

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження кінематичної точності подач універсальних
токарних верстатів імовірно-статистичними методами

Виконав: студент VI курсу, групи МВнм-61
спеціальності _____

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

_____ Ковальчук О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Крупа В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Ярема І. Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Кобельник В. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет _____ інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра _____ конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю _____ 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)
студенту _____ Ковальчуку Олександрю Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: _____ Дослідження кінематичної точності подач універсальних
_____ токарних верстатів імовірно-статистичними методами
Керівник роботи _____ Крупа Володимир Васильович, к.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом в.о. ректора від «25» березня 2022 року № 4/7-183

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 20.05.2022
3. Вихідні дані до роботи: Паспорти токарно-гвинторізних верстатів 16K20, 1K62, 16B04П,
16B16КП, контрольно-вимірвальні прилади

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналітичний розділ: аналіз публікацій з вибраної тематики; аналіз приводів подач досліджуваних токарно-гвинторізних верстатів, аналіз причин розсіювання подач токарних верстатів. 2. Експериментальні дослідження стохастичності подач: методика проведення експериментальних досліджень; опрацювання результатів досліджень; встановлення закону розподілу величини подачі. 3. Статистичний аналіз точності подач універсальних токарних верстатів: регресійний аналіз залежності дисперсії розсіювання від середнього значення величин подачі; оцінка точності кінематичних ланцюгів подач. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1. Тема, мета, завдання – 1 арк.; 2. Кінематичні схеми універсальних токарних верстатів – 1 арк.
3. Аналіз факторів, що впливають на точність подачі – 1 арк. 4. Методика проведення експериментальних досліджень – 1 арк. 5. Полігони та гістограми розподілу – 2-3 арк; 6. Підбір кривої розподілу – 1 арк; 7. Криві розподілу – 2-3 арк. 8. Перевірка узгодження дослідного закону і теоретичного – 1 арк; 9. Регресійний аналіз залежності середнього значення величини подачі та її дисперсії розсіювання – 1-2 арк; 10. Аналіз точності досліджуваних ланцюгів подач – 1 арк.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Сеник А.А., асистент каф. ВІ		
	Клепчик В.М., ст. викл. каф. ОХ		
Нормоконтроль	Ярема І.Т., доцент каф ВІ		

7. Дата видачі завдання

04.04.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний розділ	20.04.22	
	Аналіз публікацій з вибраної тематики		
	Аналіз приводів подач досліджуваних токарно-гвинторізних верстатів		
	Аналіз причин розсіювання подач токарних верстатів		
2	Експериментальні дослідження стохастичності подач	05.05.22	
	Методика проведення експериментальних досліджень		
	Опрацювання результатів досліджень		
	Встановлення закону розподілу величини подачі		
3	Статистичний аналіз точності подач універсальних токарних верстатів	15.05.22	
	Регресійний аналіз залежності дисперсії розсіювання від середнього значення величин подачі		
	Оцінка точності кінематичних ланцюгів подач		
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.05.22	
5	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	17.05.22	
6	Оформлення графічної частини	19.05.22	
7	Оформлення роботи в цілому	20.05.22	

Студент

(підпис)

Ковальчук О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Крупа В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ковальчук О.О. «Дослідження кінематичної точності подач універсальних токарних верстатів імовірно-статистичними методами». 133 «Галузеве машинобудування»; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2022р.

У роботі подано фактори, що впливають на величину подачі універсальних токарних верстатів. Розроблена методика вимірювання величини подачі та внаслідок проведених експериментальних досліджень сформовано статистичні ряди значень випадкової величини s . Отримано характеристики розсіювання величини подач на кожному із досліджуваних кінематичних ланцюгів. Внаслідок групування дослідних даних побудовано гістограми та полігони розподілу. Висловлено припущення та за критеріями Колмогорова та Пірсона доведено, що на кожному із кінематичних ланцюгів величина подачі підкоряється усіченому нормальному закону розподілу, усіченістю якого можна знехтувати. Виявлено взаємозв'язок середніх значень і дисперсій розсіювання величин подач. Запропоновано методику оцінювання точності кінематичних ланцюгів за коефіцієнтом точності, коефіцієнтом зміщення при налагодженні та комплексним показником точності.

Ключові слова: стохастичність, величин подачі, ланцюг подач, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, нормальний закон розподілу, точність.

ANNOTATION

Kovalchuk O.O. «Investigation of the kinematic feed accuracy of universal lathes by probabilistic-statistical methods». 133 «Industrial Engineering»; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2022

The factors influencing the feed rate of universal lathes are presented in this work. The method of feed rate measurement is developed and statistical series of the random variable s values are formed as the result of experimental investigations. The characteristics of the feed rate scattering on each of the investigated kinematic chains are obtained. Histograms and distribution polygons are constructed due to the research data grouping. It is assumed and proved by Kolmogorov and Pearson criteria that on each of the kinematic chains the feed rate complies the truncated normal distribution law, the truncation of which can be neglected. The relationship between the mean values and the scattering dispersions of feed values is revealed. The method of the kinematic chains accuracy estimation by accuracy factor, displacement coefficient during adjustment and complex accuracy indicator is proposed.

Keywords: stochasticity, feed rates, feed chain, dispersion, root-mean-square deviation, normal distribution law, accuracy.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз показників точності металорізальних верстатів

1.2. Аналіз публікацій з тематики дослідження

1.3. Аналіз приводів подач досліджуваних універсальних

токарних верстатів

1.3.1. Аналіз приводу подач верстата 16К20

1.3.2. Аналіз приводу подач токарно-гвинторізного верстата 1К62

1.3.3. Аналіз приводу подач верстата 16Б04П

1.3.4. Аналіз приводу подач верстата 16Б16КП

1.4. Аналіз факторів, що впливають на точність подачі

1.5. Висновки по розділу, постановка мети та задач досліджень

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ

ОПРАЦЮВАННЯ

2.1. Методика проведення експериментальних досліджень

2.2. Результати експериментальних досліджень

2.3. Групування дослідних даних

2.4. Підбір кривої розподілу

2.5. Перевірка узгодження дослідного закону теоретичному

2.6. Висновки по розділу

РОЗДІЛ 3. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПОДАЧ

УНІВЕРСАЛЬНИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

3.1. Регресійний аналіз залежності середніх значень і дисперсій розсіювання величин подач

3.2. Аналіз точності досліджуваних ланцюгів подач

3.3. Висновки по розділу

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

4.1.1. Правила безпечної роботи на токарних верстатах

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Захист організму від негативного впливу

електромагнітних полів

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Актуальність теми. Однією із головних завдань обробки металів та машинобудування в цілому є забезпечення якісних показників поверхні. На якість поверхні найбільше впливають технологічні режими обробки, такі як швидкість різання, подача, глибина різання, умови обробки, а також геометричні та якісні параметри інструменту. Проте найголовнішим фактором, що визначає якість обробки є технічний стан верстата, на якому здійснюється обробка. Незважаючи на масове впровадження верстатів з ЧПК у виробництво, які здатні забезпечити високі вимоги до точності поверхонь деталей велика кількість операцій проводяться все ще на універсальних верстатах через їх низьку вартість та доступність.

Після припинення роботи численних великих підприємств виробництва переорієнтовуються на малі фірми, які виготовляють деталі на замовлення малими партіями. Виробництво переорієнтувалось на дрібносерійне та одиничне. Часто випускники інженерно-технічних спеціальностей не маючи можливості знайти роботу за фахом відкривають своє виробництво «в гаражах», купляючи при цьому «вживані» універсальні верстати за умов обмеженості фінансових ресурсів.

Найчастіше в таких умовах необхідно вдало підібрати «вживане» обладнання, яке б дозволило забезпечувати високу точність оброблюваних деталей. В такому випадку перед придбанням проводять необхідну перевірку точності верстата, що регламентується стандартом. Показники, які характеризують геометричну точність перевірити не складно. Проте методики перевірки показників кінематичної точності, зокрема токарних верстатів, а саме: точності переміщення супорта за один оберт шпинделя та точності забезпечення обертів шпинделя в технічній літературі висвітлено недостатньо.

Тому розробка методики дослідження розсіювання величини подачі на токарних верстах а пропозиції щодо оцінки її точності, яка дозволила б визначити ступінь зношування ланцюгів подач є безумовно актуальною задачею.

Метою роботи є розробка методики оцінки точності величини подачі універсальних токарних верстатів з використанням імовірно-статистичних методів.

Основні завдання:

1. Запропонувати методику дослідження величини подачі на токарних верстатів, визначити характеристики розсіювання.
2. Встановити закон розподілу величини подачі на підставі критеріїв узгодження.
3. Дослідити взаємозв'язок середнього значення величини подачі та її дисперсії розсіювання на основі регресійного аналізу.
4. Запропонувати методику та оцінити точність величин подач.

Об'єкт дослідження: універсальні токарно-гвинторізні верстати.

Предмет дослідження: точність кінематичних ланцюгів подач універсальних токарних верстатів.

Методи дослідження: В основі роботи покладено вимірювання величин подачі універсальних токарних верстатів та опрацювання результатів вимірювання методами теорії ймовірностей та математичної статистики.

Наукова новизна: набула подальшого розвитку теорія розсіювання величини подачі на універсальних токарних верстатах з встановленням її закону розподілу. Доведено, що взаємозв'язок дисперсії розсіювання величини подачі та її середнього значення описується лінійною залежністю.

Практична цінність: Запропонована інженерна методика оцінювання точності кінематичних ланцюгів подач універсальних токарних верстатів.

