті СББ фрезерлік машина, лазерлік ою және кесу, 3D принтер және үстел рельефті 3D сканер, олардың жұмыс істеу принципі, яғни бұл жабдықтардың кинематикасы жалғыз немесе бір-біріне өте ұқсас. Барлық XYZ үш осінде қозғалыс бар, SLA/DLP 3D принтерден басқа, олардың қозғалысы кадамдық Электр қозғалтқыштарымен басқарылатын электрондық блок басқару компьютердегі арнайы БҚ жасалған командалармен қамтамасыз етіледі. Бұл құрал-жабдықтарды шағын кәсіпорындармен сатып алу қымбат, сондықтан олар ең жақсы жағдайда олардың екеуі-үшеуі сатып алады, бірақ қалған құрал-жабдықтардың қажеттілігі ашық болып қала береді. Аутсорсинг бойынша тапсырыстың бөліктерін орындау табыстың бірдей бөлігін алады, бұл тапсырыстың жоғалуына әкеп соқтырады, бұл өз кезегінде Тапсырыс берушіні шетелге тапсырыс беруге немесе жалпы ойланудан бас тартуға немесе оны бүкіл идеясынан айрыла отырып жеңілуге итермелейді.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, біз алдымызға жоғарыда аталған жабдықтардың барлығын ауыстыратын, бірақ олардың барлық функцияларын сақтайтын бір көпфункционалды станок жобалау міндетін қойдық.

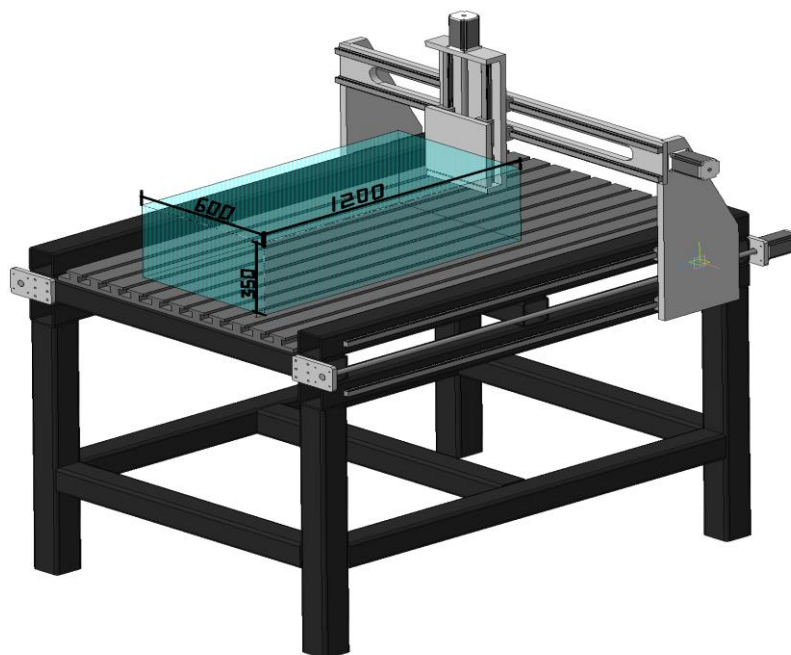


## 1.1 Станоктың жұмыс аймағының параметрін анықтау

Жобаланатын станоктың жұмыс аймағының параметрлері тапсырыстарды орындау кезінде шағын кәсіпорындардың қажеттілігін қанағаттандыруы тиіс, яғни шағын кәсіпорын келіп түсетін тапсырыстардың көлемі жартысынан көбі станоктың жұмыс аймағына орналастырылуы тиіс және жобаланатын станоктың материалдарды өңдеу мүмкіндігі болуы тиіс. Өңделетін материалдардың орташа статистикалық өлшемдері ұзындығы мен ені бойынша 500x1000 мм, ал биіктігі бойынша 200 мм аспайды. Станоктың жұмыс аймағы осы мәндерге тең немесе одан көп болуы керек.

Енді жұмыс аймағының көлемін анықтаймыз. Фрезерлеу және гравировка негізгі функциясынан бастайық. Біз көтерме арқалықтары жоқ шағын кәсіпорындарға бағытталғандықтан, материалдың салмағы екі, төрт адам бір метр биіктікке көтере алмайтын салмақтан аспауы тиіс. Егер осы станокта өңделетін алюминийден ең ауыр алатын болсақ, онда алюминий табағы 1000x500x50 мм шамамен 70 кг салмақ құрайды.

Сондықтан базалық станок үшін жұмыс аймағының өлшемі ені мен ұзындығы 600x1200 мм болуы керек.



1.1 сурет – Станоктың жұмыс аймағы

Егер Prusa i3 және Vox конструкциясымен 3D принтерлер үшін Z осі бойынша орташа статистикалық 3D принтерлері 200-250 мм және Дельта конструкциясының 3D принтерлері үшін 300-350 мм екенін ескерсек, онда біз тағы 50 мм қоры бар 350 мм таңдап аламыз. Өйткені, түсінікті себептер

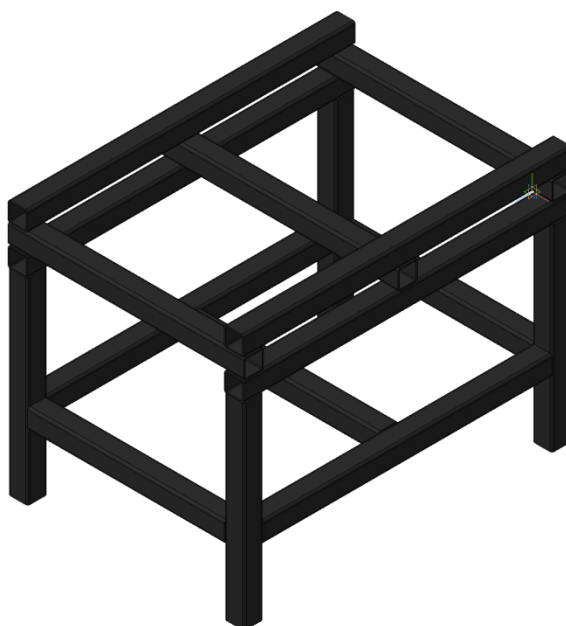
бойынша біз 350 мм-ден кем жасай алмаймыз, бірақ оны үлкейте алмаймыз, өйткені фрезерлеу режимінде шпинделдің және тиісті кескіш құралдың қажетті қаттылығы мен тұрақтылығына сәйкес болу мүмкіндігі жоқ.

## 1.2 Станина үшін материалды таңдау

Станина материалын станоктың алюминийлі профильдерден, болат шаршы құбырлардан немесе шойыннан құюға болады. Соңғы нұсқасы бірден жойылды, өйткені мұндай бюджеттік станоктар үшін құйылған шойын станина өте қымбат болады, сонымен қатар шойынды қайтадан өңдеу өте қиын және өте қымбат.

Алюминий профильдерін тегін немесе арзан алуға мүмкіндік жоқ. Оны Ресейге немесе Қытайға тапсырыс беру керек, өйткені біздің елде станоктың алюминий профильдер өндірісі үлкен сұранысқа ие емес, бұл бойынша жеткізушілердің қолма-қол ақшасы болмай, тапсырыс беруге және күтуге тура келеді. Бірақ біз станоктың алюминий профильдерден бас тартпаймыз.

Тәжірибелі үлгі үшін станина материалы МЕМСТ 8639-82 өлшемдері 120x120 мм және қалыңдығы 9 мм болат шаршы құбырларын таңдадық. 1.2 суретте жобаланған станоктың қабырғасы көрсетілген.

