Міністерство освіти і науки України

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Протокол № 1 від 27 серпня 2019 р.

Краматорськ ДДМА 2019 УДК 621.9.04

Комп'ютеризовані системи інженерного аналізу: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / уклад. : В.С. Гузенко, С.Л. Міранцов, А.В. Коваленко, Д. Є. Гузенко, О.С. Савченко – Краматорськ: ДДМА, 2019. – 57 с.

Наведені методики виконання лабораторних робіт з дисципліни «Комп'ютеризовані системи інженерного аналізу» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня освітньо-наукової програми «Галузеве машинобудування» (професійні спрямування «Комп'ютеризовані мехатронні верстати та системи», «Комп'ютерноінтегровані технології інструментального виробництва» та «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»).

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» (протокол № 1 від 27 серпня 2019 р.).

Електронне навчальне видання

3MICT

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО
ПРОСТОРУ ВИРОБУ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗПОДІЛУ
ВИЗНАЧАЮЧОГО ПАРАМЕТРУ4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА
ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ 13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. РОЗРАХУНКИ ХАРАКТЕРИСТИК
НАДІЙНОСТІ ПРИ ІНЖЕНЕРНОМУ АНАЛІЗІ 18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕРСТАТО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ
СИСТЕМ
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕННЯ
ДЕТАЛІ41
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДЕТАЛІ
ЛІТЕРАТУРА

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИВЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОСТОРУ ВИРОБУ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗПОДІЛЬЧОГО ПАРАМЕТРУ, ЩО ВИЗНАЧАЄТЬСЯ

1.1 Мета роботи

Вивчити спосіб оцінки функціонального простору (області застосування) нового виробу для постановки його на виробництво і виходу його на ринок.

1.2 Загальні положення

Під маркетингом розуміє діяльність, спрямовану на отримання фірмою інформації про потреби покупця, з тим, щоб фірма могла розробити і запропонувати йому необхідні товари і послуги.

Маркетинг повинен впливати на проектування і планування виробництва, а також на збут та надання послуг покупцям.

Ф. Котлер, визнаний дослідник маркетингу, дає таке визначення: "Маркетинг - це вид діяльності, спрямований на задоволення потреб людини за допомогою обміну".

Маркетинг являє собою комплексне явище, що охоплює всю діяльність фірми; починаючи з вивчення ринку, виявлення його дійсних потреб, планування на цій основі товарного асортименту, проведення НДДКР, організації виробництва товарів, здійснення заходів щодо формування та стимулювання споживчого попиту на них і закінчуючи реалізацією готового продукту і післяпродажним обслуговуванням.

Маркетинг означає системний підхід до управлінської діяльності з чітко поставленою метою, ретельно розробленою системою заходів по досягненню цієї мети і відповідним організаційно-технічних, комерційних і фінансових механізмів для її здійснення.

Для формулювання подальших визначень, що дозволяють вести проектування інструменту із застосуванням стратегії маркетингу, розглянемо визначення основних теоретичних понять класичного маркетингу, які використовуються для продукту, що вводиться на ринок.

Нужда - пояснюється як почуття, яке відчувається людиною при відсутності або нестачі того, що йому хотілося б мати. Згодом вона трансформується в потребу (нестаток, що прийняв специфічну форму відповідно до особистості індивіда) і в подальшому в запит (потреба, підкріплена купівельною спроможністю). На основі цього створюється певний продукт, який просуваючись на ринку, стає товаром.

Перший ступінь у вивченні ринку - його сегментація. Сегмент ринку - це особливим чином виділена частина ринку, група споживачів, товарів або підприємств, які мають деякі спільні ознаки. Вона дає підставу для вибору стратегії, визначення сумарної ємності ринку (у натуральному і вартісному вираженні), аргументи для реклами і продажу товарів.

Маркетинг сприяє підприємству знайти його місце на ринку, яке не зайняте або не до кінця використовується конкурентами. Потрапивши в "ринкову нішу", підприємство має максимальні можливості стати прибутковим і швидкозростаючим.

Ринкова ніша - обмежена за масштабами, з різко окреслений числом споживачів сфера діяльності, яка дозволяє підприємству проявити свої кращі якості і переваги перед конкурентами. Зайняти нішу на ринку - значить вибрати обмежену за масштабами область діяльності з певним колом потреб.

Сегмент ринку зазвичай виділяється в межах однієї галузі.

Ніша може охопити продукцію відразу кількох галузей. Вона знаходиться на стику між різними ринковими сегментами.

Технологічний простір, також як і ринок, при загальному маркетингу ділиться на сегменти. Сегмент ТП - це мінімальна частина цього простору, для якого доцільно використовувати конкретний вид, тип конструкції і розмір інструменту. Термін "сегмент" не є вдалим для інженера, так як під ним мимоволі розуміється геометрична фігура, але він залишений, як широко застосовуваний в маркетингу.

Ємність кожного сегмента можна оцінити трудомісткістю обробки в годиннику.

Область технологічного простору, в якій певний інструмент, зокрема, проектований і планований до випуску, може дати найбільший ефект для споживача і, отже, високий прибуток для виробника інструменту запропоновано називати технологічної нішею (ТН) Можна визначити більш коротко: ТН - оптимальне підпростір ТП для певних інструментів, ТН може включати один або кілька сегментів ТП.

Пошук ТН є найбільш відповідальною частиною функціонального маркетингу. Так як і для конкуруючого інструменту технологічна ніша – оптимальний підпростір, де він буде краще інших, в тому числі, тих, що проектуються, то шукана ТН може бути отримана шляхом виключення з ТП технологічних ніш конкурентів.

Щоб забезпечити високу ефективність проектованого інструменту у споживачів, надзвичайно важливо знати прогноз його розвитку, та фактори, які стримують цей розвиток. Такий прогноз може бути отриманий на основі одночасного вивчення росту найбільш важливих показників роботи інструменту і життєвого циклу його різних типів. Життєвим циклом називається період часу від початку до кінця випуску даного типу або конструкції виробу (від постановки на виробництво до зняття з виробництва).

Вивчення динаміки основних функціональних показників не тільки можливо, але і повністю відповідає принципам маркетингу.

Потреба - це кількість інструменту, яке необхідно для даного ТП, сегмента ТП або ТН, що оцінюється в штуках або комплектах.

Функціональні, технологічні чинники пределяет конструктивні: операції, переходи, жорсткість технологічної системи (TC) визначають вид інструменту і головний кут в плані; опрацьований матеріал - групу твердих сплавів; припуск і глибина різання - довжину головного ріжучого леза і т.д. Тому потреба може бути визначена на основі аналізу TП, однак, можливо в деяких випадках використовувати дані про саму потреби.

1.3 Зміст роботи

Вибрати з бази даних 1 або 2 параметри, що визначають. Наприклад, при функціональному маркетингу фрез такими параметрами будуть ширина фрезерування В і припуск А. Їм відповідає діаметр фрези і глибина різання, а також пов'язана з останньою довжина леза.

Обробка бази даних засобами Excel

Обробку бази даних, представленої в Ехсеl у вигляді списку, зручно проводити з використанням таких процедур, як сортування, фільтрація і формування підсумкових даних. Список - один із способів організації даних на робочому аркуші. Список створюється як позначений ряд, що складається з рядків з однотипними даними. Рядки списку - записи бази даних, стовпці - поля записів. Список є таблицею, у якій обов'язково є «шапка» - рядок з іменами стовпців, які використовуються як імена полів записів.

Найпростіший спосіб переглянути та вибрати необхідні дані зі списку - автофильтр. Більш складні запити до бази даних можна реалізувати за допомогою команди розширений фільтр.

Послідовність дій, необхідна для обробки даних:

1. Завантажити в Excel файл BANK_Frezy.xls, що містить базу даних прецедентів механообработки торцовими фрезами, зібраних методами моментних і тривалих спостережень. База даних моментоспостережень розташована на аркуші FrezMom, тривалих - FrezDlit (рис. 1.1).