Публікації. Основні результати наукової роботи відображені у 1 тезах доповідей на конференції.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз показників точності металорізальних верстатів

Показники точності металорізальних верстатів поділяються на показники геометричної точності та кінематичної точності і регламентуються стандартом [1]. Відповідно до [1] точність металорізальних верстатів визначається трьома групами показників: показники, що характеризують точність обробки зразків-виробів; показники, що характеризують геометричну точність верстатів та додаткові показники.

До показників, що характеризують точність обробки зразків-виробів, відносяться:

- точність геометричних форм та розташування оброблених поверхонь зразків-виробів;
- сталість розмірів партії зразків-виробів;
- шорсткість оброблених поверхонь зразків-виробів.

До показників, що характеризують геометричну точність верстата, відносяться:

- точність баз для встановлення заготовки та інструменту;
- точність траєкторій переміщень робочих органів верстата, що переміщують заготовку та інструмент;
- точність розташування осей обертання та напрямків прямолінійних переміщень робочих органів верстата, які несуть заготовку та інструмент, відносно один одного та щодо баз;
- точність взаємопов'язаних відносних лінійних та кутових переміщень робочих органів верстата, що несуть заготовку та інструмент;
- точність ділільних та настановних переміщень робочих органів верстата;
- точність координатних переміщень (позиціонування) робочих органів верстата, що несуть заготовку та інструмент;
- стабільність деяких параметрів при багаторазовості повторень

перевірки, наприклад, точність підведення на жорсткий упор, точність малих переміщень підведення.

До додаткових показників точності верстата відносяться здатність збереження взаємного розташування робочих органів верстата, що несуть заготовку та інструмент, за умови:

- додаткового зовнішнього навантаження (показники жорсткості);
- впливу тепла, що виникає під час роботи верстата на холостому ході;
- коливань верстата, що виникають під час роботи верстата на холостому ході.

Стандарт регламентує значення показників геометричної точності, а щодо показників кінематичної точності то перевірку проводять лише на дослідній деталі.

Значною роботою щодо дослідженні і випробуванні верстат на геометричні та кінематичні точність є дослідження [2]. В цій публікації автори розглянули підходи до випробування на точність фрезерного верстата. Зокрема досліджено жорсткість певних вузлів на точність переміщення робочих органів. Розроблена комплексна методика випробування фрезерного верстата на визначення статистичної і динамічної жорсткості, дослідженні вібростійкості, випробуванні верстата на технологічну надійність.

1.2. Аналіз публікацій з тематики дослідження

Дослідження точності переміщення робочих органів та їх впливу на процес обробки приділяється значна увага. Тематики наукових праць в цій галузі можна розділити умовно на кілька напрямів:

- Розробці методів керування точністю обробки за рахунок різноманітних систем контролю переміщень робочих органів;
- Керуванням динамічними характеристиками та зміною режимів різання під час обробки;
- Безпосереднє дослідження розсіювання подач на верстатах і їх впливу на процес обробки.

Перший напрям присвячений розробці теоретичних та реалізаційних основ створення апаратно-програмних засобів управління механічною обробкою виробів, що забезпечують підвищення точності та оперативності контролю технологічного процесу на основі створення автоматизованої системи з використанням адаптивного нейронечіткого управління.

Зокрема в роботі [3] запропоновано модель адаптивної системи нейронечіткого управління точністю та стабільністю технологічного процесу механічної обробки деталей, що забезпечує регламентоване значення контрольованого параметра незалежно від закону його розподілу та зміни в часі систематичної складової похибки механічної обробки.

У роботі [4] встановлено перспективні напрями розробки конструкцій фрез з різною подачею на зуб та коловою траєкторією формоутворюючих рухів.

Суть методів діагностики верстатів в процесі обробки заключається в контролі певних параметрів заготовки, інструменту чи елементів самого верстата в певних межах [5-11]. Як тільки якийсь параметр виходить за межі допустимих значень система або вимикається або підкорегує режими різання і інші параметри процесу різання.

Наприклад в робота [5] спрямована на виявлення ефектів, впливу амплітуди коливань на параметри обробки. Підтверджено можливість зменшення амплітуди коливань та шорсткості обробленої поверхні при зміні розподілу мас у технологічній системі та доведено, що зміна розподілу мас у технологічній системі призводить до зміни форми коливань.

Роботи [6-7] присвячена вирішенню проблеми забезпечення якості обробленої поверхні шляхом суміщення вузла власних форм коливань із зоною оброблення, Отримані залежності впливу частот власних коливань вузлів верстата на шорсткість обробленої поверхні. Подано шляхи підвищення стабільності процесу різання шляхом управління елементами режимі різання в процесі обробки.

Суть методів діагностики верстатів в процесі обробки заключається в контролі певних параметрів заготовки, інструменту чи елементів самого

верстата в певних межах [8-13]. Як тільки якийсь параметр виходить за межі допустимих значень система або вимикається або підкорегує режими різання і інші параметри процесу різання.

Робота [14] присвячена підвищенню точності обробки на токарних верстатах-автоматах шляхом розробки конструкції різцетримачів з можливістю підрегулювання їх в процесі обробки і компенсації систематичних похибок.

Проте важливим є і процес контролю параметрів верстата не в процесі обробки для виявлення його технічного стану, зокрема параметрів його кінематичної точності.

Велика кількість праць присвячена дослідженню стохастичності подач верстатів різного технологічного призначення, з використанням в тому числі імовірісно-статистичних методів.

Дослідженню розсіювання подачі токарних верстатів присвячені роботи [15-178]. У працях [15-16] досліджено розсіювання подач верстат 16К20, а в [17] – верста 1А62 в імовірнісному аспекті, а також здійснена спроба їх оцінки.

Більш ґрунтовними дослідженнями стохастичності подач на токарних верстатах є [18,19]. В них запропоновано методику та проведено дослідження розсіювання величини подачі на універсальних токарних верстатів та подано їх вплив на висоту мікронерівностей профілю оброблюваної поверхні.

Крім дослідження стохастичності подач токарних верстатів опубліковано ряд досліджень по верстатах іншого технологічного призначення, зокрема свердлильних та фрезерних.

В працях [20-22] проведені дослідження розсіювання подач для свердлильного верстата 2Н118. Доведено, що величина подачі свердлильних верстатів підкоряється нормальному закону розподілу.

Аналогічні дослідження для фрезерних верстатів опубліковані в працях [23-25]. В даних роботах запропонована оригінальна методика визначення нерівномірності подач свердлильних верстатів, зважаючи, що приводи головного руху і подач у цих верстатів розділені.

В усіх вищенаведених роботах доведено, що величина подачі підкоряється нормальному закону розподілу, проте в них проведені виміри на одному верстаті.

В роботах [26-28] для дослідження стохастичності подач використано теорію малої вибірки за методом ітерацій. Зокрема в праці [26] використано теорію малої вибірки для встановлення закону розподілу та визначено характеристики розподілу, в [27] запропоновано уточнений метод апріорно-емпіричних функцій для визначення характеристик розподілу подачі, а в [28] із використанням теорії малої вибірки подана методика визначення впливу подачі на силу різання при розточуванні та зенкеруванні.

Нерівномірність подач на верстатах та їх вплив на параметри обробки, зокрема шорсткість досліджувались у роботах [29-35]. Зокрема, роботи [29-31] присвячені розробці математичних моделей дослідження впливу та нерівномірності подачі на шорсткість з використанням теорії ймовірностей. У роботах [32-35] проведені дослідження зменшення впливу нерівномірності подачі на параметри шорсткості та здійснена спроба встановити ці закономірності. У ґрунтовному дослідженні [35] проаналізовано вплив подачі на шорсткість поверхні в імовірнісному аспекті не тільки для обробки сталей а й кольорових металів.

Деяка кількість наукових публікацій [36-39] присвячена розробці конструкцій інструментів, зокрема розточувальних головок з нерівномірним розміщенням різців та впливу стохастичності подачі верстата та подачу на кожному із різців. Зокрема наведено відповідні математичні залежності як без врахування радіуса вершин [36-37], так із його врахуванням [38-39]. Окремим дослідженням є робота [40], в якій застосований подібний підхід до розробки конструкцій торцевих фрез із врахуванням стохастичності подач. Дослідження робіт [29-39] відображені у патентах [41-47], в яких запропоновано конструкції розточувальних головок [41-43], зенкера [44] та багатолезових розточувальних інструментів [45-47] з асиметричним розміщенням різців.

У роботі [48] зроблена спроба оцінки поточного стану та залишкового ресурсу верстата та надані певні рекомендації, однак вони не поширюються на кінематичні ланцюги подач.

Праця [49] присвячена підвищенні точності обробки на токарних верстатах-автоматах шляхом розробки конструкції різцетримачів з можливістю підрегулювання їх в процесі обробки і компенсації систематичних похибок.

1.3. Аналіз приводів подач досліджуваних універсальних токарних верстатів

1.3.1. Аналіз приводу подач верстата 16K20

Привід подач [50] відповідно до кінематичної схеми верстата (рис. 1.1) включає наступні ланцюги і вузли

- Ланка збільшення кроку різі – забезпечує збільшення вихідної частоти обертання по відношенню до частоти обертання шпинделя у співвідношенні: 1:2, 1:8, 1:32. Забезпечує подвійний блок у шпиндельній бабці при підключенні $z = 45/45$;

- Механізм реверсу - служить для зміни напрямку руху супорта при тому самому напрямку обертанні шпинделя. Здійснюється підключенням проміжної шестерні – трензеля;

- Гітара змінних коліс – включає змінні шестірні K, L, M, N. Служить для порівняно рідкісного переналаштування чисел обертів;

- Коробка подач – коробка подач отримує рух від шпиндельної бабки через гітару та задає різні швидкості обертання ходового валу та ходового гвинта;

- Механізм подач - перетворює обертання ходового валу в поступальний рух супорта поздовжнього, поперечного або різцевих санок. Ходовий гвинт при цьому має бути вимкнено.