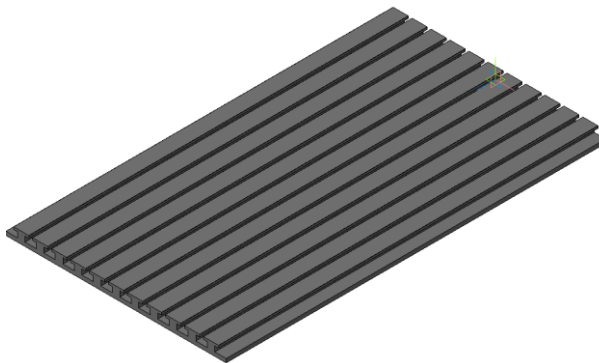


1.2 сурет – Станок станинасы

Станок станинасының салмақ түсетін сипаттамалары дәнекерленген тігістердің сапасына байланысты болмауы үшін, ол негізгі салмақ түсетін арқалықтар аяқтарға толық түйіспеге тіреледі де жүктеме станок аяқтарына дәнекерленген тігістер арқылы жасалмаған, ал ол аяқтарға тірелетін Арқалықтың денесінің тікелей бөлігіне беріледі деп жобаланған. Қалған демеуші құбырлар түйіспеге дәнекерленеді.

### 1.3 Станок үстелі

Станок үстеліне арналған материал шойын таңдалды. Өйткені шойын деформациялар мен таңдауларға тұрақты және қатты. 1.3 суретте станоктың жобаланған шойын үстелі көрсетілген.



а)



б)

1.3 сурет – Станок үстелі, а - станок үстелі тұтас бір бөлшек ретінде, б - үстел станоктың станинасының үстінде

Үстел ұзындығы бойында құрғақ ағаштың көмегімен болаттағы дайындаманы бекіту үшін аударылған Т бейнелі тесік паз болады, сондай-ақ лазерлік кесудің алмалы-салмалы үстелдерін және FDM 3D принтингті бекіту үшін пайдаланылады.

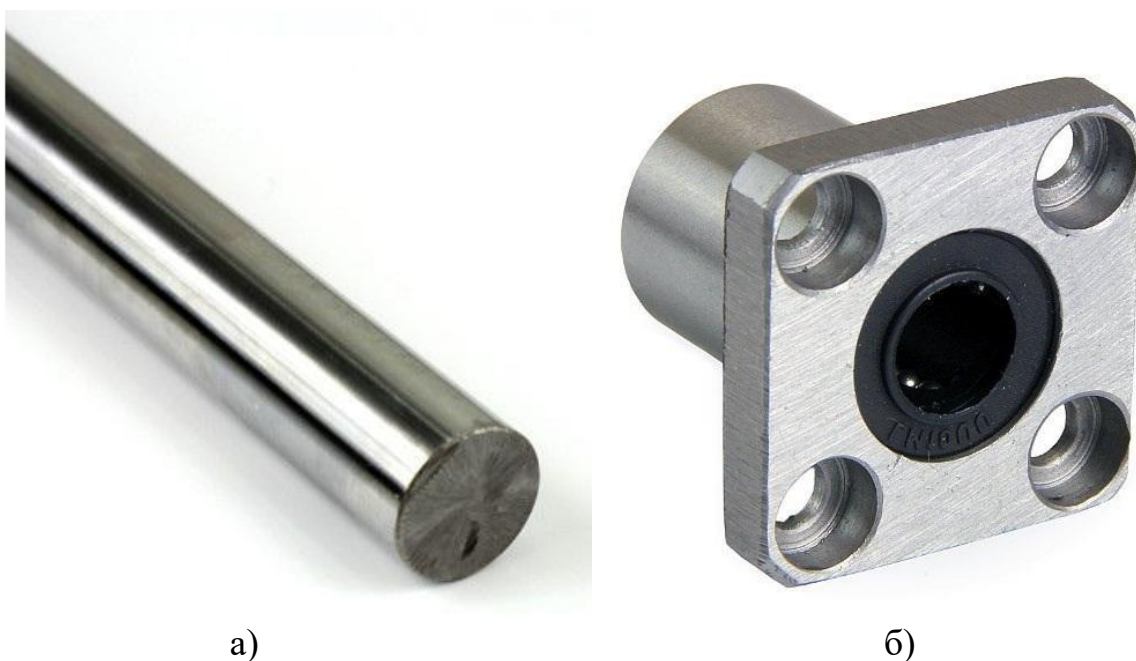
Үстел шойын табақтан дайындалады немесе арнайы құйылады, содан кейін фрезерлік станокта шеткі фрезамен бір жағынан бастап фрезерленеді, келесі жағы қайта салынады және фрезерленеді. Содан кейін бүйірлік

фрезерленеді және аралас дискілік фрезамен Т тәрізді пазалар фрезерленеді. Мұндай операциялар қиын емес және біздің машина жасау зауыттарында жасауға болады.

#### 1.4 Бағыттаушы және жүру бұрандаларын таңдау

Бүгінгі күні СББ станоктарын өндірушілер Жабдықты құрастыру кезінде әртүрлі бағыттаушы түрлерін қолданады. Олардың көп бөлігі автоматтандырылған өнеркәсіптік техниканы жобалау бойынша жұмысты жеңілдетеді. Төменде бүкіл әлем бойынша машина жасаушылар белсенді қолданатын бағыттаушылардың негізгі түрлері туралы ақпарат берілген.

Жылтыратылған біліктер; Көптеген жағдайларда дайындау материалы жоғары қоспаланған болат, негізінен конструкциялық подшипниктер болып табылады. Дайындау барысында жылтыратылған біліктер индукциялық әдіспен шыңдалады. Осыған байланысты жоғары тозуға төзімділігі және бағыттаушылардың ұзақ ресурсы, сондай-ақ тіпті кернеулі режимдерде де олардың тоқтаусыз жұмысы қамтамасыз етіледі. Дайындау процесінің соңында біліктер тегістеледі және жылтыратады, тек мінсіз тегіс бетті алады. Бұл үйкеліс күшін азайтуды қамтамасыз етеді және станоктың компоненттері осы бағыттаушы бойынша іс жүзінде кедергісіз қозғалады. 1.4 суретте жылтыратылған білік және оған шарикті төлке көрсетілген.

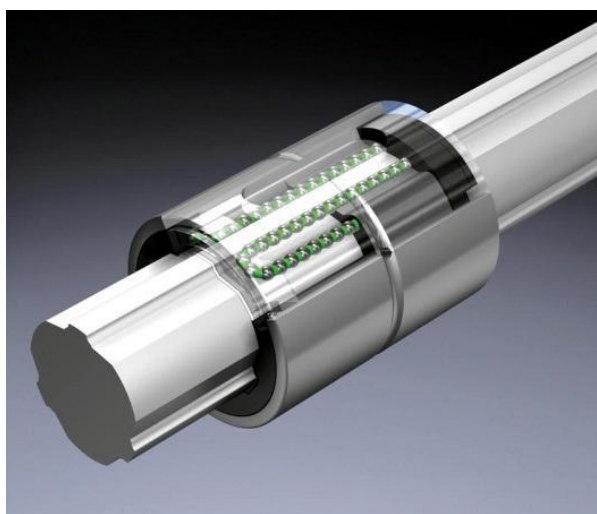


1.4 сурет – Цилиндрлік бағыттаушы: а - жылтырлатылған білік, б - шарикті төлке.

Біліктер 2 нүктеде - ұшында бекітіледі. Осының арқасында олардың монтажи қарапайым және интуитивті түсінікті. Алайда жылтыратылған біліктерге мыналар кіретін кемшіліктер мен кемшіліктер тән.

- білік станинада бекітілмейді;
- үлкен ұзындық білігі салмайды-осы әсерге байланысты станоктарда ұзындығы 1 метрден асатын біліктер пайдаланылмайды.