2. Вибрати з бази прецеденти згідно виданим завданням. Для цього виконати команду Дані - Фільтр - Автофільтр (рис. 1.2). За цією командою Ехсеl поміщає списки, що розкриваються безпосередньо в імена стовпців списку (рис. 1.3). Клацнувши по стрілці, можна вивести на екран список всіх унікальних елементів (можливих значень) відповідного стовпчика. Якщо виділити певний елемент стовпця, то будуть приховані всі рядки, крім тих, які містять виділене значення. Наприклад, якщо вибрати значення **МАРКА МАТЕРІАЛУ ПЛАСТИНИ** рівне ВК8, то будуть обрані тільки ті прецеденти механообработки, в яких обробка проводиться твердим сплавом ВК8 (рис. 1.4). Виділений в списку елемент стовпця, називається критерієм фільтра. Можна продовжити фільтрацію за допомогою критерію з іншого шпальти. Наприклад:

D	🖻 🖬 🔒 🤞	∋ Q , 🖤 X	te 🖪 🝼 👳	* C2 * 🍓 Σ	$f_{x} \stackrel{A}{\downarrow} \stackrel{R}{\downarrow}_{A} \downarrow$	100%	• ? .
Aria	l Cyr	• 10 • X	КЧ≣≣	≣國 98%	000 ,38 ,00	3 律律 🖽 •	ð - <u>A</u> - ,
	B17 💌	= 18081	1993	11			
	A	В	C	D	E	F	G
1	Номер прецедента	Дата сбора данных (ччммгггг)	Предприятие, где собраны данные	Инвентарный номер станка	Тип станка	Наименование детали	Марка материала детали
2	1	18081993	НКМЗ	11221	Р	Эксцентрик	35ХМЛ
3	2	18081993	НКМ3	1352	Р	Полувенец	30
4	3	18081993	НКМЗ	1735	Р	Стол	30
5	4	18081993	НКМЗ	11224	Р	Эксцентрик	35ХМЛ
6	5	18081993	НКМЗ	11224	Р	Эксцентрик	35ХМЛ
7	6	18081993	НКМ3	11224	P	Эксцентрик	35ХМЛ
8	7	18081993	НКМЗ	11224	P	Эксцентрик	35ХМЛ
9	8	18081993	НКМЗ	12112	P	Крестовина	1
10	9	18081993	НКМЗ	4551	Р	Плита	25Л
11	10	18081993	НКМЗ	13154	P	Валок	60XH
12	11	18081993	НКМЗ	13516	P	редуктор	45
13	12	18081993	НКМЗ	9099	В	Клин	45
4	13	18081993	НКМЗ	9084	В	Планка	45
5	14	18081993	НКМЗ		В	Угольник	2
6	15	18081993	НКМЗ	9100	P	Захват	2
7	16	18081993	НКМЗ	18229	Р	Проводка	30Л
8	17	18081993	Тнкмз	9050	Р	Банка	30Л
9	18	18081993	НКМЗ	1554	P	Стойка	40Л
20	19	18081993	НКМЗ	1326	P	Подушка	30Л
21	20	18081993	НКМЗ	13137	Р	Вал	45
22	21	18081993	НКМЗ	11976	П	Плита	3
23	22	18081993	НКМЗ	13153	Р	Клин	40X
24	23	18081993	НКМЗ	13153	P	Клин	40X
25	24	18081993	НКМЗ	9096	Π	Проводка	30
26	25	18081993	НКМЗ	11924	П	Плита	34ХМЛ
27	26	18081993	НКМЗ	16043	Р	Банка	CH 20
	► ► FrezM	om / Ft 🖣	5a				

Рисунок 1.1 - Вид бази даних моментоспостережень при фрезерній обробці

Щоб видалити критерії фільтра для окремого стовпця, треба вибрати параметр «Усі» в списку. Щоб показати всі приховані в списку рядки і прибрати автофильтр, треба повторно виконати команду Дані - Фільтр - Автофільтр.

	Файл Правка	<u>Вид</u> Вст <u>а</u> вк	а Фо	рмат С	ервис	Данные Окно	<u>С</u> правка	10				
	🗃 🖬 🔒 🤘	5 🖪 🖤	Ж	b	1	А ↓ Сортировка			l 🕼 🛺 100%	+ [?] _		
Ari	al Cvr	• 10 •	×	KЧ		<u>Ф</u> ильтр		•	<u>А</u> втофильтр	analy - a south		
1 and	B17 💌	=	1808	1993		Фор <u>м</u> а Про <u>в</u> ерка		Фор <u>м</u> а Проверка			Отобразить в <u>с</u> е <u>Р</u> асширенный фі	ильтр
			В		U		and the second sec		1			
	Номер	Дата сбо данны	ата сбора данных		прият собраї	<u>Т</u> аблица подстановки Текст по столбцам			Наименование	Мар матери		
1	прецедента	(ччммгг	тг)	да	нные	Вне <u>ш</u> ние да	нные	•	детали	дета		
2	1	18081993	18081993			Обновить данные *		T	Эксцентрик	35ХМЛ		
3	2	18081993		НКМЗ					Полувенец	30		
4	3	18081993		НКМЗ		1735	P	12	Стол	30		
5	4	18081993		НКМЗ		11224	P		Эксцентрик	35ХМЛ		

Рисунок 1.2 – Приклад вибору з бази прецедентів, згідно виданному завданню

	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Частота вращения шпинделя n, мин-1 ▼	Вид фрезы (с Мех.крепл., Напайная)	Тип конструкции фрезы	ГОСТ или СТП на фрезу	Диаметр фрезы D, ^{MM} 🗸	Число зубъев Z	Главный угол в плане градусое	Марка материала пластині —
2	100	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	e (Bce)
3	150	Н	ВСТАВН.НОЖ	CTII 45.04-75	320	10	e al construction de la construc	Первые 10)
4	200	Н	ВСТАВН.НОЖ	CTII 45.04-75	320	10	E	зка
5	200	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	e!	МК и НК
6	110	Н	ВСТАВН.НОЖ	CTII 45.04-75	320	10	4	718 [15K6
7	135	Н	ВСТАВН.НОЖ	CTIT 45.04-75	320	10	e.	T5K10
8	160	Н	ВСТАВН.НОЖ	CTII 45.04-75	320	10	60	1 T5K10
9	235	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	150	6	60	T5K10

Рисунок 1.3- Списки, що розкриваються безпосередньо в імена стовпців списку

	Q	R	S	Т	U	V	W	Х	
1	Частота вращения шпинделя n, мин-1 ▼	Вид фрезы (с Мех.крепл., Напайная) _Ф	Тип конструкции фрезы	ГОСТ или СТП на фрезу 🖵	Диаметр фрезы D, мм	Число зубъев Z	Главный угол в плане, градусов	Марка материала пластині —	2
45	80	Н	ВСТ.Н.РИФ.		200	20	90	BK8	
46	80	Н	ВСТ.Н.РИФ.		200	20	90	BK8	
47	500	Н	ВСТ.Н.РИФ.		160	10	60	BK8	
48	95	Н	ВСТ.Н.РИФ.		200	20	90	BK8	
49	95	Н	ВСТ.Н.РИФ.		200	20	90	BK8	ſ
51	60	Н	ВСТ.Н.РИФ.		250		0	BK8	
105	120	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	60	BK8	
120	140	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	250	8	60	BK8	
161	630	Н	ВСТАВН.НОЖ	CTI 45.05-82	125	8	45	BK8	
162	630	Н	ВСТАВН.НОЖ	CTI 45.04-75	150	6	45	BK8	
210	100	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	60	BK8	
211	100	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	60	BK8	Ī
212	150	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	60	BK8	Ĩ
251	150	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	60	BK8	
252	475	Н	ВСТАВН.НОЖ	СТП 45.04-75	320	10	60	BK8	
207									ſ

Рисунок 1.4 – Вибір значення МАРКИ МАТЕРІАЛУ ПЛАСТИНИ

3. Для фільтрації бази даних по складному критерію, а також для отримання частини вихідного списку з кількох заданих стовпцях може бути використана команда Розширений фільтр (див. рис 1.2). З використанням цієї команди відфільтровані записи можна винести в інше місце робочого листа, не зіпсувавши вихідний список. Спочатку потрібно створити таблицю критеріїв, яку слід розмістити а тому ж робочому аркуші, що і вихідний список, але так, щоб не приховувати лист під час фільтрації. При цьому число рядків в цій таблиці визначається тільки кількістю критеріїв пошуку. Але включення порожніх рядків таблицю критеріїв В неприпустимо, оскільки в цьому випадку будуть знайдені всі записи списку.

Завдання критеріїв пошуку у вигляді констант вимагає точної копії імен тих стовпців вихідного списку, які задають умови фільтрації. Для фільтрації прецедентів обробки, у яких ГЛИБИНА РІЗАННЯ t> 9 мм таблиця критеріїв показана на малюнку 1.5. Тут же зазначена і таблиця вихідних даних, які необхідно вивести: НОМЕР прецедент, ЗАГАЛЬНИЙ припуск і ГЛУБИНА РІЗАННЯ.

Після завдання команди Розширений фільтр, отримуємо діалогове вікно (рис. 1.6). Перемикач **Обробка** потрібно переставити в положення скопіювати результат в інше місце, а також заповнити поля **Вихідний** діапазон, Діапазон умов (критеріїв) і помістити результат в діапазон. Результат виконання даної процедури наведено на малюнку 1.7.

Якщо необхідно отримає список прецедентів, у яких ГЛУБИНА РІЗАННЯ t> 9 мм, але <10 мм, задамо друга умова в таблиці критеріїв, але обов'язково в цьому ж рядку. Діапазон умов в цьому випадку буде мати значення \$ F \$ 289: \$ G \$ 290. Результат наведено на малюнку 1.8.