- Механізм подач при нарізанні різей - перетворює обертання ходового гвинта в поступальний подовжній рух супорта.

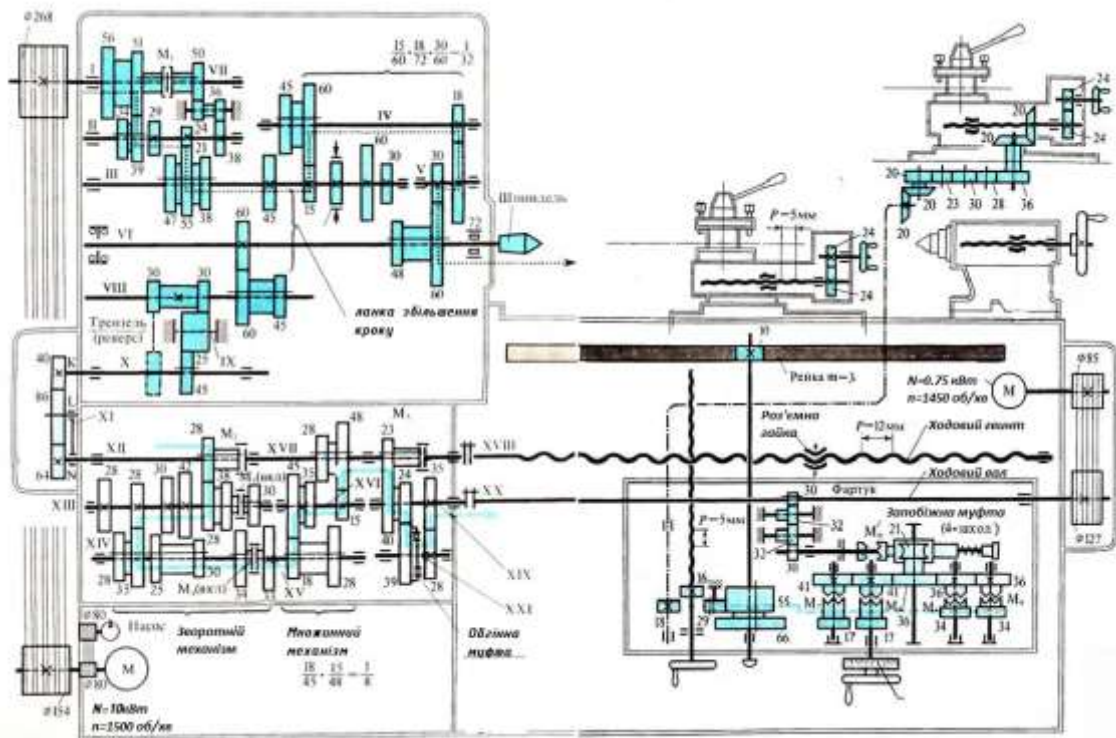


Рис. 1.1. Кінематична схема верстата 16K20

Кінематичний ланцюг подачі узгоджує обертання шпинделя з переміщенням супорта в поздовжньому або поперечному напрямках: за 1 оберт шпинделя супорт повинен переміститися на величину S .

Кінематичний ланцюг поздовжніх подач супорта

Рівняння кінематичного балансу ланцюга поздовжньої подачі (рис. 1.1) має вигляд:

$$S = 1 \text{ об.шп.} \cdot z_1/z_2 \cdot \pi \cdot m \cdot z \text{ мм/об, де:}$$

- z_1/z_2 - передавальне відношення приводу подачі від шпинделя до рейкового колеса;

- $\pi \cdot m \cdot z$ - довжина діляльного кола рейкового колеса. $\pi \cdot m \cdot z = 3,1416 \cdot 3 \cdot 10 = 94,248$;

- m – модуль зубчастої рейки, $m = 3$ мм;

- z – число зубів рейкового колеса, $z = 10$.

Універсальна коробка подач 16K20 забезпечує 22 поздовжні подачі, мм/об:

• 0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,4; 2,8; 2,4; 2,8

Рівняння кінематичного ланцюга для отримання мінімального поздовжнього подання можна записати у такому вигляді:

$$S_{\text{позд}} = 1 \text{ об. шп.} \times \frac{60}{60} \times \frac{30}{45} \times \frac{40}{73} \times \frac{73}{64} \times \frac{28}{28} \times \frac{28}{35} \times \frac{18}{45} \times \frac{15}{48} \times \frac{23}{40} \times \frac{24}{39} \times \frac{28}{35} \times \frac{30}{32} \times \frac{32}{32} \times \frac{32}{30} \times \frac{4}{21} \times \frac{36}{41} \times \frac{17}{66} \times \pi \times 3 \times 10 = 0,05 \text{ мм/об} \quad (0,0478$$

мм/об)

Кінематичний ланцюг поперечних подач супорта

Рівняння кінематичного балансу ланцюга поперечної подачі має вигляд:

$$S = 1 \text{ об. шп.} \cdot z_1/z_2 \cdot p \text{ мм/об, де:}$$

• z_1/z_2 - передавальне відношення приводу подачі від шпинделя до рейкового колеса;

• p – крок ходового гвинта поперечної подачі, $p = 5$ мм

Відповідно кінематичний ланцюг поперечної подачі узгоджує обертання шпинделя та поперечного ходового гвинта; величина поперечної подачі при одному і тому ж налагодженні верстата становить 1/2 поздовжньої.

Рівняння кінематичного ланцюга для отримання максимально поперечної подачі можна записати у такому вигляді:

$$S_{\text{поп}} = 1 \text{ об. шп.} \times \frac{60}{60} \times \frac{30}{45} \times \frac{40}{73} \times \frac{73}{64} \times \frac{28}{28} \times \frac{42}{30} \times \frac{28}{35} \times \frac{35}{28} \times \frac{23}{40} \times \frac{24}{39} \times \frac{28}{35} \times \frac{30}{32} \times \frac{32}{32} \times \frac{32}{30} \times \frac{4}{21} \times \frac{36}{36} \times \frac{34}{55} \times \frac{55}{29} \times \frac{29}{16} \times 5 = 0,35 \text{ мм/об}$$

У коробці подач токарно-гвинторізного верстата 16к20 подачі розташовані не за геометричним рядом, тому налаштування верстата на необхідну подачу проводять за таблицями, розташованими на панелі передньої бабки.

У разі нарізування точних різей оберти можуть передаватися від гітари змінних коліс безпосередньо на ходовий гвинт з кроком $t = 12$ мм через вали

XII, XVII, XXIII при включених зубчастих муфтах M2 і M5, минаючи механізм коробки подач (рис. 1.1). Можливі наступні поперечні подачі, мм/об:

• 0,025; 0,03; 0,0375; 0,045; 0,05; 0,0625; 0,075; 0,0875; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,2; 1,4.

Коробка подач верстата - уніфікований вузол 16Б20П та є типовою конструкцією закритої коробки з пересувними блоками (рис. 1.2).

Зв'язок шпинделя та супорта верстата для забезпечення оптимального режиму різання здійснюється за допомогою механізму подач, що складається з реверсуючого пристрою (трензеля) та гітари, які здійснюють зміну напрямку та швидкості переміщення супорту.

Коробка подач закріплена на станині нижче шпиндельної (передньої) бабки і має кілька валів, на яких встановлені рухомі блоки зубчастих коліс і зубчасті муфти, що перемикаються. У правому положенні муфти отримує обертання ходовий гвинт, а лівому її положенні (як показано на малюнку) через муфту обгону обертається ходовий вал.

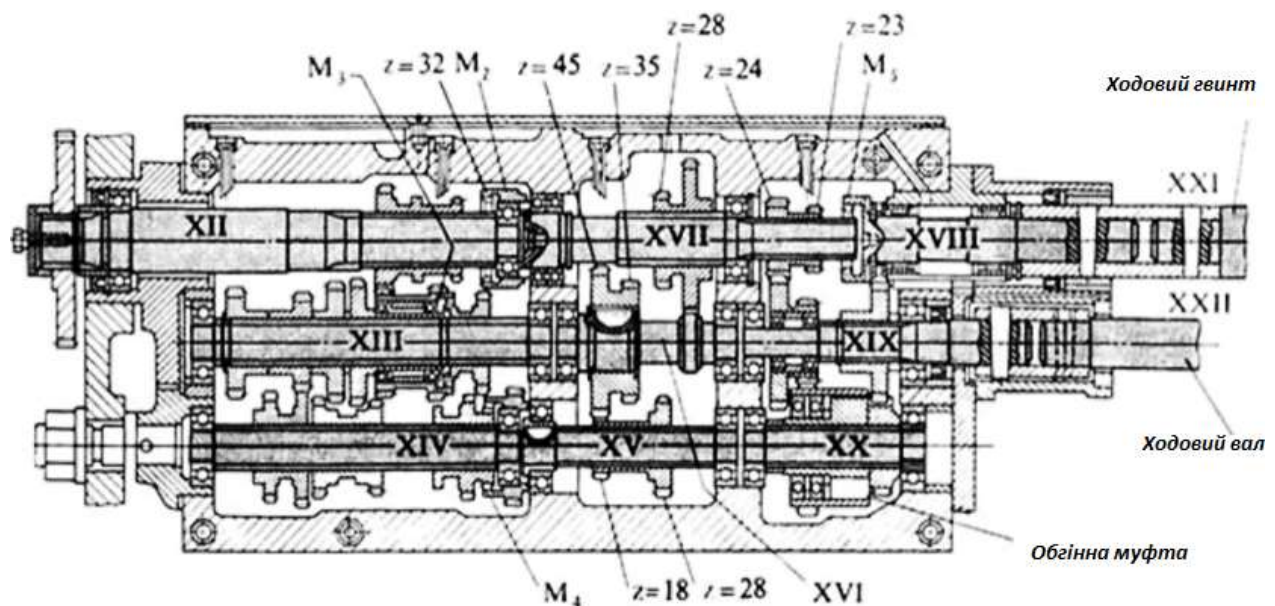


Рис. 1.2. Схема коробки подач токарного верстату 16К20

Коробка передач служить для передачі обертання від вихідного валу (вісь I) шпиндельної бабки на вихідний вал (вісь II) коробки подач з допомогою установки комбінацій змінних шестерень відповідно до схемами таблиці. Верстат можна налагоджувати на нарізування різних різей.