Шлицті білік (Ball spline): мұндай біліктің бетінде төлкенің шарлары домалайтын арнайы жолдар орналасады. Қарапайым бағыттағыштармен салыстырғанда олар жоғары тозуға төзімді және қатандыққа ие. Сонымен қатар, олар төлкеден крутящие жүктемелерін қабылдай алады. Біліктерді монтаждау қарапайымдылығының, бейінді рельстердің тозуға төзімділігінің және тартқышты құру мүмкіндігінің арқасында осы біліктер бағыттауыштарды тек соңғы учаскелерде монтаждау қажет болған жағдайларда белсенді қолданылады. Алайда, жылтыратылған біліктермен салыстырғанда олардың едәуір жоғары бағасы оларды қарапайым станокты жабдықты құрастыру үшін аз қолжетімді етеді.



1.5 сурет – Бағыттаушы шлицті білігі

Тіректегі білік.

Цилиндрлік рельстер деп аталатын тіректердегі сызықтық біліктер ұзындығы бойынша бағытталаатын қолдауды қамтамасыз етуге арналған. Бұл біліктерді пайдалану қозғалып келе жатқан кареткадан немесе өз салмағының астында ұзын бағыттаушы майысуын болдырмауға мүмкіндік береді.

Цилиндрлік рельстер тікелей станокта бекітіледі. Станинаға бағыттаушы бекітудің ыңғайлылығы мен сенімділігі тіректегі бұрандалы саңылаулармен қамтамасыз етеді.



### 1.6 Сурет – Тіректегі цилиндрлік білік

Жалпы цилиндрлік рельстердің кемшіліктері жылтыратылған біліктері. Бұл, ең алдымен, төлкелер мен шағын ресурстар. Алайда, жылтыратылған біліктерге қарағанда цилиндрлік рельстер үлкен ұзындыққа иілмейді, яғни, анағұрлым жоғары жүк көтергіштігі бар.

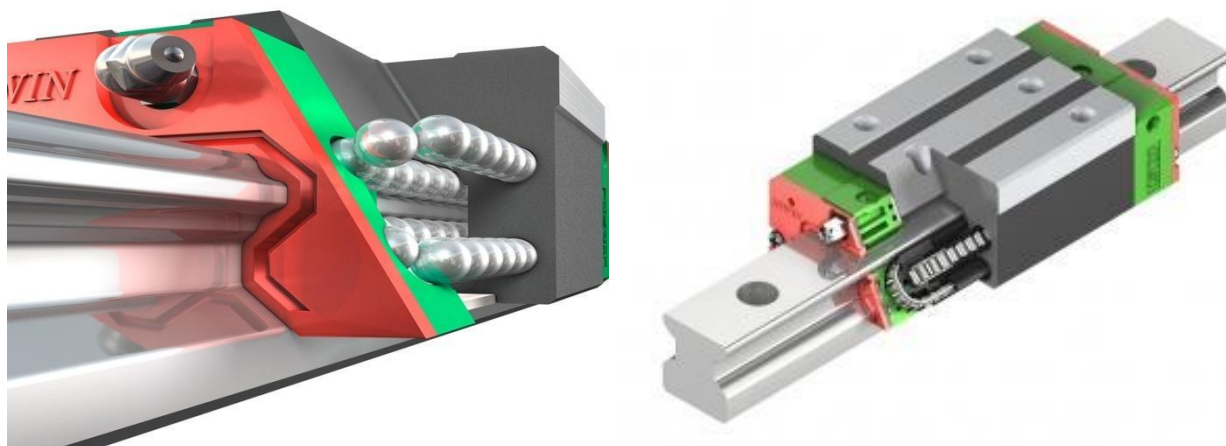
Шарикті профильдік рельстер: профильдік рельстер бағыттаушы ретінде жоғары дәлдікті қамтамасыз ету қажет болған жағдайларда қолданылады. Цилиндрлік рельстер сияқты, профильдер тікелей станинада құрастырылады. Профильдік рельстік бағыттаушылардың бетінде арнайы тербелу жолдары орналасады. Олардың болуына байланысты тербелу жолдарының жұмыс беті бойынша кареткаға жүктемені бөлудің біркелкілігі артады. Бұл жағдайда доп-рельс жанасу профилі жалғыз нүкте емес, доға болып табылады.

Профильді рельсті бағыттағышқа жоғары дәлдік пен түзу сызықты тән. Сонымен қатар, олардың жүк көтергіштігі мен тозуға төзімділігі жоғары. Профильді рельстер де люфттердің болмауымен немесе олардың аз мәндерімен ерекшеленеді. Бейінді рельстердің кемшіліктері қатарына бекіту орнын өңдеу сапасына қойылатын жоғары талаптарды жатқызуға болады (тік сызықты және кедір-бұдырлықты). Және оларды орнату қиын.

Көптеген жағдайларда кареткалар мен рельстер әртүрлі нұскаларда шығарылады – алдын ала тартылу мен жүк көтергіштіктің бірнеше мәндерімен. Классикалық мысал-ТНК және Hiwin брендтерінің Профильді рельстері. Профильді рельсті бағыттауыштарды өндіру күрделі және шығынды болып табылады. Сондықтан рельстерді шығару біліктерді өндіру кезіндегі сияқты өндірушілердің көп санын жүзеге асырмайды. Бұл салада, негізінен, беделді компаниялар жұмыс істейді. Жоғары жауапкершілік профилді рельсті бағыттаушылардың тұрақты сапасын анықтайды.

Роликті профильдік рельстер: роликті рельсті бағыттағыштар профильдік рельстердің асты болып табылады. Олардың ерекшелігі-тербелу жолдары тегіс, ал тірек модульдерінде шариктердің орнына роликтер қолданылған. Бұл шешім

бағыттаушылардың қаттылығын арттыруға мүмкіндік берді. Сондай-ақ жүк көтергіштіктің ресурсы мен көрсеткіштері де өсті.



а)

б)

1.7 сурет – Профильді рельсті бағыттаушы:  
а-шарикті бейінді (профиль) рельстер, б-роликті бейінді рельстер

Роликті рельстер жоғары жүктеме жағдайында жұмыс істейтін металл өңдеу жабдықтарында қолданылады, мысалы тас пен қара металл илектеу, оның ішінде болат дайындамалар өңделетін фрезерлік станоктар. Бағыттаушы деректерді пайдалану станоктардың жоғары өнімділігі кезінде металл өңдеудің талап етілетін сапасын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Олар сыналатын станоктың талаптарына Польшамен сәйкес болғандықтан роликті рельсті бағыттаушы таңдап алынды.

2.1 Қосымша функция: Лазерлік гравировка және кесу, FDM және SLA/DLP 3D принтинг.

Лазерлік гравировка және кесу. Заманауи технологиялар мен техникалық құралдар жөндеу шеберлерінің, құрылысшылар мен интерьер дизайнерлерінің жұмысы әлдеқайда ыңғайлы және ыңғайлы етеді. Материалды лазерлік кесу бүгінгі күні материалдарды өңдеу үшін қолданылатын озық технологиямен негізделген. Оны қолдану шектелмеген, бұрын көрінбеген, әртүрлі конфигурациялы және дизайн материалынан бұйымдар жасауға мүмкіндік береді.

Лазерлік кесу процедурасы. Материалды лазерлік кесу-ең прогрессивті және перспективалы әдістеме, оның арқасында жоғары сапалы элементтер жасалады, бірақ салыстырмалы түрде жас технология болып табылады. Техникалық фокусталған қуатты лазерлердің көмегімен процедура жүзеге асырылады, олар сәуленің жоғары концентрациясымен сипатталады және кез келген материалдарды – ағаштан материалға дейін кесуге қабілетті.