	A	В	C	D	E	F	
1	Номер прецедента	Дата сбора данных (ччммгггг)	Предприятие, где собраны данные	Инвентарный номер станка	Тип станка	Наименование детали	ма 4
278	277	25021994	НКМЗ	18229	Р	Крышка	30Л1
279	278	25021994	НКМЗ	1326	P	Подушка	30Л
280	279	25021994	НКМЗ	1326	P	Подушка	30Л
281	280	25021994	НКМЗ	9050	P	Вставка	30Л
282	281	25021994	НКМЗ	9050	Р	Вставка	30Л
283	282	12031997	НКМЗ	13564	P	Вал	30XH
284	283	12031997	НКМЗ	13564	P	Вал	30XH
285	284	12031997	НКМЗ	1284	P	Вал	40XH
286	285	12031997	НКМЗ	1284	P	Вал-шестерня	90X¢
287							
288	Выходные да	інные				Таблица критериев	
289	Номер прецедента	Общий припуск, мм	Глубина резания, мм			Глубина резания, мм	
290						>9	
291							
202							

Рисунок 1.5 - Фільтрація прецедентів обробки

	Α	В	C	D	E	F	
1	Номер прецедента	Дата сбора данных (ччммгггг)	Предприятие, где собраны данные	Инвентарный номер станка	Тип станка	Наименование детали	N
273	272	25021994	НКМЗ	18235	P	Корпус шатуна	305
274	273	25021994	НКМЗ	18235	Р	Корпус шатуна	307
275	274	2		1		Корпус шатуна	307
276	275	Расширенны	ій фильтр			Крышка	305
277	276	Обработка —				Крышка	30Л
278	277	Сфильтрова	ть список на месте	•		Крышка	307
279	278	Скопирова	ть результат в дру	/ГОР МЕСТО		Подушка	307
280	279	1				Подушка	305
281	280	1 Исходный диап	азон:	\$A\$1:\$AD\$286	3.	Вставка	305
282	281	1				Вставка	30Л
283	282	и диапазон услов	я н и;	JErezimom:\$E\$289:\$	F\$25 🔛	Вал	30X
284	283	Поместить резу	льтат <u>в</u> диапазон:	FrezMom!\$A\$289:\$;C\$2{ 💁	Вал	30X
285	284	F T				Вал	40X
286	285	Только уник	альные записи			Вал-шестерня	90X
287		1	Γ		мена		Í
288	Выходные да	нные			Hend	Таблица критериев	
289	Номер прецедента	Общий припуск, мм	Глубина резания, мм			Глубина резания, мм	
290		•••••••••••••	**********	1		>9	
291							



	A	В	C	D	E	F
1	Номер прецедента	Дата сбора данных (ччммгггг)	Предприятие, где собраны данные	Инвентарный номер станка	Тип станка	Наименование детали
288	выходные дан	ные				Таблица критериев
289	Номер прецедента	Общий припуск, мм	Глубина резания, мм			Глубина резания, мм
290	8	20	10			>9
291	20	26	10			
292	22	20	10			
293	23	20	10			
294	24	30	10			
295	28	15	15			
296	30	40	10			
297	33	10	10			
298	34	35	10			
299	35	35	10			
300	38	100	10			
301	39	60	10			
302	40	60	10			
303	42	10	10			
304	52	25	10			
305	53	50	10			
306	54	50	10			
307	55	100	10			
308	58	200	10			
309	59	350	12			
310	60	350	12			
311	61	140	10			
312	67	30	10			

Рисунок 1.7 - Результат виконання команди «Розширений фільтр»

287					
288	Выходные дан	ные		Таблица критериев	
289	Номер прецедента	Общий припуск, мм	Глубина резания, мм	Глубина резания, мм	Глубина резания, мм
290	201	40	9,8	>9	<10
291	229	130	9,8		
292	254	30	9,6		
293					

Рисунок 1.8 - Друга умова в таблиці критеріїв

3. За допомогою процедур, наявних в програмі "Надійність" (прил.1), побудувати сімейства розподілів і визначити закон розподілу обраних параметрів.

4. Зробити попередні висновки про область застосування виробу, наприклад інструменту, і подальшому позиціонуванні його на ринку

(остаточний висновок робиться при вивченні ніш конкурентів і визначенні ніші нового вироби).

1.4 Склад звіту

1. Основні поняття функціонально-орієнтованого маркетингу;

2. Процедура отримання розподілів основних параметрів і відповідний закон розподілу;

3. Висновки про функціональному просторі вироби.

1.5 Контрольні питання

1. Що таке маркетинг?

2. Що таке функціональний маркетинг?

3. Що таке функціональний простір для ріжучого інструменту?

4. Дайте математичне визначення функціонального простору.

5. Що таке сегмент і ніша функціонального простору?

6. Що таке розподіл випадкової величини? Якими показниками воно характеризується?

7. Що таке закон розподілу? Які параметри мають нормальний і логнормального закони?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

1.1 Мета роботи

Багатокритеріальна оптимізація параметрів технологічного процесу механічної обробки

1.2 Теоретичні відомості

Основні параметри оптимізації: економічні (прибуток, собівартість, витрати на виробництво), техніко-економічні (продуктивність, надійність, стійкість, ефективність), техніко-економічні, статистично, антропологічні.

Оптимізація проводиться для встановлення оптимальних значень режимів різання:

- s - подача різання;

- v – швидкість різання;

- t – глибина різання.

При доборі критеріїв формування цільової функції були прийняті наступні принципи:

 – повнота – використання додаткових критеріїв не змінює результати, а відкидання хоча б одного призводить до зміни результатів;

– мінімальність – набір повинен містити мінімально необхідну кількість критеріїв;

– операціональність – кожний критерій повинен мати зрозумілу формулювання, ясний і однозначний сенс;

 вимірність – кожний критерій повинен допускати можливість кількісної оцінки.



Рисунок 2.1 - Граф функціональних зв'язків задачі оптимізації

Об'ємною продуктивністю різання вважається кількість стружки, що знімається за одиницю часу знаходиться за формулою:

$$Q = bhv$$
,

де - ширина шару, що зрізається; - товщина шару, що зрізається. Параметри обчислюються за формулами:

$$b = t / \sin(k);$$

$$h = s \cdot \sin(k),$$

де k – головний кут в плані.

Витрати на обробку є комплексним параметром, що складається з трьох складових елементів обчислюються за формулою:

$$A_3 = A_u R_u$$

де Е – вартість верстатогодини; A_c – вартість твердого сплаву; A_u – вартість комплекту інструменту (без твердого сплаву).

Параметри обчислюються за формулою:

*t*_{*um*} – штучний час обробки 1 кв. метра поверхні:

$$t_{uum} = \frac{t_0}{60} (1 + t_g / T),$$

де t_0 – основний час; tв/T – характеристика складності обробки деталі.

Параметри обчислюються за формулою:

$$t_0 = \frac{10^3}{s \cdot v},$$

*R*_c – витрата твердого сплаву для обробки 1 м2 поверхні деталі визначається за формулою:

$$R_c = j \cdot l \cdot b \cdot h \cdot R_n,$$

де ј – питома маса твердого сплаву г/мм; R_n – витрата пластин твердого сплаву, штук/кв. метр; h - ширина пластини; l - довжина пластини; b - товщина пластини. R_u – витрата інструменту (комплектів блоку або різця крім різальних пластин) визначається за формулою:

$$R_u = \frac{R_n}{z},$$

де z – число пластин в комплекті.

Потужність різання є важливим параметром так як безпосередньо визначає енергоефективність виконуваної операції механічної обробки.

Потужність визначається за формулою:

$$N = \frac{F_c \cdot v}{60000}$$

де *F*_c - складова сили різання.

Параметри обчислюється за формулою:

$$F_c = b \cdot h \cdot k_c,$$

де k_c - питома сила різання.

ажите обрабатываемый і	материал			Выбранные пластины	Редактировать пласти	ны
онструкционная сталь		~	Редактировать	TNMM 27 06 32 4225 27.5x13.5x6.35		_
/кажите тип обработки	Укажите типоразмер станка	Использу	уемые нормативы	CNMM 25 09 32-HR 43 25.8x25.8x9.5	25	
лубина обработки, мм 20	Длина обработки, мм 2000	Comence		SNMM 25 07 24 4235 25.4x25.4x7.93		
илане гробраба віваеної 120 /гол в плане, градусы 45	и поверхности, ни					
P. farm another						





Рисунок 2.3

1.5 Зміст звіту

- 1 Тема роботи.
- 2 Мета роботи.

3 Оптимізація режимів різання технологічного переходу для запропонованих вхідних даних. Вибір пластину для виконання обробки з точки зору витрат на перехід.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. РОЗРАХУНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НАДІЙНОСТІ ПРИ ІНЖЕНЕРНОМУ АНАЛІЗІ

3.1 Мета роботи

Вивчити фізичні основи процесу електроакустичного напиленнялегування плоских поверхонь, конструктивні особливості та області технологічного використання електроакустичної установки ЭЛАН-1.

Основне призначення інформаційної системи - визначення показників надійності: безвідмовності, довговічності і ремонтопридатності (восстанавливаемости). В цьому випадку варіаційний ряд і відповідно значення Х: τ - стійкість, хв; Στ - повний період стійкості, хв, або К - число періодів стійкості; тв - час відновлення, хв.