Змінні шестерні К і N монтується на шліцевих валах і закріплюються болтами через шайби.

Проміжні шестерні L і M встановлюються на шліцевій втулці осі, що закріплюється за допомогою ключа в необхідному місці паза кронштейна 3, який фіксується гайкою. На торцях змінних шестерень К, L, М, N нанесені число зубів z і модуль.

Механізми фартуха і супорта

Для передачі руху токарного верстата 16К20 механізму фартуха служить ходовий вал ХХ. По ньому вздовж шпонкового паза ковзає зубчасте колесо $z=30$, що передає обертання через колеса $z=32$ $z=32$ $z=30$ при включеній муфті і черв'ячну пару 4/21 валу ХХІІ. (рис. Кінематична схема)

Для отримання поздовжньої подачі супорта і його реверсування включають одну з кулачкових муфт – M_4 або M_5 . Тоді обертання від валу ХVІІ передається зубчастими колесами далі рейковому колесу $z=10$ $m=3$, яке передає рух нерухомо пов'язаній зі станиною верстата рейці, здійснюючи поздовжнє переміщення супорта.

1.3.2. Аналіз приводу подач токарно-гвинторізного верстата 1К62

Механізм подачі

Механізм подачі [51] включає чотири кінематичні ланцюги: гвинторізну, поздовжньої і поперечної подачі, ланцюг прискорених переміщень супорта. Обертання валу VІІІ передається від шпинделя V через зубчасті колеса 25-26, а при нарізанні різьблення зі збільшеним кроком - від валу VІ через ланку збільшення кроку і далі через зубчасті колеса 27-28. У цьому випадку ланка збільшення кроку може дати чотири варіанти передач (рис. 1.3):

шпиндель V, колеса 21-20, 29-19, 17-27-28, вал VІІІ;

шпиндель V, колеса 21-20, 29-19, 16-30, 27-28, вал VІІІ;

шпиндель V, колеса 21-20, 31-18, 17-27-28, вал VІІІ;

шпиндель V, колеса 21-20, 31-18, 16-30, 27-28, вал VІІІ.

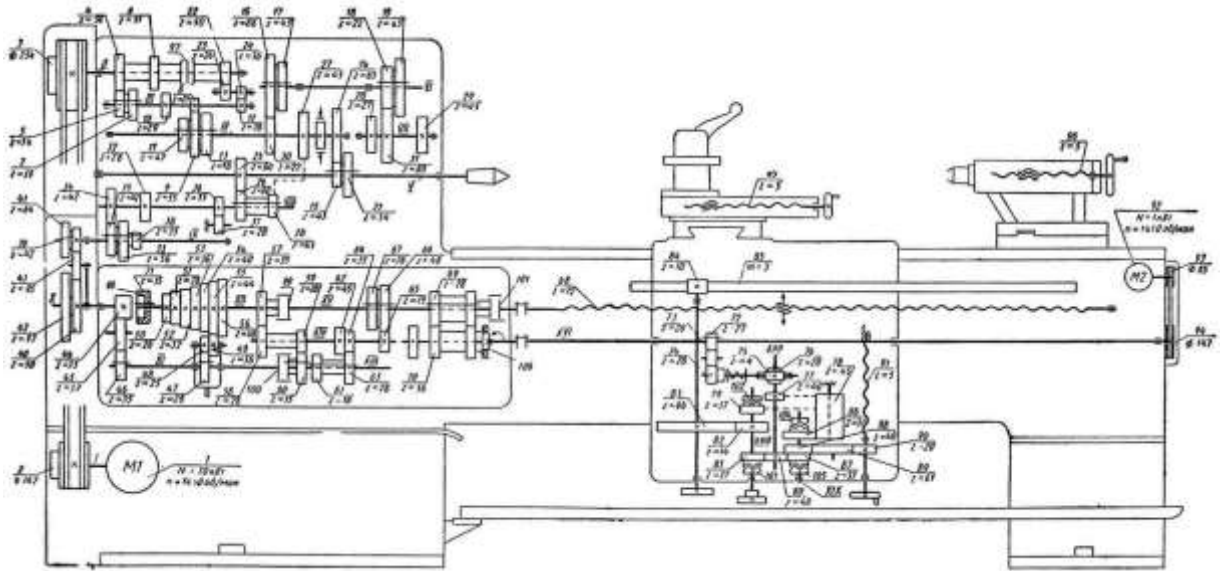


Рис. 1.3. Кінематична схема верстата 1К62

З вала VIII (рис. 1.3) рух передається по ланцюгу коліс 32-33 або 34-35, або через реверсивний механізм з колесами 36-37-38, змінні колеса 39-40 або 41-42 і проміжне колесо 43 на вал X. Звідси рух можна передати по двом варіантам зачеплення зубчастих коліс. Обертання передається через зубчасті колеса 44-45-46 на вал XI, потім через колеса 47-48 і накидне колесо 49 зубчастого конуса механізму Нортон (колеса 50-56) і далі по ланцюгу зубчастих передач 57-58, 59-60, 61-62 або 63-64 через колеса 65-66 або 64-67-валу XV. Потім обертання може бути передано або ходового гвинта 68, або ходового валу XVI. У першому випадку через муфту 101, у другому через пару 69-70 і муфту обгону 106. З валу X через муфту 98, тобто при зчепленні зубчастих коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення 44-71 обертання передається конусу Нортон, який стає провідною ланкою, а потім через колеса 49-48-47 валу XI і далі, через муфту 100 - валу XIII, а від останнього далі по ланцюгу першого варіанту.

Конструктивні особливості приводу подач

Привод подач бере початок від шпинделя верстату. Далі через систему зубчастих передач рух передається на гітару і коробку подач. Коробка подач - отримує рух від шпиндельної бабки через гітару та задає різні швидкості обертання ходового валу та ходового гвинта.

Коробка подач закріплена на станині нижче передньої бабки. Всередині коробки знаходиться механізм передачі обертання від шпинделя до ходового валу і ходового гвинта, а також механізм регулювання частот обертання ходового гвинта і ходового вала з метою отримання різного кроку різей і різних подач.

У коробці подач також знаходиться обгінна муфта, що дозволяє включати прискорений хід супорта від окремого електродвигуна без вимикання ланцюга нормальних подач. Кінематична схема приводу подач подана на рис. ф

Механізм коробки подач (рис. 1.4,а) дозволяє отримати всі передбачені стандартами види різей та необхідні подачі.

Ходовий гвинт виконаний з кроком 12 мм (без ланки збільшення кроку)

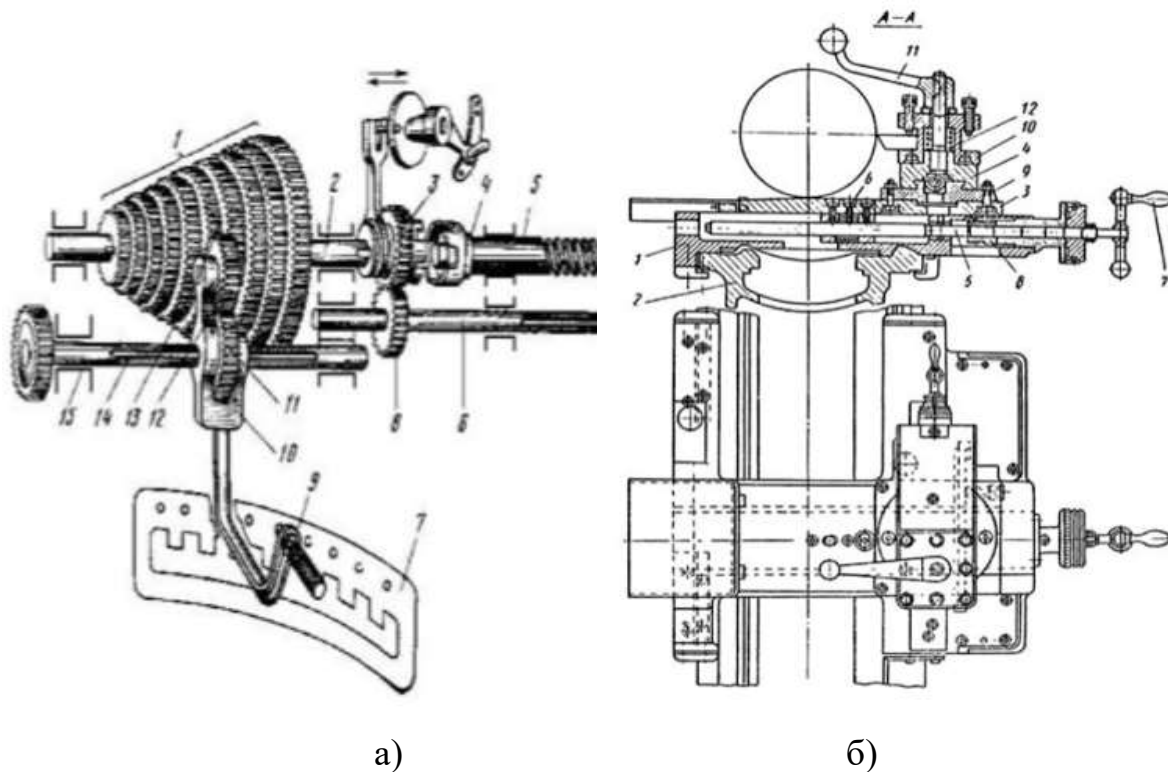


Рис. 1.4. Механізм Нортонa коробки подач токарного верстату 1К62 (а) та супорт (б)

Призначення коробки подач - змінювати швидкості обертання ходового гвинта та ходового валу, чим досягається переміщення супорта з обраною швидкістю в поздовжньому та поперечному напрямках.