Бұл ретте материалдың бетінде энергияның жұтылуын арттыратын және балку нүктесіне дейін температураны тудыратын тотықтар қалыптасады. Байланыс орнында лазер сәулесі жоғары температураны жасайды, нәтижесінде материал балқиды, ал байланыс аймағының шетінде тек қызады. Сонымен қатар белсенді газ, көбінесе оттегі беріледі, бұл жану өнімдерін шығарады және кесу жылдамдығын арттырады.

Лазерлердің түрлері: қатты жанатын лазер, белсенді орта, қатты күйдегі зат пайдаланылатын лазер.

Қатты лазердің түрлері талшықты лазер және жартылай өткізгіш лазер. Қатты отынға Белсенді орта ретінде сирек жер элементтерімен белсендірілген түрлі шынылар мен кристалдар пайдаланылатын лазерлер жатады. Ең бірінші қатты лазер рубинадағы сәулелендіргіш болды, газ разрядты шаммен соғылды.

Талшықты лазер, белсенді орта және мүмкін, резонаторы оптикалық талшықтың элементтері болып табылады. Талшықты лазерлер материалдарды кесу және өнімді таңбалау, материалдарды дәнекерлеу және микро өңдеу үшін өнеркәсіпте, талшықты-оптикалық байланыс желілерінде қолданылады. Олардың негізгі артықшылықтары жоғары оптикалық сәуле шығару сапасы, шағын габариттер және талшықты желілерге қосылу мүмкіндігі болып табылады.

Талшықты лазерлер конструкцияларының үлкен әртүрлілігі бар, оларды қолдану ерекшелігіне байланысты. Оларды дайындау үшін Фабри — Перо түріндегі резонаторлар да, сақиналы резонаторлар да кеңінен қолданылады. Арнайы әдістемелермен бір поляризациялық лазерлер, аса дәлдікті импульстер лазерлері және т.б. жасауға болады. Барлық талшықты лазерлерде оптикалық қотаруды жүзеге асыру үшін бір немесе бірнеше толқынжолдар орнатылған оптикалық талшықтардың арнайы түрлері қолданылады.

Көмірқышқыл лазері (CO<sub>2</sub> лазер) — газ лазерлерінің алғашқы түрлерінің бірі (1964 жылы ойлап шығарылған). 21 ғасырдың басындағы үздіксіз сәулеленуі бар ең қуатты лазерлер. Олардың пәк 20% - ға жетуі мүмкін. Резеңке мен пластиктерді ою, шыны мен материалдарды кесу, материалдарды дәнекерлеу үшін, алюминий мен жез сияқты өте жоғары жылу өткізгіштігімен қоса пайдаланылады.

Көмірқышқыл лазерлері 9.4 - 10.6 мкм толқын ұзындығы бар инфрақызыл диапазонда сәуле шығарады.

CO<sub>2</sub> лазер құрылғысы. Көмірқышқыл лазерлерінің белсенді ортасы- CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He газ тәрізді қоспасы. Кейде H<sub>2</sub> немесе Xe қосылады. Нақты арақатынас іске асыруға байланысты, бірақ CO<sub>2</sub> және N<sub>2</sub> әдетте 5-20% құрайды. Халықтың инверсиясына газ разрядының көмегімен қол жеткізіледі, алдымен азот молекулаларындағы діріл қозғалады, содан кейін соқтығысу арқылы энергияның бір бөлігі CO<sub>2</sub> молекулаларына беріледі. Белсенді ортада газды одан әрі салқындату гелиймен жүргізіледі, ал белсенді Орта жасалған түтікше газбен немесе сумен (қуатты лазерлерде) салқындатылады.

CO<sub>2</sub> лазерлер ІС-сәулеленуін жасайды, олар үшін арнайы материалдар қолданылады. Айналар күміс жабынды пайдаланады, ал линзалар мен терезелер



германия немесе мырыш селенидінен жасалады. Күшті лазерлер үшін мөлдір элементтер үшін алтын жалатылған айналар және мырыш селениді қолайлы. Кейде қымбат алмас айнектері мен линзаларды пайдаланады. Бірінші CO<sub>2</sub> лазерлер тұздардан жасалған оптиканы (NaCl, KCl) пайдалана алады.

Бұл процесс материал тереңдікке кесілмегенше орын алады. Оттегі ағысы тілік сызығының жанында материалды белсенді салқындатуға қабілетті. Термиялық әсердің шағын аймағы аз қашықтықта - шамамен 0,2 миллиметрге дейін параллель жиектерді жасау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Жиі кесу операциясының қажетті дәлдігіне қол жеткізу үшін жұмыс процесі компьютер арқылы басқарылады, оның есебінен кез келген өнімді бағдарламалауға болады.

Негізінен табақ материалын лазерлік кесу үшін газды және қатты жанатын лазерлер негізіндегі аппараттарды пайдаланады. Материалдың лазерлік кесігі механикалық кесіндіде болатын деформацияларсыз мінсіз тегіс болады. Сонымен қатар лазерлік кесу технологиясы жұмыстың айтарлықтай дәлдігіне, ең аз қалдықтарға және жылдам орындауға қол жеткізуге мүмкіндік береді.



2.1 сурет – Лазерлік кесу процесі.

Лазерлік кесу артықшылықтары: Лазерлік кесу әдісі - нарықта ең сұранысқа ие. Дәл осы рәсім қатты балқитын материалдармен жұмыс істеуді жеңілдетеді, олар өте күрделі және өңдеуден кейін жиі сапасының нашарлауына алып келеді. Лазерлік кесу үшін түсті материалдар, болат және алюминий қорытпалары қолайлы.

Лазерлік кескішті орнату қалың табақтарды, қалың қорытпалардан жасалған материалдарды және бөлшектердің күрделі формаларының бөлшектерін өңдеуді жеңілдетеді, сондай-ақ кіші диаметрлі аса қатты

материалдардағы тесіктерді қиып алады. Бұйымның геометриясы тек қана қиялмен шектелген. Екінші жағынан, байланыссыз лазерлік кесу технологиясы ерекшелігіне байланысты нәзік және жұқа материалдарды кесуге болады. Жүйенің жұмыс істеуін автоматтандыру үшін компьютер үшін файлды дайындау қажет. Бұл ретте материалға механикалық әсер етілмегендіктен, материалдық бұйымдар одан әрі механикалық өңдеуді қажет етпейді.

Материалды лазерлік кесудің тағы бір артықшылығы-парақты материалды бағдарламалық пішудің арқасында өнімнің аз партиясын шығаруға шығындарды азайту мүмкіндігі бар, себебі құю формаларын дайындау қажеттілігі жоқ. Жұмыс құралдарын Қарапайым Басқару көлемді және жазық бөлшектерде контурларды қиып алуға мүмкіндік береді. Егер материалды өз қолдарымен плазмалық кесуді салыстырсақ, онда бүгін бірінші нұсқаға артықшылық беріледі, себебі материалды лазерлік кесу әлдеқайда арзанырақ болады.



2.2 сурет – Материалды лазерлік кесу үлгісі.

Лазерлік кесу пайдалану: Материалды лазерлік кесу процедурасы тек кесу үшін ғана емес, сонымен қатар түрлі бұйымдарды нақыштау үшін де қолданылуы мүмкін. Лазерлік кесу ұсақ сериялы өндіріс үшін де арналған. Ол үшін лазердің жоғары емес қуатымен және шағын өлшемдермен сипатталатын жабдықты пайдалану керек.

Егер де бөлшектер сериясын шығару міндеті болса, лазерді, координат үстелін және векторлық графиканы қолдау үшін арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету бар компьютерді қамтитын неғұрлым қуатты құрылғы - лазерлік жүйемен жұмыс істеу керек.