Інформаційна система може використовуватися і для маркетингу. Тоді X - це визначальний параметр: t - глибина різання, мм; В - ширина фрезерування, мм; НВ - твердість заготовки і т.д.

Програмна реалізація інформаційної системи виконана в середовищі Borland Delphi 6.0. Проект має назву StatWorks і включає в себе 12 форм інтерфейсу. У той же час, має дуже невеликий обсяг - менше 3 Mb.

Основне вікно програми включає в себе 4 вкладки: «Старт» (рис.1), «Завдання» (рис.2), «Налаштування і інструменти» (рис.3) і «Завершення роботи» (рис.4).

StatWorks v1.49c		
and the first	1 your to g	and C
Старт Задания Настройки и инструмент	ы Завершение работы	
Загрузка данных из файла	Загруженность	
	CPU	0%
Конвертер данных	RAM	66%
овод данных вручную	Информация о системе	
С Вариационный ряд	Частота процессора	1468,78 MHz
С Частоты Сброс	Оперативная память (всего)	261 Mb
С Частости	Вирт. памяти (всего)	2096 Mb
CommandLine	> Просмотреть первоначальны	й ряд в StatEditor'e
Обрабатываемый	Просмотреть измененный р	ояд в StatEditor'e
No file!	,	

Рисунок 3.1 – Основне вікно інформаційної системи, вкладка «Старт»

StatWorks v1.49c			
and Rand Ran	e Clarge Cla		
Старт Задания Настройки и инструменты Завершение ра	аботы		
🔽 Сортировка исходных данных (по возрастанию)	Запомнить выбор		
Г Расчет max значения Г Расчет min значения	🦵 Расчет частот ряда		
🔽 Расчет среднего арифметического данных	🥅 Расчет частости ряда		
🔽 Среднее квадратическое отклонение	Плотность распределения		
🦵 Коэффициент вариации	Рассчитать выборочно отмеченное		
Проверка на выпадающие значения	(просмотр результатов в отчете по выборочным расчетам)		
Полный расчет характеристик н	надежности		
CommandLine > Просм	ютреть первоначальный ряд в StatEditor'e		
Собрабатываемый файл Прос	смотреть измененный ряд в StatEditor'е		
Jivo mei			

Рисунок 3.2 – Основне вікно інформаційної системи, вкладка «Завдання»

StatWorks v1.49c		×
and the	the little Clarke C	
Старт Задания Настр	ройки и инструменты Завершение работы	
Анимация	Самый настоящий -= Калькулятор =-	
С Вкл. С В	Выкл.	
Загруженность	1 2 3 C + -	
СВкл. СВ	Выкл. 4 5 6 7 • /	
🦵 Автозапуск програ	замињі 8 9 0 . = ^	
🔽 Показ подсказок	. (при	
наведении на элем	мент)	
A State of the second	CommandLine > Просмотреть первоначальный ряд в StatEditor'e	
	Просмотреть измененный ряд в StatEditor'е	
	No file!	

Рисунок 3.3 – Основне вікно інформаційної системи, вкладка «Налаштування і інструменти»

💽 Sta	Works v1.49c	
	and the are the	to Class Cla
Старт	Задания Настройки и инструменты Заве	ершение работы
	Отчет выборочн. расчетов	О программе
	Краткий отчет	Здесь могла быть Ваша реклама
	Стандартный отчет	
	Очистить отчеты	Выход
	CommandLine >	Просмотреть первоначальный ряд в StatEditor'e
	Обрабатываемый файл	Просмотреть измененный ряд в StatEditor'е
	E:\StatWorks\PRIMER1.dat	

Рисунок 3.4 – Основне вікно інформаційної системи, вкладка «Завершення роботи»

Введення вихідних даних здійснюється на вкладці «Старт» (див. Рис.1). Процедура можлива як з клавіатури, так і з файлу. З клавіатури можуть бути введені, як значення варіаційного ряду, так і згруповані дані у вигляді частот і частостей. Для введення варіаційного ряду вибрати відповідний перемикач з групи Введення даних вручну. З'явиться вікно редактора введення (рис.5). Введення кожного значення закінчується клавішею Enter. Як десяткового роздільника використовується кома. Після введення останнього значення виконати команду меню Дані сформовані !. Для збереження введених даних використовувати пункт меню Файл команду Зберегти дані як (рис.6). Збережені файли мають розширення.

Для введення значень ряду з файлу використовується команда Завантаження даних з файлу вкладки «Старт» (рис.7). Переглянути початковий ряд в StatEditor можна з використанням однойменної команди (рис.8).

При введенні згрупованих даних у вигляді частот влучень в інтервал або частостей необхідно встановити відповідний перемикач з групи Введення даних вручну. При введенні частот запитуються число і величина інтервалів, нижня межа першого і значення частоти для кожного інтервалу (рис.9). При введенні частостей запитується кількість оброблюваних даних (рис.10). Кнопка Скидання служить для обнулення вихідних даних у разі необхідності повторного введення.

🚺 StatEd	itor v1.1										
Файл Пра	вка Печа	ть! Данны	е сформиров	аны!							
×	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<u>></u>
1-10	12	13,4	22	24	18	19	21	22	16,7	19	-J
11-20	19										
	-										
19	19 Количество данных в файле = 11 🥢										

Рисунок 3.5 – Введення вихідних даних через редактор

StatEditor - Co	кранить файл ,	данных как			? 🔀
<u>П</u> апка:	📄 Editor		•	← 🗈 💣 📰•	
Недавние документы Рабочий стол	fopen fa my fa ppp				
Мой компьютер Сетевое окружение	<u>И</u> мя файла: <u>Т</u> ип файла:	primer Data (*.dat)		•	Со <u>х</u> ранить Отмена

Рисунок 3.6 – Збереження введених даних в файл

StatWorks - Вы	берите файл д	ля загрузки данных					? 🔀
<u>П</u> апка:	📴 StatWorks		•	← 🖻	0 💣	*	
Недавние документы Рабочий стол Мои документы	Data Editor 1 111 2222 3333 4444b 444b144500000000000000000000000000000000	ा var10 ा ууу					
	<u>И</u> мя файла: <u>Т</u> ип файлов:	PRIMER1 Data (*.dat)			• •	[<u>О</u> ткрыть Отмена

Рисунок 3.7 – Введення вихідних даних з файлу

StatEd	litor v1.1										
Файл Пра	авка Печа	ть! Данны	е сформирова	аны!							
x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<u>></u>
1-10	1,1	1,14	1,7	4,1	5,7	9,68	9,7	11,4	12,5	14,8	J
11-20	17,1	20,5	20,5	20,5	22,8	24,5	25,1	25,6	25,6	26,8	
21-30	26,8	26,8	27,4	28,0	28,5	28,5	28,5	29,6	30,8	31,9	
31-40	33,1	34,2	34,2	34,8	36,5	37,0	39,9	43,3	47,8	50,2	
41-50	57	58,7	62,7	69		I	I	I	I	I	~
E:\StatWorks\PRIMER1.dat											
							к	оличество да	анных в файл	ie = 44	11.

Рисунок 3.8 – Перегляд і редагування введеного файлу даних

StatWorks - Ввод частот 🛛 🔀	StatWorks - Ввод частот 🛛 🛛 🔀
Введите величину интервала: 12	Введите число интервалов разбиения (от 4 до 20): 6
OK Cancel	OK Cancel
a)	б)
StatWorks - Ввод частот	StatWorks - Ввод частот 🛛 🔀
Введите нижнюю границу 1-го интервала:	Введите частоту на 1-ом интервале: 8
OK Cancel	OK Cancel
в)	г)

Рисунок 3.9 – Введення згрупованих вихідних даних у вигляді частот

StatWorks - Ввод частостей	StatWorks - Ввод частостей 🛛 🔀
Введите количество опытов: 44 ОК Cancel	Введите частость на 2-ом интервале. Осталось до 1 - 0,8. 0,4 ОК Cancel
в)	г)

Рисунок 3.10 – Введення згрупованих вихідних даних у вигляді частостей

Для виконання статистичної обробки вибрати команду Повний розрахунок характеристик надійності на вкладці «Завдання». Відразу з'являється вікно перевірки на випадають значення (рис.11). Тут можна відкинути значення, яке можна вважати помилкою експерименту або введення даних. Перервати перевірку можна, вибравши відповідну команду вікна. Наступним етапом буде встановлення нижньої межі першого інтервалу (рис.12). У більшості випадків розрахункова величина інтервалу буде дійсним числом, що незручно. Округлити величину інтервалу до найближчого більшого цілого можна, позитивно відповівши на відповідний запит (рис.13).

Попереднім результатом статистичної обробки буде короткий звіт, що містить основні емпіричні характеристики варіаційного ряду: межі інтервалів, щільність розподілу, середнє арифметичне, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, асиметрія, ексцес (рис.14).

Потім видається запит про зміну числа і величини інтервалів (рис.13). Нові значення можуть бути введені з клавіатури (рис.14). При цьому всі величини будуть перераховані і виведений новий звіт.