Супорт (рис. 1.4, б) складається з наступних основних частин: нижніх салазок 1 для поздовжнього переміщення супорта по напрямних 2 станини, поперечної каретки 3 і різцевих салазок 4. Поперечна каретка переміщається по напрямних нижніх салазок з допомогою гвинта 5 і безлюфтової гайки подачі. Гвинт обертається за допомогою рукоятки 7, а при автоматичній - від зубчастого колеса 8. У кругових напрямних поперечної каретки 3 встановлена поворотна плита 9, в напрямних якої переміщуються різцеві салазки 4 з чотирьохпозиційним різцеутримувачем 10. Така конструкція дозволяє встановлювати і затискати плит різцевими салазками під будь-яким кутом до осі шпинделя. При повороті рукоятки 11 проти годинникової стрілки різцетримач 10 піднімається пружиною 12 один з нижніх отворів його сходять з фіксатора. Після фіксації різцетримача у новому положенні його затискають, повернувши рукоятку 11 у зворотному напрямку.

Фартух має чотири кулачкових муфти, які дозволяють здійснювати прямий і зворотній хід каретки супорта. Керування переміщеннями каретки і в нижній частині супорта здійснюється рукояткою. Напрямок включення рукоятки співпадає з напрямком переміщення супорта. Включення швидких переміщень супорта у вказаних напрямках здійснюється додатковим натисканням кнопки на супорті. Таким чином включається додатковий електродвигун швидких переміщень, який через клинопасову передачу передає рух до ходового вала.

Фартух має блокувальний пристрій, який блокує одночасне включення поперечної та поздовжньої подачі, а також запобіжну кулачкову муфту, котра спрацьовує під дією зусиль, що виникають при перевантаженні фартуха.

Фартух токарно-гвинторізного верстата жорстко кріпиться до переднього торця каретки супорта.

Фартух перетворює обертальний рух ходового гвинта або ходового валика в поступальне переміщення супорта (подачу) вздовж направляючих станини. Рух від ходового валика також використовується для механічного переміщення поперечних санок.

1.3.3. Аналіз приводу подач верстата 16Б04П

Верстат [52] відповідно до кінематичної схеми (рис. 1.5) дозволяє виконувати наступні операції:

- головний рух - обертання шпинделя
- рух подачі
- оберт насоса змащування

Електродвигун 1 через зубчасту муфту обертає 2 провідний шків 3 варіатора з широким клиновим пасом. Пас передає обертання веденому шківу 4 варіатора. Зміна швидкості обертання веденого валу варіатора здійснюється осьовим переміщенням рухомого диска веденого шківів. Далі, через одну з двох пар зубчастих коліс - 5 і 6 або 7 і 8 обертання передається шківу 9 клинопасової передачі. Перемикання тут здійснюється осьовим переміщенням колеса 5, яке входить у зачеплення з колесом 6 або як зубчатої напівмуфти входить у внутрішній вінець колеса 7.

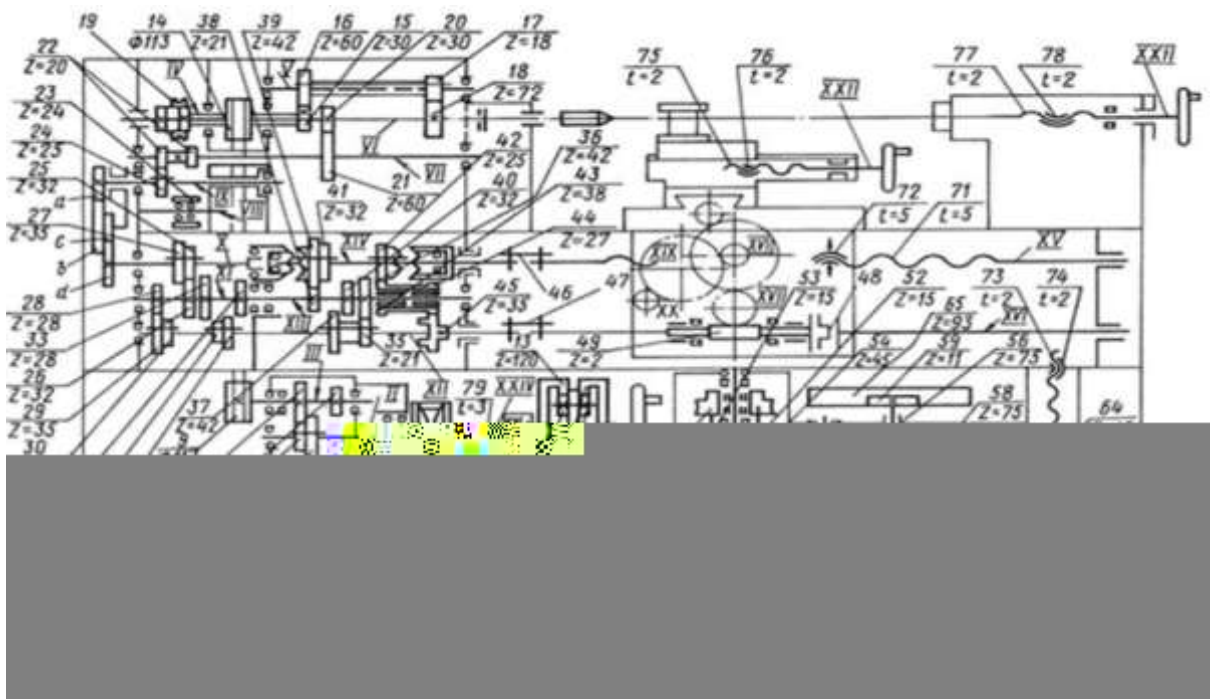


Рис. 1.5. Кінематична схема верстата 16Б04П

Від шківів 9 клинові паси передають обертання шківу 14, що сидить на втулці IV. Звідси обертання передається шпинделю VI безпосередньо при включенні зубчатої муфти 19, або через перебір, що складається з зубчастих коліс 15, 16, 17 і 18 із загальним передатним відношенням 1 : 8.

Рух подачі здійснюється безпосередньо від шпинделя VI або втулки IV. Відповідно до цього зубчасте колесо 21, що ковзає по валу VII, зачіпляється або з зубчастим колесом 20, або 15. Останнє зачеплення використовується для нарізання різей з великим кроком при включеному переборі і дає восьмиразове збільшення кроку різей.

Від вала VII обертання передається через зубчасті колеса трензеля 22, 23, 24 та зубчасті колеса гітари а, б, в, г на вали коробки подач. Механізми коробки подач - механізм зміщення ряду (зубчасті колеса 25, 26, 27, 28), механізм основного ряду різьблення і подач (зубчасті колеса 28, 29, 26, 30, 33, 34, 31, 32), множинні механізми (зуб 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41) - дозволяють при незмінному налаштуванні гітари отримати 28 ступенів подачі (4 ступені повторюються) або ряд стандартних кроків різьблення.

Осьовим переміщенням шестерні-напівмуфти 42 включається обертання ходового валика XVI (через шестірні 43, 44, 45 і муфту 47) або ходового гвинта 71.

Напівмуфта, жорстко пов'язана з ковзним блоком 39-41, служить для прямого з'єднання. Це дозволяє скоротити кінематичний ланцюг при нарізанні різьблення і підвищити точність різьблення, що нарізається. Налаштування на кроки різьб, що нарізаються, в цьому випадку проводиться підбором коліс гітари.

При включенні маточної гайки 72 обертання ходового гвинта 71 перетворюється на поздовжнє переміщення супорта, що використовується для нарізування різьб.

При точінні обертання ходового валика XVI плаваючою муфтою 48 передається черв'ячну пару 49, 50 і далі планетарному механізму 54, 52, 53, 51 і шестерні 56.

Сонячне колесо 51 утримується від обертання запобіжною муфтою 55.

Зубчастий блок 57, 58 служить для перемикання поздовжньої та поперечної подачі. У першому випадку зубчасте колесо 58 зачіпляється з колесом 59, на одному валу з яким сидить шестерня 60, що перекочується по

рейці 61; у другому випадку зубчасте колесо 57 зачіпляється з колесом 62, що приводить у обертання гвинт поперечної подачі 73.

Зубчасті колеса 64 65 обертають лімб відліку поздовжнього переміщення супорта.