Мұндай жабдықта ең аз қателіктермен (0,001 миллиметр) өте күрделі технологиялық процестерді жүзеге асыруға болады, мысалы, көлемді бөлшектерді лазерлік кесу және күрделі контур бойынша кесу.

Осыған ұқсас технологияны пайдалана отырып, материалдарды - конструкциялық және тот баспайтын болат, алюминий, ағаш және тіпті пластик

етіп бояйды. Жұмыстар материалды лазерлік кесудің қолайлы бағасы мен мінсіз сапасымен қысқа уақыт аралығында жүргізіледі. Лазерлік кесу күрделі контурлары бар бөлшектерді жасауға, әртүрлі логотиптер, маңдайшалар, кәдесыйлар және декор элементтері сияқты бұйымдарды шығаруға мүмкіндік береді.

Лазерлік кесу машинасы: Лазерлік кесу жабдығы жеткілікті стандартты. Станок жұмыс үстелінен және лазердің кескіш бастиегінен тұрады, ол оның жазықтығында қозғалады. Лазерлік бастиектің жылжу процесі бөлшектің нақты контурын алу үшін перпендикуляр бағыттаушы бойынша жоғары дәлдікті жетектермен қамтамасыз етіледі.

Материалды лазерлік кесу аппараты тотықсыз кесу үшін кесетін оптикамен жабдықталған. Оптикалық фокус жүйесі өңдеу контурын дәл және айқын алуға көмектеседі берілген фокус жағдайын қолдауға көмектеседі. Арнайы компьютерлік пішу бағдарламасы арқылы кескіш бастың қозғалысын басқарады.

Бағдарлама көмегімен ағымдағы және кейінгі операцияларды жасау кезектілігін береді. Бұл бағдарлама кесу тереңдігіне байланысты сәулелену күшін реттейді, сондықтан әртүрлі техника үшін ең күрделі сәндік элементтер мен бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді. Парақты материалды автоматты түрде пішу үшін кескіш қондырғының компьютеріне көшірілген сурет файлының болуы қажет.

Лазерлік жабдықтың жұмысы үшін электр энергиясының аздаған шығындарды талап етіледі, ал кесудің жоғары жылдамдығы мен шығын компоненттерінің болмауы тиімді жұмыс процесіне жағдай жасайды. Станоктың өнімділігін жұмыс процесінде реттелетін сәуле шығару қуатын арттыру арқылы арттыруға болады. Арнайы станоктың көмегімен материалды лазерлік кесу құны табақтың қалыңдығы мен кесу сызығының ұзындығына байланысты.

## 2.2 SLA/DLP 3D лазерлік стереолитография

Фотополимерлі баспаның және жалпы заманауи 3D-баспаның тұңғышы. Технология 1984 жылы 3D Systems компаниясының негізін қалаған Чарльз Холлмен әзірленген.



2.3 сурет – SLA баспа көмегімен алынған модель

SLA-принтерлер лазерлік сәулелендіргіштерді шығын фотополимерлік материалды қатайту үшін пайдаланады. Типтік SLA-принтер көтеру-түсіру механизмімен тік қозғалысқа келтірілетін жұмыс платформасының астында отырған шығыс материалдары бар кюветтерден тұрады.

Опция ретінде, қозғалысқа кюветтің өзі келтірілуі мүмкін-платформа мен контейнердің салыстырмалы жылжуы ғана маңызды. Кюветтің үстінде лазерлік сәуле шығарғыш және лазерлік сәуленің ауытқуының айналы жүйесі орналасқан.

Басып шығару процесінде платформа сандық модельдің бір қабатының қалыңдығына Шығыс материалына батырылады. Фотополимерлі шайырлар қалың болуы мүмкін, процесті жылдамдату үшін жиі тегістеуші механизм қолданылады.

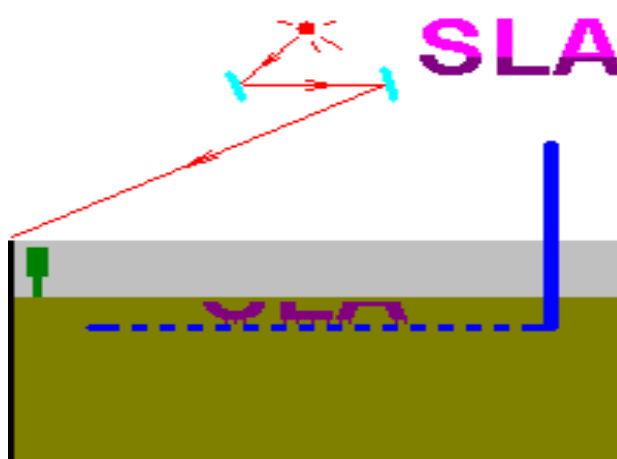
Тегістеуден кейін материалды жарықтандыру процесі басталады. Жарықтандыру лазерлік сәулемен жүргізіледі. Ең фотополимерлі шайырлар ультракүлгін жарық әсерімен қатуға (полимерлеуге) арналған, ол лазерлік сәулелену жиілігін таңдауды анықтайды. Сәуленің X және Y осьтері бойынша қозғалысы ауытқитын айналардың жұмысымен анықталады. Қабатты сызуды аяқтағаннан кейін платформа материалға тағы бір қабаттың қалыңдығына батырылады және процесс сандық үлгінің келесі қабатын сызумен қайталады.



2.4 сурет – SLA принтердің жұмыс схемасы

SLA-басып шығару жеткілікті ұзақ уақыт алады және осы әдісті пайдаланатын принтерлер, әдетте, салыстырмалы түрде шағын құрылыс салалары бар.

Бұл негізінен қымбат лазерлік сәуле шығарғыштармен түсіндіріледі: үлкен объектілерді бір лазермен басып шығару тым көп уақытты алады, ал қосымша сәуле шығарғыштар мен айналандыру орнату конструкцияны күрделендіреді, орнату габариттерін арттырады және көпшілік пайдаланушылар үшін қолайсыз деңгейге дейін бағаны көтереді.



2.5 сурет– Үлгіні құру процесінің үлгісі

Бұл технологияның жетістігіне қарамастан, анағұрлым перспективалы әдіс болып жобалық стереолитография саналады.

Жобалық стереолитография (DLP): Лазерлік стереолитографияның жақын туысы, бұл әдіс айналы ауытқу жүйелері бар лазерлік қондырғылардың орнына

сандық жарықдиодты проекторларды пайдаланады. Әдіс Texas Instruments компаниясының күшімен жоғары рұқсат етілген арзан сандық проекторларды өндіру технологиясын дамыту арқылы танымал болды.

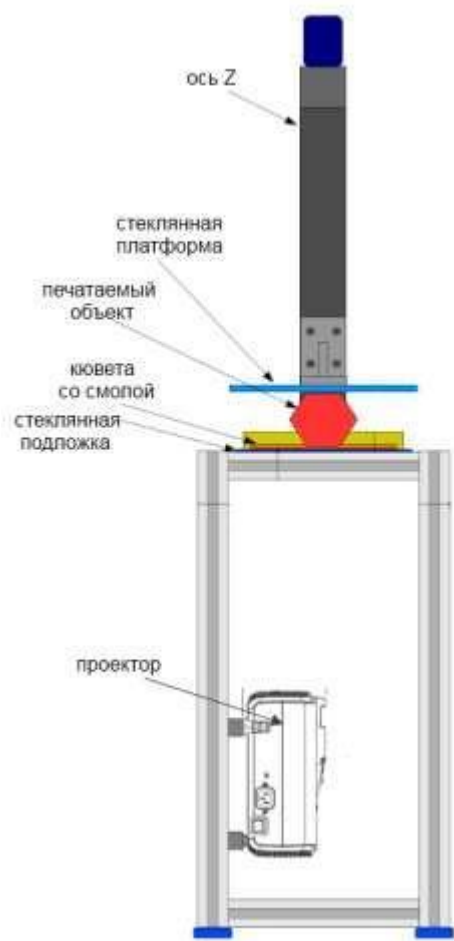
Қабаттарды жарықтандыру бүтін қабаттың шаблондарын бейнелейтін сандық проектордың көмегімен жүргізіледі, бұл әдіс SLA-дан ерекшеленеді, мұнда "сурет" ультракүлгін лазердің көмегімен үдемелі түсіріледі.