StatWorks - Проверка на выпадающие значения						
Доверительная вероятность:	○ 0,95 ○ 0,99 ○ 0,999					
	Текущие значения После отброса значения					
Среднее арифметическое	27,8640909090909					
Среднее квадр. отклонение	16,1204544800296					
Коэффициент вариации	0,578538683807199					
Максимальное значение	69					
Минимальное значение	1.1					
Количество опытов	44					
Что будем проверять?	Проверяемое значение					
💽 Левая граница (min)	Delta					
С Правая граница (max)	Tbeta					
ОК	, Тbeta*ср.кв.отклон. (после отброса)					
Оставить	Отбросить Прервать проверку					

Рисунок 3.11 – Перевірка значень

StatWorks						
Птекущие параметр	ы					
Нижняя граница	DeltaTay / 5					
1.1	2,2633333333333					
Вы можете изменить нижнюю границу или оставить без изменения. В случае изменения StatWorks рекомендует установить: 0						
Хочу!	Не надо					

Рисунок 3.12 – Установка нижньої межі першого інтервалу

StatWorks v1.49c	
Интервал раз Округлить ин	биения не целое число. тервал до целого?
ОК	Отмена

Рисунок 3.13 – Запит про округлення значення інтервалу

St St	atWorks v1	.46c - Kpa	ткий отче	т (ShortR	eport.txt)		×
++	+		+	+	+	++	
I N	Гран	вицы	Середина	Частота	Частость	Плотность	7
ин-	интер	овала	интерва-	интер-	интерва-	распреде-	
ITep	-		ла	вала -	на -	+ления +	
Ba-	I		I	I	I	I I	
ла	I		I	I	l	I I	
1 1	Delta=	12,00	I	I	l	I I	
1 1	I		I	I	I	I I	
I I	I		I	I	I	I I	
++	+	+	+	+	+	++	
1	2	3	4	5	6	7	
+	+	+	+	+		++	
! .		1				I 0 01501	
	0,00	12,00	1 6	8	0,1818	0,01521	≣
	12,00	1 24,00	1 18	1 71	0,1591	0,01331	
1 3	24,00	1 36,00	1 30	1 19	0,4318	0,03601	
1 4	1 36,00	48,00 60.00	42 54	5 2	0,1136	0,00951	
	40,00	1 80,00	1 34 1 66	3 2	0,0882	1 0,00371	
	00,00	1 72,00	I 00		0,0433	0,0038	
		1	i I Commona "	• 44		, , , ,	
++	, +	' 	+	+	' 	, ++	
	-	-	-		-		
		Среднее :	арифметич	ecroe :	27,86409	909	
	Среднее ки	- задратичеси	кое отклон	нение :	16,1204	544	
			Accume	етрия :	0,49109	111	
			Эксі	gecc :	0,141900	035	
		Коэффия	циент вари	ации :	0,57853	368	
	Чис	гло интерв:	алов разби	иения :		6	~
<						>	
Π.			Hanger		Kanunaran		
	мать Вы	целить все	эдалит	5 BC6	копироват	ь закрыт	Þ.,

Рисунок 3.14 – Вид короткого звіту по статистичному аналізу

🔀 StatWorks	
Delta > max	
Текущее количество 6 интервалов	
Применить	
Изменить число интерва	пов
Изменить величину интер	зала

Рисунок 3.15 – Запит про кількість і величиною інтервалів

StatWorks v1.46c 🛛 🔀	StatWorks 🔀
Введите число интервалов разбиения (от 4 до 20): Е	Введите величину интервала: 12
OK Cancel	OK Cancel

Рисунок 3.16 – Зміна числа і величини інтервалів

Виходячи з величини коефіцієнта варіації, програма рекомендує закон розподілу, а також виконує побудова емпіричного розподілу в окремому вікні «Закони розподілу» (рис.17). Вікно містить меню вибору закону розподілу, розраховані значення теоретичної щільності розподілу, графіки статистичної та теоретичної щільності розподілу, елементи управління і основні статистичні характеристики варіаційного ряду. За допомогою команди Побудувати на екран виводяться теоретичні закони. При цьому програма може вимагати додаткової інформації по довірчій ймовірності для вибору значення критерію Пірсона та визначення середньої стійкості (рис.18). Здається також питання про необхідність створення стандартного звіту (рис.19). Приклад розрахунку для закону розподілу Вейбулла-Гнеденко наведено на рис. 20.

Для зручності подання графіка служить повзунок регулювання 3Dмасштабу, розташований під графіком. З його допомогою можна змінити уявлення графіка (рис.21). Аналогічно можуть бути виведені графіки інтенсивності відмов (рис.22) і ймовірності безвідмовної роботи (рис.23). Для ймовірності відмов будується тільки теоретичний графік (рис.24). Для виведення таблиці функції щільності розподілу в файл використовується команда Зберегти f (x) в PRReport.txt.



Рисунок 3.17 – Вікно «Закони розподілу»

Критерий Пирсона - Выбор вероятности 🔣	🔀 Определени	е границы ср. ст	ю 🔳 🗖 🔀
		Задайте вероятност	ъ:
Если вероятность = 0,95, то выберите тех. Если вероятность = 0,99, то выберите No	⊙ 0,95	0,90	0,80
<u>Да</u> <u>Н</u> ет		ОК	

Рисунок 3.18 – Запит про значення довірчих ймовірностей



Рисунок 3.19 – Запит про створення стандартного звіту



Рисунок 3.20 – Вікно «Закони розподілу» з побудованим теоретичним розподілом



Рисунок 3.21 – Подання розподілів в двовимірному вигляді



Рисунок 3.22 – Графіки інтенсивності відмов



Рисунок 3.23 – Графіки ймовірності безвідмовної роботи

Якщо необхідно провести порівняння декількох теоретичних законів розподілу потрібно вказати режим Зберігати на графіку (рис.25).

Вероятность безотказной работы Вероятность отказов



-**+**| ►

Рисунок 3.24 – Графік ймовірності відмов



Рисунок 3.25 - Графік декількох теоретичних розподілів

Результати розрахунку в короткій - ShortReport.txt (см.ріс.14) і повної формах - StandartReport.txt (рис.26) виводяться командами з вкладки «Завершення роботи».

Результат розрахунку вибірково зазначених параметрів по вкладці «Завдання» (див. Рис.2) можна переглянути натиснувши кнопку Звіт вибіркових розрахунків вкладки «Завершення роботи» (рис.27).

Для використання вихідних варіаційних рядів, створених в старому DOS-аналогу версії програми «Arcada» використовується конвертер даних (рис.28). Необхідно тільки вказати початковий файл і файл результату, в якому будуть знаходитися перетворені і готові до використання в цій програмі дані.

Sta	📓 StatWorks v1.46c - Станд. отчет (StandartReport.txt)												
N ин- тер	Грал интеј	ницы рвала	Число отка- зов	Число без- отка	Плотн распр +	ость еделен. +	Интен(сть о; +	2ивно- Гказов 	Вероя безот +	тность к.раб. +	Проверка эмпириче †пределені	согласия ского рас ия с тео-	
ва- ла 	Delta=	12,00	за интер вал 	зов за интер вал	Ста- тис- тич. оценка	Теоре- тич. значе- ние	Ста- тис- тич. оценка	Теоре- тич. значе- ние	Ста- тис- тич. оценка	Теоре- ретич значе- чение	ретич.по + Пирсона Хр^2	критерию + Колмого- рова -11 -10	 +
 ++ 1	2	+ I 3	m + 4	 5	 6	(с.и.) + 7	 8	(с.и.) 9	 10	(л.гр) + 11	 + 12	13	 +
++ 1 2 3 4 5 6 ++ 0 + C	0,00 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00 Ювем выбо реднее	+ 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00 72,00 + рки N: Среднее кв	++ 8 7 19 5 3 2 ++ 44 + anpa-	 44 36 29 10 5 2 Коэфр вар стат	 0,0152 0,0133 0,0095 0,0057 0,0038 ициент риации истич.	 0,0152 0,0260 0,0219 0,0130 0,0059 0,0021 	++ 0,0167 0,0812 0,0856 0,0714 0,1667 ma- J pos + Ha '	0,0160 0,0381 0,0570 0,0743 0,0906 0,1061 	 1,0000 0,8182 0,6591 0,2273 0,1136 0,0455 + ритерий + гепе-	 1,0000 0,8304 0,5263 0,1090 0,0367 Хр^2 = Уровены	0,039 3,042 4,950 0,522 0,010 0,091 Xtab^2	 0,000 -0,133 0,038 -0,005 -0,009 +	+
 +	27,864	16,1	2045 +-	0,	,57854 	pacing, r = +	2] +-	x=I-r-1:	= 3 +-	значим. ≻0,050 	, 7,810 +	2- 0,881 +	' +
і Те І ра І ІВейб	оретическ спределени улла-Гнет	ое эксце ие + Пара: енко	сс = метры:	0,142 a = b =	АССИМ 31	етрия = 0,75506' 1.788204	0,49. 72 44	с I До + +	оверите: 	льный И для Т 	нтервал 33.162	доверит. вероятн. + Р(z)= 0.4209	
+		+						+					+ 💌
	Течать	Выделит	гь все							Копирова	пь	Закрыты	