Зубчасті колеса 10, 11, 12, 13 утворюють планетарну передачу, через яку при керуванні варіатором приводиться обертання лімб відліку швидкості шпинделя.

Зубчасті колеса 67 і 68 передають обертання від 1 валу варіатора лопатевого насоса агрегату мастила.

Перелік зубчастих та черв'ячних коліс, гвинтів та гайок до кінематичної схеми наведено на малюнку вище.

Особливості коробки подач токарно-гвинторізного верстата 16Б04П

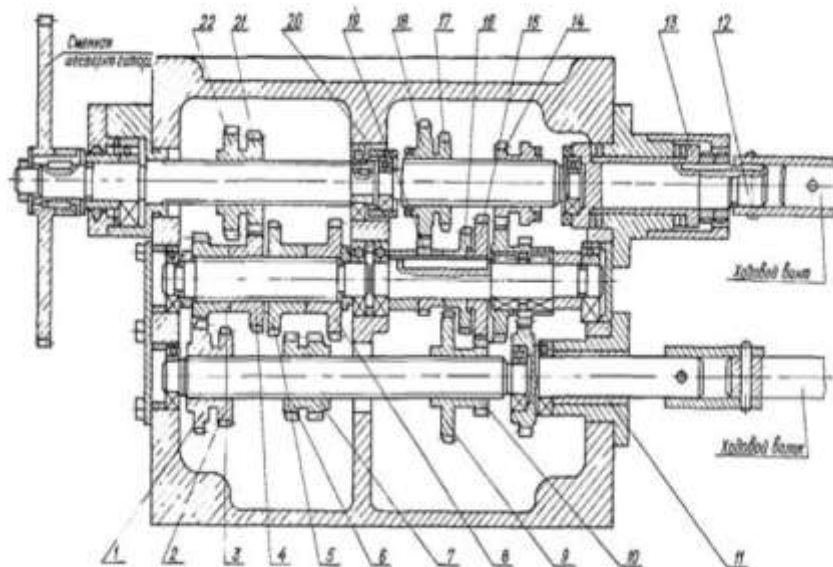


Рис. 1.6. Коробка подач верстата 16Б04П

Коробка подач верстата (рис.1.6) у поєднанні з гітарою дозволяє встановлювати необхідні передавальні відносини для нарізування різьб з різним кроком та отримання різних поздовжніх та поперечних подач.

У коробці подач є такі механізми:

- основного ряду (зубчасті колеса 3, 4, 1, 2, 5, 8, 6, 7);
- множинний (зубчасті колеса 9, 10, 19, 15, 16, 17, 18);
- зміщення ряду (зубчасті колеса 21, 22, 3, 4);

- перемикання передачі руху на ходовий валик або на ходовий гвинт (напівмуфта 14);
- прямого включення ходового гвинта (напівмуфти 12, 14, 18, 20);
- перемикання (на рис. не показано).

Механізм основного ряду дає можливість отримати чотири передаточні числа, пропорційні чотирма кроками метричних або модульних різьб.

Помножуючи ці передаточні коефіцієнти на передаточні коефіцієнти розмножувального механізму (1/4, 1/2, 1, 2) і на передаточні коефіцієнти механізму зміщення ряду (1,1 1/4), можна нарізати метричні та модульні різьблення при постійному налаштуванні гітари.

Ручне переміщення супорта здійснюється обертанням маховичка при середньому положенні відповідного блоку. Відлік переміщення проводиться по лімбу.

Супорт верстата – хрестового типу. Нижні салазки супорта переміщуються в поздовжньому напрямку станини. Зверху, на напрямних нижніх салазок, встановлені поперечні салазки супорта. На них закріплені поворотні санки. По напрямних поворотних санчат переміщається (вручну) верхня каретка, на якій встановлений різцетримач.

Різцетримувач - чотирипозиційний, з фіксацією в чотирьох положеннях.

Поворотні салазки встановлюються на потрібний кут за шкалою, нанесеною на поперечних салазках, переміщення яких може бути механічне (від фартуха) або ручне (від рукоятки).

1.3.4. Аналіз приводу подач верстата 16Б16КП

Особливості механізму коробки подач

Механізм коробки подач [53], відповідно до кінематичної схеми верстата (рис. 1.7) дає можливість отримати через гвинт наступні різі:

- ✓ Різь метрична з кроком від 0,5 до 24 мм
- ✓ Різь дюймова з числом ниток на 1 дюйм від 56 до 1
- ✓ Різь модульна з кроком у модулях від 0,25 до 22 мм
- ✓ Різь пітчева з кроком в пітчах від 128 до 2

- ✓ Поздовжні подачі - 0,065..0,91 мм/оборот (140 ступенів)
- ✓ Поперечні подачі - 0,065..0,91 мм/оборот (140 ступенів)

Коробка подач забезпечує, нарізання метричної, дюймової та модульної різей без застосування змінних шестерень. Для нарізання точних різей ходовий гвинт може бути прямо включений, минаючи коробку подач.

Без додаткових змінних коліс на верстаті моделі 16Б16КП можливе нарізування різі підвищеної точності :

Коробка подач складається із зубчастих коліс 1-14, 16-23 і отримує рух від вихідного валу передньої бабки через змінні зубчасті колеса коробки передач.

Необхідні подачі та кроки різь встановлювався поворотом відповідних рукояток, розташованих на передній кришці коробки подач.

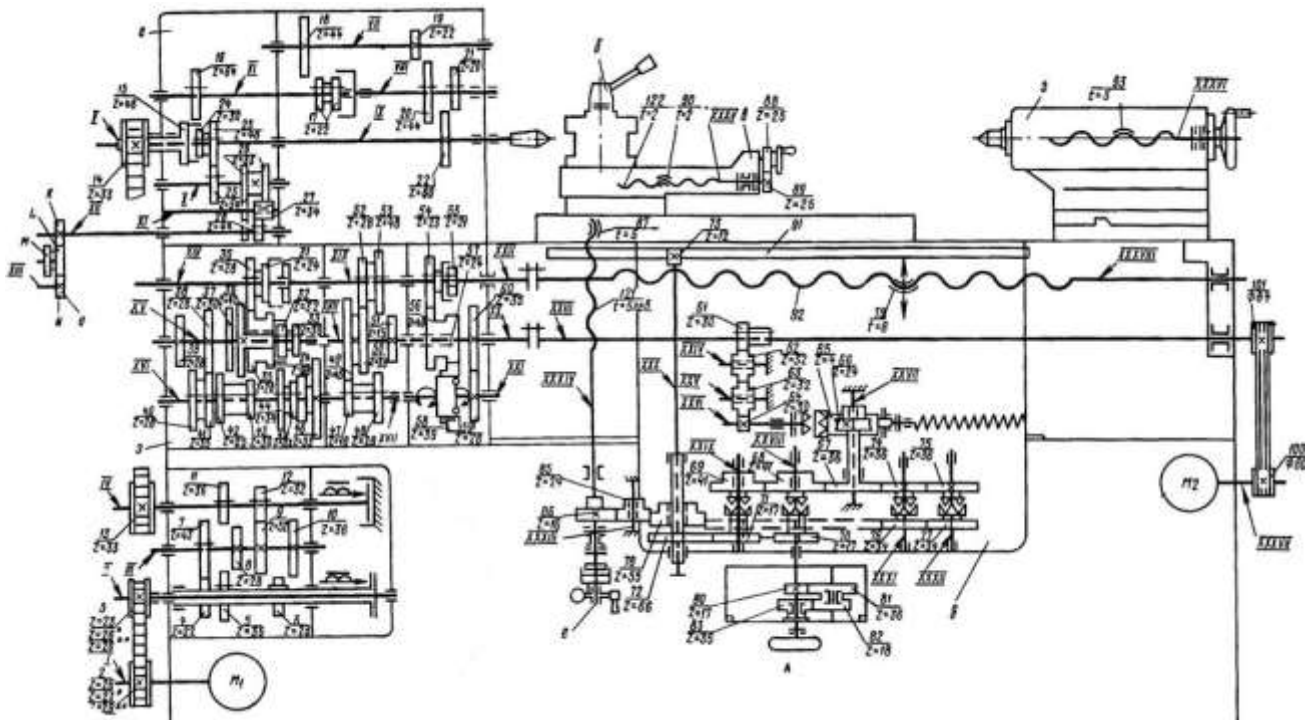


Рис. 1.7. Кінематична схема верстата 16Б16КП

Увімкнення ходового гвинта або ходового валика, вибір типу різь здійснюється рукояткою.

Напрямок обертання ходового гвинта змінюється поворотом рукоятки, нормальний або збільшений крок різі встановлюється рукояткою.

Для нарізання більш точних різей в коробці подач передбачено положення рукоятки, при якому ходовий гвинт включається безпосередньо,

минаючи механізм коробки подач. У цьому потрібний крок підбирається змінними зубчастими колесами спеціального набору.

Для здійснення швидких переміщень супорта в коробці подач змонтована обгінна муфта, призначення якої відключити коробку подач при швидкому зворотному ході супорта.

Механізм перемикання зубчастих коліс коробки подач зібраний на одній плиті, яка кріпиться до корпусу коробки подач. Перемикання зубчастих коліс здійснюється за допомогою системи важелів, тяг та кулачків. Фіксація робочого положення зубчастих коліс забезпечується пружними кульками, що знаходяться в рукоятках перемикання.

При демонтажі механізму перемикання необхідно стежити за правильним встановленням зубчастих коліс, що мають ризики, які при монтажі повинні співпадати, інакше порядок зчеплення зубчастих коліс коробки подач буде порушено.