Мұндай тәсіл бұрын SGC типті қондырғыларда пайдаланылды, бірақ бұл технологияда физикалық фотошаблондар қолданылды, бұл процесс қымбат тұратын, еңбек сыйымды, баяу және шулы болды.

Қазіргі уақытта DLP – басып шығарудан іс жүзінде ажырамайтын FTI-SGC дамыту технологиясы бар, себебі онда да сандық жарықдиодты проекторлар қолданылады.

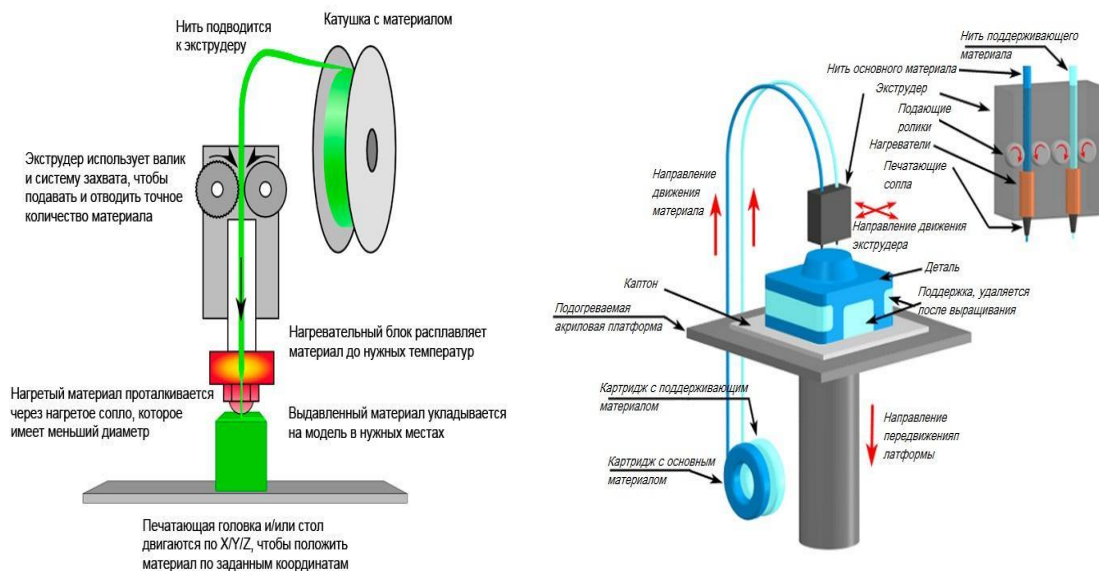
Проекторлардың көмегімен тұтас қабаттың бір мезгілде жарығы сканерлеу жылдамдығы жоғары SLA-принтерлермен салыстырғанда басып шығару процесін айтарлықтай жылдамдатуға мүмкіндік береді (яғни, сәуле орнын ауыстыру). Сонымен қатар, мұндай принтерлер нәзік айналы жүйелердің болмауына байланысты қатты физикалық әсерге сезімтал емес. Механикалық айналы жүйелердің болмауы дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Ақырында, проекторлардың құны оларды лазерлік жүйелерден тиімді ажыратады. Проекция көлемі танымал FDM принтерлерінің орташа статистикалық көрсеткіштеріне жету өте маңызды болуы мүмкін.

DLP-принтерлердің қызықты ерекшелігі - "кері" немесе "төңкерілген басып шығару" мүмкіндігі. Бұл жағдайда проектор мөлдір (ультракүлгін жарыққа қатысты мөлдірлік үшін материалды таңдау маңызды) кюветпен орнатылады, ал платформа материалға батырылмайды, ал бірте-бірте жарылған полимердің қабаттарын соза отырып көтеріледі. Мұндай тәсіл тегістейтін механизмнен құтылуға және SLA-принтерлерге қарағанда Z осі бойынша анағұрлым жоғары рұқсатқа қол жеткізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, биіктігі бойынша модельдер көлемі кюветтің тереңдігімен шектелмейді, бұл принтердің габариттеріне және құрылыс аймағын ұлғайту мүмкіндігіне қолайлы әсер етеді.



2.6 сурет– DLP-принтердің құрылымы

FDM технологиясы (Fused Deposition Modeling) – жіптің қабат балку технологиясы. Бүгінде 3D-басып шығарудың бұл жолы ең кең тараған болып саналады, сонымен қатар ол ең ескі әдістердің бірі. Принцип модельдің контуры бойынша пластик жіптерін қабаттап балқытудан тұрады. Баспа үшін катушкалар немесе шыбықтар түрінде жеткізілетін термопластиктер қолданылады. Көбінесе Pla және ABS пластиктерімен басып шығарылады, оның ішінде нейлон, полиамид, поликарбонат, PET (ол пластикалық бөтелкелерді жасау үшін пайдаланылатын полиэтилентерефталат) және басқа да кейбір заттар.



2.7 сурет – 3D принтинг жұмыс істеу принципі: а) бір материалмен басып шығару; б) 2 материалмен басып шығару: 1-ші негізгі және 2-ші қолдау материалы.

Жұмыс істеу принципі мынада:

- материал жіп экструдерге салынады, онда ол қыздыру элементінің әсерінен балқиды, содан кейін жұмыс бетіне шүмек арқылы сығылады;
- экструдер бағдарламалық қамтамасыз ету берілген траектория бойынша қозғалады және қабаттың артында объект салады;
- егер күрделі затты басып шығару қажет болса, онда материалдың екі түрі қолданылуы мүмкін: біреуі – модель үшін, екіншісі – тіректерді жасау үшін (ол, әдетте, еритін немесе объектіден өте оңай еритін). Егер объект ауада ілініп тұрған элементтерге ие болса, тіректерді басып шығару қажет, оларды қолдаушы элементтерсіз жасау мүмкін емес-принтерге басып шығаруға болмайды. Төменде суреттерде барлығы анық ұсынылған;
- бірінші қабатты қалыптастырғаннан кейін платформа бір қабаттың қалыңдығына төмен түсіріледі, ал экструдер материалдың жаңа бөлігін қысады, процесс бірнеше рет қайталанатын;
- басып шығарғаннан кейін көмекші элементтерді бөлу қалады.

### 3.1 Есептеу бөлімі

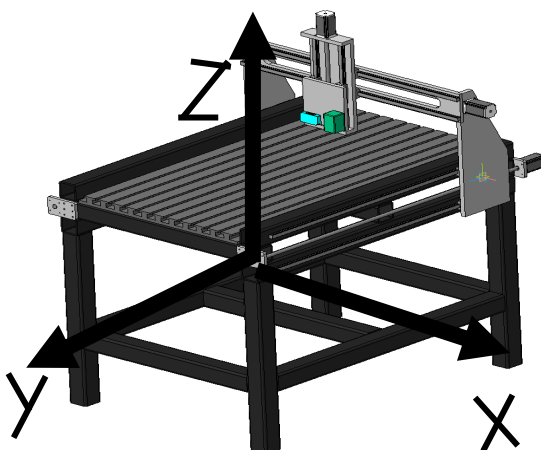
Үш өлшемде жұмыс – бағыттаушылардың жұмыс принципі.