Рисунок 3.26 – Повна форма виведення результатів розрахунку

関 StatWorks - Отчет	
28,5 29,6 30,8 31,9 33,1 34,2 34,2 34,8 36,5 37 39,9 43,3 47,8 50,2 57	
58,7 62,7 69	
Максимальное значение ряда: 69	
Минимальное значение ряда: 1,1	≣
Среднее арифметическое: 27,8640909090909	
Среднеквадратическое отклонение: 16,1204544800296	
Ксэффициент вариации: 0,578538683807199	
<u>×</u>	
Печать отчета Выделить все Очистить отчет	Закрыть отчет

Рисунок 3.27 – Результат розрахунку вибірково зазначених параметрів

🔀 Конвертер данных для StatW	'orks 🔳 🗖	×
Конвертировать	Справка	
Источник		
Результат		//

Рисунок 3.28 – Вікно перетворення вихідних даних

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕРСТАТО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ

4.1 Мета роботи

Дослідження впливу жорсткості і коефіцієнту демпфування механічного кріплення на амплітудно-частотні характеристики вузлів верстата

Динамічна модель системи являє собою лінійну систему, елементами якої є: супортні група верстата масою m₁, ріжучий інструмент, представлений у вигляді двох мас m₂ і m₃, що відносяться до державки і ріжучої частини. На рисунку показана динамічна система.



Рисунок 4.1 – Динамічна модель системи

Жорсткість і коефіцієнт демпфірування супортної групи верстата	К0	650
Жорсткість і коефіцієнт демпфірування державки інструменту	К 1	110
Жорсткість і коефіцієнт демпфірування механічного кріплення	К2	65
Жорсткість і коефіцієнт демпфірування процесу різання	К3	50
Жорсткість і коефіцієнт демпфірування оброблюваної деталі	K4	600

Маси елементів даної системи	M_1	500
	M ₂	6,0
	M3	0,07
Діаметр і довжина і щільність матеріалу оброблюваної петаці	D	600
	L	3000
	ρ	7800

Перший варіант







Рисунок 4.2 – Результати досліджень

Другий варіант







Рисунок 4.2 – Результати досліджень







Рисунок 4.3 – Результати досліджень

	-				
Досліджуваний параметр,	Частота к	оливань	Амплітуда		
варіант	Супорта	Інструмент У	Супорта	Інструмент У	
1	0.504	0.48	0.4	0.4	
2	0.52	0.4	0.2	0.2	
3	0.495	0.44	0.4	0.4	

Аналіз отриманих результатів

Висновки: Провівши дослідження впливу жорсткості і коефіцієнта демпфування механічного кріплення на амплітудно-частотні характеристики вузлів верстата можна побачити по таблиці аналізу отриманих результатів як змінюється частота і амплітуда коливання механічного кріплення пластини ріжучого інструменту і супорта верстата. З підвищенням величини частота коливань збільшується.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5. СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕННЯ ДЕТАЛІ

5.1 Мета роботи

Розрахунок деталі на міцність в Solid Works Simulation

Як приклад розрахунку проведемо розрахунок моделі "Різець з круглою пластиною для обробки колісних пар ЖД".

1. Навантаження моделі і запуск Simulation.

Навантажте файл модель "Різець з круглою пластиною для обробки колісних пар ЖД". Без моделі майстер розрахунку на міцність не запуститься. Після цього на ріжучій пластині потрібно додати майданчик для правильного розташування сил при навантаженні. Відкриваємо файл «Пластина», у площині «Зверху» потрібно створити додаткову площину 1. Для цього у вкладці «Довідкова геометрія» рис.1,



Рисунок 5.1

потрібно вибрати функцію «площина» після чого відкриється зліва вікно з параметрами у якому потрібно вибрита посилання на додаткові площини.

Элементы Эскиз Анализирова	ать DimXpert Продукты Office	Q. Q. 💥 🐂 🏭 - 🗇 - 6g - 🚳 🕰 -
S 😤 😫 🔶	Пластинка (По умолчани — Применание	
🔆 Плоскость ?	🕀 🚾 Примечания 🖽 🛅 Твердые тела(2)	
✓ X ->	Датчики З≡ 0151 Тип 02 Инститичи	
Сообщение 🌣	Спереди	
Определен	Сверху	
Первая ссылка 🌼	К Справа н Исходная точка	
Плоскость1	П-Ф Повернуть1	
Параллельно	Скругление1	
Перпендикулярно	🕀 🕅 Вырез-Повернуть1	
К Совпадение	а Стость1	
90.00градусов	Вырез-Вытянуть2	
10.00мм 🙄	⊞-ф Повернуть5	
Переставить		
📲 1		
Средняя плоскость		
Вторая ссылка 🌣		
		and the second s
Третья ссылка	X	1 Star
		~

Рисунок 5.2

Далі заходимо у площину що додали та створюємо ескіз майданчика що потрібний для навантаження.



Рисунок 5.3

Далі в процесі проектування у верхньому меню потрібно натиснути функцію «Витягнутий виріз», після виконання цієї операції знову потрібно створити



Рисунок 5.4

додаткову площину 2 (рис.2.) про додавання площини проінформовано вище та наведено рисунок 1. Після цього в доданій площині 2 створюємо



Рисунок 5.4

ескіз контуру вирізаної площини, далі функцією «Повернена бобишка» отримуємо окремий майданчик для навантаження.





Переходимо у вкладку відкритої моделі різця. У верхньому меню відкриваємо вкладку «Продукти Office» рис.5.6 та відкриваємо «Solid Works Simulation» після чого чекаємо доки не з'явиться вкладка «Simulation» рис.5.7.



Рисунок 5.6



Рисунок 5.7

Переходимо до вкладки «Simulation», після чого у верхньому меню з'явиться консультант дослідження рис.5



Рисунок 5.8

На вкладці «Консультант дослідження» відкриваємо «Нове дослідження»



Рисунок 5.9

та обираємо «статичне» рис.5.10.

	-	1	1			142
Консу иссле	⊘ √льтант дования	∦Щ Применить материал	ूू Консультант по крепле ∗	±₿ Консультант по внешни	Кон	۹ icy coe
Сбор	ка Ра	сположение	Эскиз	Анализироват	ть	Пр
9	6 B	()				ļ
		Иссле	дование			?
1 3	< -i=					
						1
Coof						
Иссл проч	щение едовать н ности для	напряжения, с я компонентов	мещения, на с линейным	грузки и запас материалом	~	
Иссл проч Имя	щение едовать н ности для Исследо	напряжения, с я компонентов вание 2	мещения, на с линейным	грузки и запас материалом	*	
Иссл проч Имя Тип	щение едовать н ности для Исследо	напряжения, с я компонентов вание 2	мещения, на с линейным	грузки и запас материалом	*	
Иссл проч Имя Тип	щение едовать н ности для Исследо Статиче	напряжения, с я компонентов вание 2 еское	мещения, на	грузки и запас материалом	*	
Иссл проч Имя Тип (२)	щение едовать н ности для Исследо Статич Частота	напряжения, с я компонентов вание 2 еское	мещения, на	грузки и запас материалом	*	
Иссл проч Имя Тип (२) (२)	щение едовать н ности для Исследо Статич Частота Потеря	напряжения, с я компонентов вание 2 еское а устойчивости	мещения, на	прузки и запас материалом	*	A
	щение едовать н ности для Исследо Статичн Частота Потеря Термичн	напряжения, с я компонентов вание 2 еское а устойчивости еский	мещения, на	прузки и запас материалом	*	E

Рисунок 5.10.

У верхньому меню з'являються додаткові функції рис.5.11.

📆 SOLIDI	VORKS	0 • 💕	• 🖬 • 🗞 •	19-Q.	8 🖆				Сборка резца кругалласт *		🦻 Поиск в Справке по SolidWorks 🔎 🔹 👝 📾
Q Консультант исследовани: •	Применить материал	консультант по крепле	Консультант по внешни	9] Консультант по соедин	Banyox T	Консультант по резуль	П Деформированный результат	00 Сравнить результаты	🕒 Design Insight 🕅 Инструменты эпюры	 Отчет Включить изображение в отчет 	
Сборка Р	асположение	Эскиз	Анализироват	ть Продукть	Office	Simulation			Q Q 🗞 🚺 🖆] = 🗊 = 6g = 🕐 🎎 = 📺 =	I I _ #



Далі функцією «застосувати матеріал» рис.5.12, 5.13 вибираємо деталі та назначаємо відповідний матеріал.