Коробка змінних шестерень (рис.1.7) служить передачі руху від вихідного валу передньої бабки до приводного валу коробки подач.

Для отримання подачі та нарізування метричної та дюймової різей встановлюються зубчасті колеса основного набору з передавальним ставленням 40/73 73/64, а для нарізування модульної та пітчевої різей - з передаточним відношенням 60/73 x 86/36

Огородження коробки передач забезпечене електричним блокуванням, що унеможливує випадкове включення верстата при відкритому кожусі огорожі.

Особливості конструкцій фартуха

Фартух має чотири пари кулачкових муфт І які дозволяють здійснювати прямий та зворотний ходи каретки та супорта. Управління переміщеннями каретки та нижньої частини супорта здійснюється рукояткою. Напрямок включення рукоятки збігається з напрямком переміщення каретки та супорта.

Увімкнення швидких переміщень супорта у вказаних чотирьох напрямках здійснюється додатковим натисканням кнопки ІВ, вбудованої у ручку.

При цьому включається електродвигун швидких ходів, який через клинопасову передачу повідомляє рух ходового валу.

Величина переміщення фартуха за допомогою маховика відраховується по лімбу та ноніусу з ціною поділу, відповідно, 1 та 0,1 мм.

Фартух має блокуючий пристрій, що перешкоджає одночасному включенню поздовжньої та поперечної подач супорта та маткової гайки верстата.

У фартух вбудований запобіжний механізм від навантаження верстата, відрегульований на максимальну величину зусилля відключення фартуха (6000 ± 500) Н.

1.4. Аналіз факторів, що впливають на точність подачі

Точність подачі на універсальному верстаті залежить від певної кількості факторів [18,19]:

- 1) довжини кінематичного ланцюга, із збільшенням якого розсіювання подачі збільшується;
- 2) точності виготовлення елементів (ланок) кінематичного ланцюга (розсіювання кроків зубчастих коліс, відхилення профілю зубчастих коліс від евольвенти). Оскільки кожне зубчасте колесо має певний ступінь точності із своїми допустимими відхиленнями це буде впливати в кінцевому результаті на точність переміщення супорта;
- 3) динамічних факторів, зокрема коливання в системі призводять до зміни напружень в елементах кінематичного ланцюга, що в свою чергу призводить до зміни їх прогину внаслідок контактної жорсткості елементів;
- 4) зазорів в кінематичних ланцюгах, які утворюються внаслідок спрацювання окремих елементів, а також внаслідок допуску на виготовлення контактних поверхонь елементів приводу;
- 5) накопиченої кінематичної похибки;
- 6) та ін.

Наприклад, для універсальних токарних металорізальних верстатів

точність переміщення супорта залежить від: точності виготовлення зубчастих коліс, зокрема правильного взаємного розташування зубів (похибки кроку) і неточність форми робочих поверхонь (похибки форми профілю зубів), в коробці подач; точності виготовлення черв'ячної передачі (за нормами кінематичної точності, плавності роботи, повноти контакту і величини бокового зазору); передачі колесо-рейка (похибка кроку, похибки форми профілю зубів), зазорів в кінематичному ланцюгах, силових та температурних деформацій елементів кінематичного ланцюга.

1.5. Висновки по розділу, постановка мети та задач досліджень

На основі проведеного аналізу стану питання щодо досліджень з тематики роботи виявлено:

1. Питанням дослідження кінематичної точності металорізальних верстатів не приділена достатня увага.

2. В існуючих публікаціях щодо точності кінематичних ланцюгів подач не надана математична оцінка їх точності.

3. На основі аналізу приводів подач та аналізу факторів, що впливають на величину подачі встановлені джерела стохастичності величини подачі, які неможливо аналітично описати, крім імовірнісно-статистичних методів.

Метою роботи є розробка методики оцінки точності величини подачі універсальних токарних верстатів з використанням імовірнісно-статистичних методів.

Основні завдання

5. Запропонувати методику дослідження величини подачі на токарних верстатів, визначити характеристики розсіювання
6. Встановити закон розподілу величини подачі на підставі критеріїв узгодження
7. Дослідити взаємозв'язок середнього значення величини подачі та її дисперсії розсіювання на основі регресійного аналізу
8. Запропонувати методику та оцінити точність величин подач

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОПРАЦЮВАННЯ

2.1. Методика проведення експериментальних досліджень

Дослідження розсіювання подач проведено на універсальних токарно-гвинторізних верстатах моделей [54]: 1К62, 16К20, 16Б16КП, 16Б04П.

Методика визначення значень подач пояснюється рис. 2.1 і суть її полягає у наступному. На кожному кінематичному ланцюгу, що забезпечує паспортні значення подач: $s_1 = 0.05\text{мм/об}$; $s_2 = 0.06\text{мм/об}$; $s_3 = 0.075\text{мм/об}$; $s_4 = 0.09\text{мм/об}$; $s_5 = 0.1\text{мм/об}$; $s_6 = 0.125\text{мм/об}$; $s_7 = 0.15\text{мм/об}$; $s_8 = 0.175\text{мм/об}$; $s_9 = 0.2\text{мм/об}$ здійснювали 100-120 вимірювань реальних переміщень супорта за 1 оберт шпинделя [18,19,54]. Для цього встановлювали на верстаті задану подачу. За допомогою вантажу 8 (рис. 2.1), масою 20 кг, який підвішувався на тросі 6, і через блок 7 закріплювався до супорта верстату, створювали силу P_x , щоб ліквідувати можливі зазори в зачепленнях елементів кінематичних ланцюгів і, прокручуючи патрон 1 на один оберт, за допомогою індикатора 4 годинникового типу з ціною поділки 1 мкм, який встановлювався на штативі, і за допомогою магніту закріплювався до напрямних верстату, визначали переміщення супорта, яке приймали рівне значенню подачі s_i .

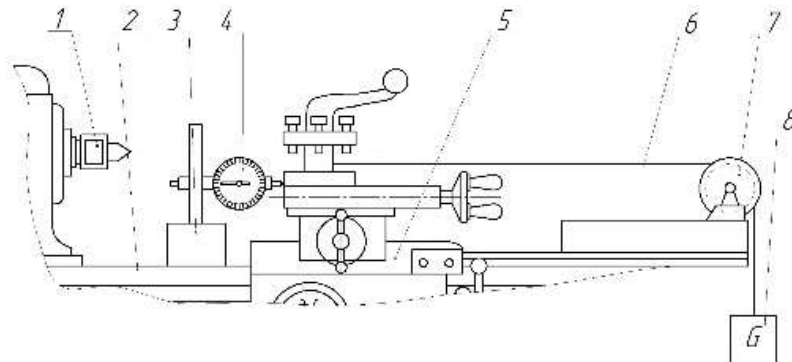


Рис. 2.1. Схема вимірювання подачі на верстаті: 1 – патрон, 2 – станина, 3 – штатив з магнітом, 4 – індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, 5 – супорт, 6 – трос, 7 – блок, 8 – вантаж.

Таким чином, отримували статистичні ряди значень випадкової величини s – подачі. На першому етапі визначали відповідні середні значення \bar{s}_{i0} ($i=1-9$) та дисперсії $D(s_{i0})$ розсіювання у отриманих статистичних рядах.

Середні значення, прийнявши їх приблизно рівними математичному сподіванню, тобто $\bar{s}_i \approx M(s_i)$ отримували за формулою [55]:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} \quad (2.1)$$

де s_i – значення випадкової величини;

n – кількість різних значень s_i .

Дисперсію розсіювання $D(s)$ та середньо квадратичні відхилення $\sigma(s)$ визначали із залежностей відповідно [55]:

$$D(s) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2 \quad (2.2)$$

$$\sigma(s) = \sqrt{D(s)} \quad (2.3)$$

За критерієм Гребса [56] визначали значення подач, які значно відрізнялись від інших і виключали їх зі статистичних рядів, використовуючи залежність

$$t_k = \frac{|s'_i - \bar{s}|}{\sigma(s)}, \quad (2.4)$$

де s' – значення, яке різко виділяється (найбільше чи найменше).

Виключивши зі статистичних рядів значення подач, що сильно виділялись, перерахували відповідні середні значення \bar{s} , дисперсії розсіювання $D(s)$ та середньоквадратичні відхилення $\sigma(s)$.