3D принтерлерінің ең күрделі бөлігі-жылжымалы элементтер. Бірнеше қадамды қозғалтқыштарды орнату, оларды қоректендіруге қосу және экструдер қозғауға

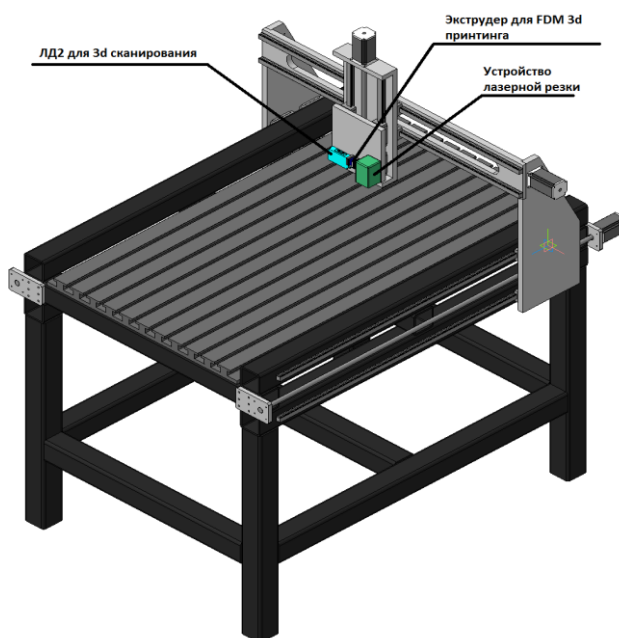


мәжбүрлеу жеткіліксіз. Оларды дұрыс жұмыс істеуге және материалды беруге жауап беретін басын дәл қоюға үйрету керек.

Толық, көлемді нысандарды жасау үшін принтер үш бағыттаушы бойынша жұмыс істеуі тиіс: биіктігі, ені және ұзындығы. Яғни, тетіктер объектіні құру кезінде XYZ осьтері бойынша өңделуі мүмкін болатындай етіп басып шығаруды ұйымдастыруы тиіс. Мұндай әсер мүмкін қол жеткізілуі кезінде қозғалыстар баспа бастары, платформалар, не үйлестіре осы екі тәсілдері.



3.1 сурет – 3D принтинг функциясы үшін 3 координатты қамтамасыз ету.



3.2 сурет – Z осінің платформасында FDM 3D принтинг Экструдер

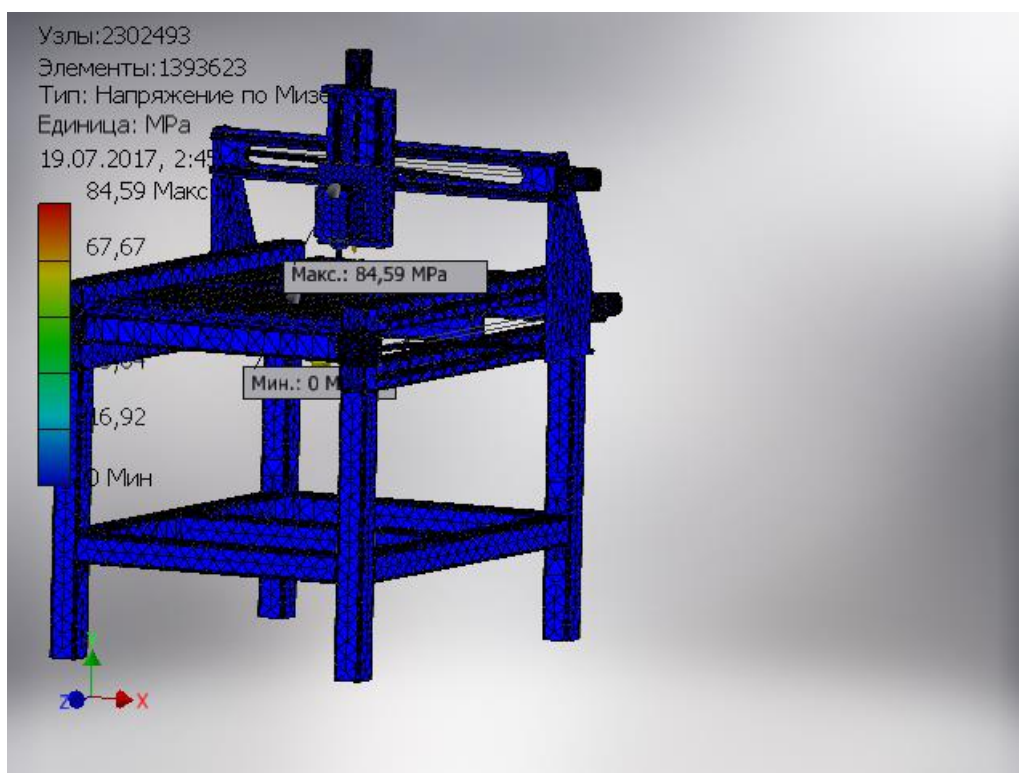
Әрбір 3D принтер ұқсас жолмен салынған, ал барлық үш ось сызықты. Олар бір-біріне тікелей бұрышта орналасқан және басып шығару процесінде өз

жағдайын өзгертпейді. Осьтердің бойымен қозғалу үшін тісті белдіктер, шкивтер, өзектер, моторлар және т.б. қолданылады.

Қозғалтқыштар салыстырмалы түрде аз мөлшерге ие болса да, олар миллиметрге дейінгі дәлдікпен басын немесе баспа платформасын бағыттау үшін жеткілікті қуатқа ие. 3D принтерде өте қымбат қозғалтқыштар қолданылады, өйткені төмен баға санатындағы механизмдер қажетті дәлдікті қамтамасыз етпейді. Сонымен қатар, арзан қозғалтқыштар үнемі жетілдірілетініне қарамастан, көптеген шу шығарады.

### 3.2 Статикалық жүктемеге конструкцияны есептеу

Ажыратылатын станоктың конструкциясы Autodesk Inventor жүйелеріндегі CAD/CAE статикалық жүктемелерге есептелген. Жүктеме ретінде станоктың үстелінде орналасқан өз салмағы мен ең үлкен салмағы таңдалды. Станоктың статикалық жүктемемен иллюстрациясы.



3.2 сурет – Статикалық жүктеме астындағы станоктың конструкциясы

Статикалық талдаудың нәтижелері осы сыналатын станок мықты, қатты және тұрақты, сондай-ақ жеткілікті ресурс пен беріктік қоры бар екенін көрсетеді.

Кернеуді талдау бойынша есеп:

Кесте 3.1 – Жалпы мәліметтер

Талданатын файл:	Құрастыру станина2 step203.iam
------------------	--------------------------------

Autodesk Inventor Нұсқасы:	2018
Құрылған күні:	19.04.2019
Модельдеудің авторы:	Уәлиева Сұлу
Мәлімет:	

### Кесте 3.2 – Физикалық параметрлері

Массасы	237,932 кг
Ауданы	34744900 мм <sup>2</sup>
Көлемі	237932000 мм <sup>3</sup>
Масс орталығы	x=-602,016 мм y=-1,98087 мм z=772,674 мм

Ескерту: физикалық мәндер төменде сипатталған, пайдаланылатын физикалық мәндерден ерекшеленуі мүмкін.