Рисунок 5.12

solidworks materials	Свойства	Таблицы и к	ривые	Внешний вид	Штриховк	а Настройка	Данные п
- 🔚 Сталь —	Creeking						
📑 1023 Листовая углеродистая сталь (SS	Матер	за материала малы в библи	отеке п	о умолчанию н	не могут рел	актироваться.	Необхолима
🚦 201 Отожженная нержавеющая сталь	матер	иал в настрое	енную по	льзователем	библиотеку	и затем его отр	едактирова
А286 Суперсплав на основе железа	Turn Ma		D				
📑 AISI 1010 Сталь, горяченакатанная по	1.601.150	одели.	линеинь	и упругии изо	тропне •		
	Едини	ЩЫ	СИ - Н/м	^2 (Па)	-		
▲ISI 1020	Измер	ориа:	Сталь				
🚦 AISI 1020 Сталь, холоднокатаная	Karen	ODRIA!	Сталь				
🚆 AISI 1035 Сталь (SS) 🛛 🗏	Имя;		AISI 104	5 Сталь, холо	днотянута		
🚦 АІSI 1045 Сталь, холоднотянутая	Крите	рий Г	Marcan				
E AISI 304	умолч	разрушения по Максимальное напряж		ение v(+			
🚦 AISI 316 Отожженная нержавеющая с	Описа	ние:					
📲 AISI 316 Нержавеющая сталь, лист (SS		[-
📑 AISI 321 Отожженная нержавеющая с	Источ	ник:					
📑 AISI 347 Отожженная нержавеющая с	Sustai	nability:	Опреде	пено			
📲 AISI 4130 Сталь, отожженная при 8650							
📲 AISI 4130 Сталь, нормализованная при	Contine				2	Egyment	
📲 AISI 4340 Сталь, отожженная	Monyme	VERVICETH	_		2 05e±011	Н/м^2	рения
📲 AISI 4340 Сталь, нормализованная	Коэффи	имент Пуассо	она		0.29	Не применима	2
AISI Тип 316L нержавеющая сталь	Модуль	сдвига			8e+010	Н/м^2	
📲 AISI Тип А2 Инструментальная сталь	Плотнос	ть			7850	кг/м^3	
Легированная сталь	Предели	прочности пр	и растя:	кении	625000000	Н/м^2	
📑 Легированная сталь (SS)	Предели	прочности пр	и сжати	ивХ		Н/м^2	
	Предел	текучести			530000000	Н/м^2	
Литая легированная сталь	Коэффи	циент теплов	soro paci	ширения	1.15e-005	/K	
📲 Литая углеродистая сталь	Теплопр Маельна	оводность	077 h		49.0	W/(M·K)	
📲 Литая нержавеющая сталь	Козффи	шиент лемпф	ировани	я материала	400	Не применима	
з хромистая нержавеющая сталь							

Рисунок 5.13

У вкладці «консультант по закріпленню» вибираємо функцію «Фіксована геометрія» рис.5.14



Рисунок 5.14

Далі назначаємо поверхні що потрібно зафіксувати та тиснемо галочку рис. 5.15.

👀 SOLIDWORKS 🕨 🗋 - 👌 - 🗐 - 🍇 - 🧐 - 🗎	k · 0 ₫ E ·	Сборка резца круг.пласт *	😵 Поиск в Справке по SolidWorks 🔎 🔹 📼 🖨
Консультант исследования праченать Консультант Консультант Консультант по крепле по внешни по соещи	тант Запуск Консультант Деформированный (по резуль Деформированный (результат ре	🔠 🗈 Design Insight Сравнить Инструменты эпоры сультаты Вилючить изображение в отче	- 34
Собриа Расположене Зокиз Анализировать Про	дукты Откое Simulation Ф [.] 🎯 Сборкъ резца круг.пласт	& ् ४ ॥ छ- ∄- ⊶- ● ▲- छ-	9 G - # ×
Rpancp A	3	объщика-Вылянуть3 от Резец кру	รภษพิ กภลcт<1>
Стандартный (Зафикорованная геометрия) 🛞 Зафикорованная геометрия Ролик/ползун Зафикорованный шарнор	3	9	
Дополнительно *	X		
Настройки обозначения 😵	 Исследование 3 1 Исследование 4 1 ж 	Исследование 2	

Рисунок 5.15.

Далі у верхньому меню переходимо до вкладки «Консультант із зовнішніх навантажень» рис.5.16.



Рисунок 5.16

Після цього відкривається розподіл сил навантаження рис.5.17.

🗊 so	DLIDWO	DRKS 🕨	6	- 🖬 - 🗞 -	- 19 -
Консул исследо	ьтант ования	Применить материал	Консультан по крепле	⊥₿ Консультант по внешни	Консула по соед
Сборк	a Pao	положение	Эскиз	Анализирова	ть Пр
9					
	C۲	∢ла∕враща	ающий мо	мент	?
🖌 🗙	-12				
Тип Р	азделит	Þ			
Сила/в	зращак	щий момен	т		~
	ила				
🛞 в	ращаюц	ий момент			
(Норма	пьная			
) Выбра	нное направл	ение		
	I				-
1	1		• N		
E	Реверо	направления	a		
٩	На объ	ект			
0	Итого				
ПНер	авноме	ерное распр	еделение		≈
Настр	ойки об	означения			≈
	INT I		имания1	>+ Исспелов:	ание 1

Рисунок 5.17

Далі потрібно вибрати напрямок, на рис.5.18 обведено червоним. Потім на пластині вибираємо точку напрямку та розставляємо сили різання Pz, Px, Pyє



Рисунок 5.18.

Після цієї операції записуємо розрахункові сили різання що отримали при розрахунку, на рис.5.19 обведено червоним.

🗊 SOLIDWORKS 🕨 🗋 - 🖻 - 🔚 - 🗞 - 🦃	- 13 - 8 🖆	• =		C	борка резца круг.пласт *	
Консультант применить натериал по креплен	¶] Вапуск медин	Консультант по резуль	П Деформированный результат	Сравнить результаты	🚡 Design Insight 🛣 Инструменты эпкоры	 Отчет Включить изображение
Сборка Расположение Эскиз Анализировать Г	Іродукты Office	Simulation			Q Q 🗞 🔳 🎬	- for - O P
В Сула/вращающий момент ? Сула/вращающий момент ? X -!# Im Разделять	⊕- № Сборк:	а резца круг.пл	19CT			
диницы измерения	Вдоль п	лоскости - напр	авление 1 (N): 1000			
	Вдоль п. Перпенд	лоскости - напр µкулярно плосю	авление 2 (N): 2000 юсти (N): 3000		HAN CI	III
Неравномерное распределение ¥ Настройки обозначения ¥						
Модель Анимация1 💥 Исследование 1	0 Исследов	вание 3 🛛 🙀 🛛	Исследование 4	¥ Исследова	ание 2	

Рисунок 5.19

Далі у верхньому меню натискаємо вкладку «Запуск» та чекаємо доки програма виконає розрахунок. В кінці ми отримуємо «Напруги, Переміщення та Деформації» показано на рисунку 5.20.



Рисунок 5.20.

Щоб отримати звіт по навантаженню моделі, у верхньому меню знаходимо вкладку «Звіт» рис.5.21. після натискання відкриється вікно рис.5.22 в якому потрібно буде вибрати місце збереження файлу та натиснути «Опублікувати», та в кінці отримуємо звіт у файлі (doc.)



Рисунок 5.22

Функція переміщення

Для отримання результатів переміщення потрібно перейти у вкладку «Переміщення» рис 5.23. натиснув двічі лівою клавішею миші. За допомогою функції «Сили» що знаходиться у вкладці «Консультант із зовнішніх навантажень» рис.11, можна змінювати переміщення об'єкту завдяки зміні сил.



Рисунок 5.23

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6. ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДЕТАЛІ

Термічні навантаження

Як приклад термічного розрахунку проведемо розрахунок моделі "Різець з круглою пластиною для обробки колісних пар ЖД".

1. Термічне навантаження моделі і запуск Simulation.

Навантажте файл модель "Різець з круглою пластиною для обробки колісних пар ЖД". Без моделі майстер розрахунку на термічне навантаження не запуститься. Переходимо у вкладку відкритої моделі різця. У верхньому меню відкриваємо вкладку «Продукти Office» рис.3 та відкриваємо «Solid Works Simulation» після чого чекаємо доки не з'явиться вкладка «Simulation» рис.4. Переходимо до вкладки «Simulation», після чого у верхньому меню з'явиться консультант дослідження рис.5. На вкладці «Консультант дослідження» відкриваємо «Нове дослідження» та обираємо «термічне» рис.6.1.

Coof	Сообщение						
Иссл пото излу	едовать распределение температуры и тепловой к, обусловленные проводимостью, конвекцией и чением						
Имя		*					
-	Исследование 2						
Тип		*					
X	Статическое						
QY	Частота						
Q	Потеря устойчивости						
	Термический						
	ермический в ударную нагрузку						
	Усталость						
¢	Нелинейное						
<mark>⊳</mark> Ÿ	Линейная динамика						
0	Проектирование сосуда давления						

Рисунок 6.1

У верхньому меню з'являються додаткові функції рис. 6.2.