Модельдеу:

### Кесте 3.3 – Жалпы мақсаты мен параметрлері

Жобалау мақсаты	Бір нүктелі
Модельдеу түрі	Статикалық талдау
Соңғы өзгеріс күні	19.07.2017, 2:39
Қатты дененің модасын табу және жою	Бар
Түйіспелі беттердің көлденең кернеулерін бөлу	Бар
Қозғалыс жүктемелерін талдау	Жоқ

### Кесте 3.4 – Материалдар

Аты	Тот баспайтын болат, 440С	
Жалпы	Массалық тығыздығы	7,75 г/см <sup>3</sup>
	Тұрақсыздық шегі	689 МПа
	Созылу беріктігінің соңғы шегі	861,25 МПа
Кернеуі	Юнг Модулі	206,7 ГПа
	Пуассон Коэффициенті	0,27 бр
	Жылжу кезіндегі серпімділік модулі	81,378 ГПа
Бөлшектер атаулары	Тікелей құбыр Тікелей құбыр	

	Аяғы Аяғы Аяғы Аяғы Төмен болған жағдайда.1760 тік құбыр Төмен болған жағдайда.1760 тік құбыр көлденең құбыр көлденең құбыр көлденең құбыр Тікелей құбыр Тікелей құбыр көлденең тірек көлденең тірек көлденең тірек
--	--

### Шойын

Аты	Шойын, құю	
Жалпы	Массалық тығыздығы	7,15 г/см <sup>3</sup>
	Тұрақсыздық шегі	758 МПа
	Созылу беріктігінің соңғы шегі	884 МПа
Кернеуі	Юнг Модулі	120,5 ГПа
	Пуассон Коэффициенті	0,3 бр
	Жылжу кезіндегі серпімділік модулі	46,3462 ГПа
Бөлшектер атаулары	Стол	

### Алюминия

Аты	Алюминий 6061-АНС	
Жалпы	Массалық тығыздығы	2,7 г/см <sup>3</sup>
	Тұрақсыздық шегі	275 МПа
	Созылу беріктігінің соңғы шегі	310 МПа
Кернеуі	Юнг Модулі	68,9 ГПа
	Пуассон Коэффициенті	0,33 бр
	Жылжу кезіндегі серпімділік модулі	25,9023 ГПа
Бөлшектер атаулары	Тірек тірек портал Степпер ұстаушысы Степпер ұстаушысы Степпер ұстауы_1 Степпер ұстауы_1	

	Степпердің соңы Степпер негізі Степпердің соңы Степпер негізі Степпердің соңы Степпер негізі Z осі Степпердің соңы Степпер негізі Функционалды бекітуге арналған База
--	--

Жұмыс шарттары:

Кесте 3.5 – Ауырлық күші

Жүктеме түрі	Ауырлық күші
Шамасы	9810.000 мм/с <sup>2</sup>
Вектор X	0.000 мм/с <sup>2</sup>
Вектор Y	-9810.000 мм/с <sup>2</sup>
Вектор Z	0.000 мм/с <sup>2</sup>

Нәтижелері:

Кесте 3.6 – Тәуелділіктегі реакцияның күші мен сәті

Тәуелділік аты	Реакция күші		Реактивті момент	
	Шамасы	Компонент (X, Y, Z)	Шамасы	Компонент (X, Y, Z)
Бекіту тәуелділігі: 1	15859,1 Н	0 Н	1117,04 Н м	1116,96 Н м
		15859,1 Н		0 Н м
		0 Н		-12,7937 Н м

Кесте 3.7 – Статистикалық талдау нәтижесі

Аты	Минималды	Максималды
Көлемі	237932000 мм <sup>3</sup>	
Масса	1632,09 кг	
Мизес бойынша кернеу	0,0000450554 МПа	84,5899 МПа
1-ші негізгі кернеу	-27,8023 МПа	70,4441 МПа
3-ші негізгі кернеу	-83,5256 МПа	21,294 МПа
Ығысу	0 мм	27,931 мм
Коэфф. беріктік қоры	2,95544 бр	15 бр
Кернеу ХХ	-39,2087 МПа	38,8537 МПа

Кернеу XY	-20,3529 МПа	21,7585 МПа
Кернеу XZ	-20,7606 МПа	25,0391 МПа
Кернеу YY	-63,764 МПа	64,2702 МПа
Кернеу YZ	-24,5636 МПа	29,1516 МПа
Кернеу ZZ	-65,0281 МПа	64,8865 МПа
Ось бойынша жылжу X	-0,0850543 мм	0,107465 мм
Ось бойынша жылжу Y	-27,9305 мм	0 мм
Ось бойынша жылжу Z	-0,197075 мм	0,302691 мм
Баламалы деформация	0,000000000385353 бр	0,000358036 бр
1-ші негізгі деформация	-0,00000566694 бр	0,000342713 бр
3-ші негізгі деформация	-0,000347941 бр	0,00000712255 бр
Кернеу XX	-0,000182968 бр	0,000183798 бр
Кернеу XY	-0,000129067 бр	0,00013798 бр
Кернеу XZ	-0,000131652 бр	0,000158785 бр
Кернеу YY	-0,000267204 бр	0,000285785 бр
Кернеу YZ	-0,000155769 бр	0,000184864 бр
Кернеу ZZ	-0,000347125 бр	0,000341623 бр
Байланыс қысымы	0 МПа	270,465 МПа
X Осы бойынша байланыс қысымы	-73,0256 МПа	73,9276 МПа
Y Осы бойынша байланыс қысымы	-209,514 МПа	218,805 МПа
Z Осы бойынша байланыс қысымы	-169,353 МПа	183,289 МПа

## Қорытынды

Есепте келесі функциялары бар бастамашыл топ жобалаған көпфункционалды СББ станоктары туралы деректер берілген: фрезерлеу, гравирлеу, лазерлік гравирлеу және кесу, FDM 3D принтинг, SLA 3D принтинг және 3D сканерлеу.

Яғни келесі нәтижелерге қол жеткізілді: порталды фрезерлі станогының конструкциясы негізінде көпфункционалды СББ станогы жасалды; әр функция үшін жеке жұмыс аймағының көлемі анықталды; лазерлік гравировка және кесу үшін лазерлік құрылғы таңдалды; арнайы Z осі платформасы, лазерлік гравирлеу және кесу үшін лазерлік құрылғы таңдалды, FDM 3D принтинг үшін экструдер, SLA 3D принтинг үстел, 3D сканерлеу үшін лазерлік сенсор қарастырылды; станоктың үстелін және балқытылған материалдарды станоктың үстеліне жабыспау үшін лазерлік ою және кесу функциясына арналған арнайы алмалы-салмалы жұмыс үстелдері жобаланды; SLA 3D принтинг функциясы үшін проектордың үстелі мен корпусы жобаланған.

Алынған нәтижелер аппараттық орындау мен есепке алуды және сәйкессіздікті анықтауды және кейіннен өнеркәсіптік үлгіні пысықтауды қажет етеді. Сондай-ақ, мен роботтар мен ардуиндер туралы жаңа дағдыларға ие болдым.

## Пайдаланылган әдебиеттер тізімі

- 1 Кирилин Ю. В., Расчет и проектирование базовых деталей и несущей системы металлорежущих станков, Ульяновск, 2009
- 2 Беленов А.А., Мазеин П.Г., Моделирование контактных деформаций в неподвижных соединениях несущей системы порталного фрезерного станка, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 13, №1(3), 2011
- 3 Лурье А.М. Рельсовые направляющие качения. Характеристики продукции разных производителей. Рекомендации по применению. «Сервотехника» ЗАО, 2006
- 4 Стапчик С.А. Лазерные технологии в машиностроении и металлообработке / Астапчик С.А., Голубев В.С., Маслаков А.Г. - Минск: Беларуская навука, 2008. - 251 с.
- 5 Канесса Э., Фонда К., Зеннаро М., Доступная 3d печать для науки, образования, устойчивого развития, Международный центр теоретической физики Абдус Салама, 2013
- 6 <http://www.tehnooprosto.ru/vse-o-3d-pechati-kak-rabotaet-3d-printer-kakoj-3d-printer-vybrat/>
- 7 <https://3d-daily.ru/technology/3dprinter-components-part1.html>