💷 SOLI	DWORKS	🗋 - 🖒	• 🔒 • 🍓 •	. 4) - (🗟 🚽 🛢 🔗	•	
Q Консульт исследова	ант применить материал	28 Термические нагрузки	Р Консультант по соедин	<mark>ій</mark> Запуск	Консультант по резуль	Деформированный результат	20 Сравнить результаты
•			-		*		
Сборка	Расположение	е Эскиз	Анализирова	ть Про	одукты Office	Simulation	

Рисунок 6.2

Далі функцією «застосувати матеріал» рис. 6.3, вибираємо деталі та назначаємо відповідний матеріал.

solidworks materials	Свойства	Таблицы и кривые	внешний вид	Штриховк	а Настройка	Данные п
Сталь	Свойсте	за материала				
📲 1023 Листовая углеродистая сталь (SS	Матер	иалы в библиотеке	по умолчанию н	е могут ред	актироваться.	Необходимо
	матер	иал в настроенную	пользователем	библиотеку	и затем его отр	едактироват
А286 Суперсплав на основе железа	Тип ма	лели Пиней	นะเห้ บาวบารหลั หรอ			
AISI 1010 Сталь, горяченакатанная по	17111715	Линси	пый упругий изо			
АІЅІ 1015 Сталь, холоднотянутая (SS)	Едини	си-н	/м^2 (Па)	-		
AISI 1020	Катег	ория: Сталь				
🚦 AISI 1020 Сталь, холоднокатаная	Karon	орли.				
📲 AISI 1035 Сталь (SS) 🛛 🗉	Имя;	AISI 1	045 Сталь, холо	днотянута		
	Крите	рий				
AISI 304	разру	шения по макси	мальное напряж	ение V		
📲 AISI 316 Отожженная нержавеющая с	Описа	ние;				
📲 AISI 316 Нержавеющая сталь, лист (SS	11					-
📲 AISI 321 Отожженная нержавеющая с	Источ	ник:				
🚦 AISI 347 Отожженная нержавеющая с	Sustai	nability: Onner	елено			
🚦 AISI 4130 Сталь, отожженная при 8650		arther	(cricile			
🚦 AISI 4130 Сталь, нормализованная при				-	2	
AISI 4340 Сталь, отожженная	Своисте	30		Значение	Единицы изме	рения
🚦 AISI 4340 Сталь, нормализованная	Корффи	упругости		2.050+011	H/M"2	
AISI Тип 316L нержавеющая сталь	Молупь	слвига		8e+010	Н/м^2	,
AISI Тип А2 Инструментальная сталь	Плотнос	ть		7850	кг/м^3	
Легированная сталь	Предел	прочности при раст	яжении	625000000	Н/м^2	=
📲 Легированная сталь (SS)	Предел	прочности при сжа	тии в Х		Н/м^2	
3 ASTM АЗ6 Сталь	Предел	текучести		53000000	Н/м^2	
— — — — — — — — — — — — — — — — — — —	Коэффи	циент теплового ра	сширения	1.15e-005	/K	
= Литая углеродистая сталь	Теплопр	оводность		49.8	W/(м-К)	
3 Литая нержавеющая сталь	Удельна	я теплоемкость		486	J/(кг·К)	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Козффи	имент лемпфирова	ния материала	S	Не применимо	1
3 Хромистая нержавеющая сталь						

Рисунок 6.3.

Далі у верхньому меню обираємо вкладку «Термічні навантаження» та функцію «Температура» рис. 6.4.



Рисунок 6.4. - Призначаємо розраховану температуру відповідному об'єкту рис.6.5.



Рисунок 6.5. - Після чого у верхньому меню обираємо функцію «Запуск» рис.6.6.

Q Консульта исследова	ант Iния	∎ Применить материал	Е Термические нагрузки	₩ Консультант по соедин	Запуск	Консультант по резуль	Деформированный результат
Сборка	Pa	сположение	Эскиз	Анализирова	ть Пр	одукты Office	Simulation
ভি িন্দ্র ট্রন্ট্র্র্ড (ф)	Pese	е ц круглый п	ласт<1> (По	умолчанию<-	Запу Запу <Г текул	ск ск решающей цего исследов	программы для ания.

Рисунок 6.6

Після декількох підтверджень ми отримуємо розраховану модель з термічним навантаженням, рис.6.7



Рисунок 6.7

Щоб отримати звіт по навантаженню моделі, у верхньому меню знаходимо вкладку «Звіт» рис.6.8 після натискання відкриється вікно рис.6.9 в якому потрібно буде вибрати місце збереження файлу та натиснути «Опублікувати», та в кінці отримуємо звіт у файлі (doc.)

						Сборка резца круг.пласт *				
Консультант исследования Материал	С Термические нагрузки	Р Консультант по соедин	<mark>ій</mark> Запуск	Консультант по резуль	Деформированный результат	Сравнить результаты	Инструменты эпюры	 Отчет Включить из б 	ражение в отчет	
Сборка Расположени	е Эскиз	• Анализирова	ть Пр	одукты Office	Simulation	DIRACT	Отчет Генерация от текущего ана.	чета Word для лиза исследования.	65 - 📀 & -	

Рисунок 6.8.

🗊 SOLIDWORKS 👔 🗋 • 😂 • 🗐 - 🗍	3 - 8 🖆	😧 👻 Сборка резца круг.пласт *	😵 Поис	ж в Справке по SolidWorks 🔎 🔹 👝 (
Консультант Применитъ натеризан натеризан по соедини. В ¶ Вериненитъ натеризан по соедини. В по соедини.	Консультано резуль.	Параметры отчета 🐱 Текущий формат отчета: Формат теркического исследования Разветь отчета: Порметть пазлелов		Ď
Сбориа Расположение Эскиз Анализировать Про	дикты Отбек Има исст Има исст Тип эпоре Времения	Радаль отчетя: Радаль отчетя: Обланиение Обланиение Сосинства исолодования Сремность исолодования Сремность исолодования Облание Облание Сосинства исолодования Сремность исолодования Создатель: Соз		 I II I
подств / лимация / осследование /	• последо	panie o 147 recordopanie -		

Рисунок 6.9.

Вивчити фізико-технологічні основи процесу обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП) різального інструменту; вивчити конструктивні особливості та області раціонального використання робототехнічного комплексу ОІМП-РК1.

5.5 Зміст звіту

- 1 Тема роботи.
- 2 Мета роботи.

7 Стислий опис конструктивних особливостей та призначення основних складових частин комплексу.

8 Стисла технічна характеристика комплексу.

9 Технологічний процес виконання конкретної операції на комплексі із зазначенням технологічних режимів обробки.

1. Карімов І.К. Інформатика та програмування: Навч. посіб./ І.К.Карімов, О.І.Литвин, С.А.Нужна та інш. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014.- 387 с.

2. Клименко Г.П., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В. Якість і надійність технологічних систем: Навчальний посібник.- Краматорськ: ДДМА, 2018.-199с.

3. Долженков В.А. Microsoft Excel 2003 / В.А. Долженков, Ю.В. Колесников. - СПб. : БХВ- Петербург, 2004. - 1023 с.

4. Михеева В.Д. Microsoft Access 2003 / В.Д. Михеева, И.А. Харитонова. - БХВ-Петербург,2004. -1069 с.

5. Кирьянов Д.В. Mathcad 14. - СПб.: БХВ-Петербург, 2007.- 686 с.

6. Павленко, П. М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. /П. М. Павленко.– К. : Книжкове вид-во НАУ, 2010. – 201 с.

7. Алямовский А.А. Инженерные расчёты в Solidworks Simulation ДМК, 2010.- 464 с.

8. Гаков С.О. Проектування різальних інструментів в SolidWorks Навчальний посібник, С.О. Гаков, О.Ю. Андронов - Краматорск: ДГМА, 2012. - 84 с.

9. Автоматизоване проектування різальних інструментів: навч. посіб. / В. Б. Копей, О.Р. Онисько, Л.О. Борущак, Л.Я. Роп'як. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. - 208 с.

10. Васильев Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1987. - 280 с.

11. Системы автоматизированного проектирования станков: Курс лабораторных работ. Ч 1/С. А. Гаков. Краматорск.: ДГМА, 2010. 52 с.

12. Системы автоматизированного проектирования станков: Курс лабораторных работ. Ч 2/С. А. Гаков. Краматорск.: ДГМА, 2010. 56 с.

13. Системы автоматизированного проектирования станков: Курс лабораторных работ. Ч 3/С. А. Гаков. Краматорск.: ДГМА, 2010. 48 с.

14. Системы автоматизированного проектирования станков: Проектирование моделей, управляемых таблицами параметров. // С. А. Гаков. Краматорск.: ДГМА, 2010. 44 с.

15. Расчетный анализ деформационных, динамических и температурных характеристик шпиндельных узлов при проектировании: Методические рекомендации / Сост.: 3. М. Левина и др. М.: ЭНИМС, 1989. 64 с.

16. Самоучитель SolidWorks 2010 / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. – СПб.:БХВ-Петербург, 2011.–416 с.: ил.

17. Общемашиностроительные нормативы резания. Токарные и карусельные работы. -М.: ВНИИТЭМР, 1985. - 98с.