2.2. Результати експериментальних досліджень

Результати розрахунків середнього значення \bar{s} згідно (2.1), дисперсії розсіювання $D(s)$ (2.2) та середньоквадратичного відхилення $\sigma(s)$ (2.3) подано в таблиці 2.1

Таблиця 2.1. Значення подач та характеристики їх розсіювання

Модель верстата	16K20								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Подача за паспортом, s , мкм/об	50	60	75	90	100	125	150	175	200
Середнє значення \bar{s} , мкм/об	46,18	59,15	69,87	80,74	93,93	118,8	142,83	166	193,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дисперсія подачі $D(s)$, мкм ²	7,95	20,68	10,58	21,94	26,25	29,33	32,62	54,95	60,91
Середнє квадрат, відхилення подачі $\sigma(s)$, мкм	2,82	4,5	3,25	4,62	5,12	5,41	5,71	7,25	7,8
Модель верстата	1К62								
Подача за паспортом, s , мкм/об	50	60	75	88	100	125	150	175	200
Середнє значення \bar{s} , мкм/об	47,06	57,13	72,16	84,8 8	97,31	121,7 2	148,8	174,51	201,1
Дисперсія подачі $D(s)$, мкм ²	5,96	4,76	4,42	6,02	7,76	19,5 1	7,23	6,62	11,53
Середнє квадрат, відхилення подачі $\sigma(s)$, мкм	2,44	2,18	2,1	2,45	2,79	4,42	2,69	2,57	3,4
Модель верстата	16Б04П								
Подача за паспортом, s , мкм/об	50	60	75	90	100	125	150	175	200
Середнє значення \bar{s} , мкм/об	46,42	59,73	70,57	83,9	96,43	120,4 7	147,96	169,05	195,18
Дисперсія подачі $D(s)$, мкм ²	6,12	11,72	14,38	13,5 1	13,02	28,2 4	37,29	65,88	78,8
Середнє квадрат. відхилення подачі $\sigma(s)$, мкм	2,67	3,42	3,79	3,68	3,61	5,31	6,1	8,11	8,88
Модель верстата	16Б16КП								
Подача за паспортом, s , мкм/об	50	60	70	80	100	120	150	170	200
Середнє значення \bar{s} , мкм/об	46,87	60,23	69,46	81,98	94,77	120,85	141,36	169,08	194,65
Дисперсія подачі $D(s)$, мкм ²	8,37	11,01	5,66	9,98	10,24	28,9	29,97	36,00	50,19
Середнє квадрат. відхилення подачі $\sigma(s)$, мкм	2,89	3,31	2,37	3,16	3,2	5,38	5,47	6,00	7,08

2.3. Групування дослідних даних

Для групування та аналізу дослідних даних скористалися методикою [56]. На кожному кінематичному ланцюгу дані розбивали на 10 інтервалів [56]. Ширину кожного інтервалу визначали за формулою

$$d = \frac{w}{f} \quad (2.5)$$

Де $w = s_{max} - s_{min}$ – розмах вибірки; s_{max} , s_{min} – максимальне і мінімальне значення величини подачі у вибірці.

Нижню межу першого інтервалу a_I приймали рівному мінімальному значенню у вибірці ($a_I = s_{min}$). Верхня межа першого інтервалу b_I відповідає нижній межі другого інтервалу a_{II} . Вони визначаються з залежності $a_{II} = b_I = x_{min}$ і т.д. Верхня межа останнього інтервалу повинна бути рівною ($b_f = s_{max}$).

Середини інтервалів визначали за формулою

$$\bar{x}_i = \frac{a_i + b_i}{2} \quad (2.6)$$

Визначали також частоту, та відносну частоту потраплянь в інтервал для кожного кінематичного ланцюга. За результатами розрахунків будували гістограми та полігон часто на кожному із досліджуваних кінематичних ланцюгів. Результати розрахунків для верстата 16Б16КП для кінематичних ланцюгів подач 0,05, 0,07, 0,1, 0,15, 0,17 та 0,2 мм/об подано в таблицях 2.2-2.7. Для решти верстатів результати подано в додатку 1

Таблиця 2.2. Групування дослідних даних кінематичного ланцюга верстата 16Б16КП, що відповідає подачі 0,05 мм/об

Номер інтерв.	Інтервал	Середина інтервалу	Частота потраплянь в інтервал m_i	Відносна частота потраплянь в інтервал m_i/n	Накопичена частота потраплянь в інтервал N_{m_i}	Накопичена відносна частота потраплянь в інтервал N_{m_i}/n
1	2	3	4	5	6	7
1	41,00	42,35	7,00	0,06	7,00	0,06
2	42,35	43,70	7,00	0,06	14,00	0,12
3	43,70	45,05	8,00	0,07	22,00	0,18

1	2	3	4	5	6	7
4	45,05	46,40	20,00	0,17	42,00	0,35
5	46,40	47,75	26,00	0,22	68,00	0,57
6	47,75	49,10	23,00	0,19	91,00	0,76
7	49,10	50,45	16,00	0,13	107,00	0,89
8	50,45	51,80	4,00	0,03	111,00	0,93
9	51,80	53,15	5,00	0,04	116,00	0,97
10	53,15	54,50	4,00	0,03	120,00	1,00

Таблиця 2.3. Групування дослідних даних кінематичного ланцюга верстата 16Б16КП, що відповідає подачі 0,07 мм/об

Номер інтерв.	Інтервал	Середина інтервалу	Частота потраплянь в інтервал m_i	Відносна частота потраплянь в інтервал m_i/n	Накопичена частота потраплянь в інтервал N_{m_i}	Накопичена відносна частота потраплянь в інтервал $N_{m_i/n}$
1	63,00	64,30	2,00	0,02	2,00	0,02
2	64,30	65,60	2,00	0,02	4,00	0,03
3	65,60	66,90	4,00	0,03	8,00	0,07
4	66,90	68,20	18,00	0,15	26,00	0,22
5	68,20	69,50	23,00	0,19	49,00	0,41
6	69,50	70,80	26,00	0,22	75,00	0,63
7	70,80	72,10	26,00	0,22	101,00	0,84
8	72,10	73,40	10,00	0,08	111,00	0,93
9	73,40	74,70	4,00	0,03	115,00	0,96
10	74,70	76,00	5,00	0,04	120,00	1,00

Таблиця 2.4. Групування дослідних даних кінематичного ланцюга верстата 16Б16КП, що відповідає подачі 0,1 мм/об

Номер інтерв.	Інтервал	Середина інтервалу	Частота потраплянь в інтервал m_i	Відносна частота потраплянь в інтервал m_i/n	Накопичена частота потраплянь в інтервал N_{m_i}	Накопичена відносна частота потраплянь в інтервал N_{m_i}/n
1	88,00	89,50	4,00	0,03	4,00	0,03
2	89,50	91,00	9,00	0,08	13,00	0,11
3	91,00	92,50	9,00	0,08	22,00	0,18
4	92,50	94,00	18,00	0,15	40,00	0,33
5	94,00	95,50	21,00	0,18	61,00	0,51
6	95,50	97,00	24,00	0,20	85,00	0,71
7	97,00	98,50	14,00	0,12	99,00	0,83
8	98,50	100,00	14,00	0,12	113,00	0,94
9	100,00	101,50	3,00	0,03	116,00	0,97
10	101,50	103,00	4,00	0,03	120,00	1,00

Таблиця 2.5. Групування дослідних даних кінематичного ланцюга верстата 16Б16КП, що відповідає подачі 0,15 мм/об

Номер інтерв.	Інтервал	Середина інтервалу	Частота потраплянь в інтервал m_i	Відносна частота потраплянь в інтервал m_i/n	Накопичена частота потраплянь в інтервал N_{m_i}	Накопичена відносна частота потраплянь в інтервал N_{m_i}/n
1	130,00	132,60	4,00	0,03	4	0,03
2	132,60	135,20	8,00	0,07	12,00	0,10
3	135,20	137,80	12,00	0,10	24,00	0,20
4	137,80	140,40	20,00	0,17	44,00	0,37
5	140,40	143,00	24,00	0,20	68,00	0,57
6	143,00	145,60	16,00	0,13	84,00	0,70
7	145,60	148,20	18,00	0,15	102,00	0,85
8	148,20	150,80	12,00	0,10	114,00	0,95
9	150,80	153,40	2,00	0,02	116,00	0,97
10	153,40	156,00	4,00	0,03	120,00	1,00

Таблиця 2.6. Групування дослідних даних кінематичного ланцюга

верстата 16Б16КП, що відповідає подачі 0,17 мм/об

Номер інтерв.	Інтервал	Середина інтервалу	Частота потраплянь в інтервал m_i	Відносна частота потраплянь в інтервал m_i/n	Накопичена частота потраплянь в інтервал N_{m_i}	Накопичена відносна частота потраплянь в інтервал $N_{m_i/n}$
1	155,00	158,00	4,00	0,03	4	0,03
2	158,00	161,00	6,00	0,05	10,00	0,08
3	161,00	164,00	16,00	0,13	26,00	0,22
4	164,00	167,00	26,00	0,22	52,00	0,43
5	167,00	170,00	26,00	0,22	78,00	0,65
6	170,00	173,00	14,00	0,12	92,00	0,77
7	173,00	176,00	14,00	0,12	106,00	0,88
8	176,00	179,00	8,00	0,07	114,00	0,95
9	179,00	182,00	2,00	0,02	116,00	0,97
10	182,00	185,00	4,00	0,03	120,00	1,00

Таблиця 2.7. Групування дослідних даних кінематичного ланцюга верстата 16Б16КП, що відповідає подачі 0,2 мм/об

Номер інтерв.	Інтервал	Середина інтервалу	Частота потраплянь в інтервал m_i	Відносна частота потраплянь в інтервал m_i/n	Накопичена частота потраплянь в інтервал N_{m_i}	Накопичена відносна частота потраплянь в інтервал $N_{m_i/n}$
1	172,00	175,20	2,00	0,02	2	0,02
2	175,20	178,40	7,00	0,06	9,00	0,08
3	178,40	181,60	7,00	0,06	16,00	0,13
4	181,60	184,80	10,00	0,08	26,00	0,22
5	184,80	188,00	21,00	0,18	47,00	0,39
6	188,00	191,20	20,00	0,17	67,00	0,56
7	191,20	194,40	22,00	0,18	89,00	0,74
8	194,40	197,60	13,00	0,11	102,00	0,85
9	197,60	200,80	9,00	0,08	111,00	0,93
10	200,80	204,00	9,00	0,08	120,00	1,00

На рис. 2.2-2.5 подано гістограми частот п'яти кінематичних ланцюгів, які відповідають подачам 0,05; 0,075 (0,07); 0,1; 0,15; 0,2 мм/об. кожного із

досліджуваних верстатів.

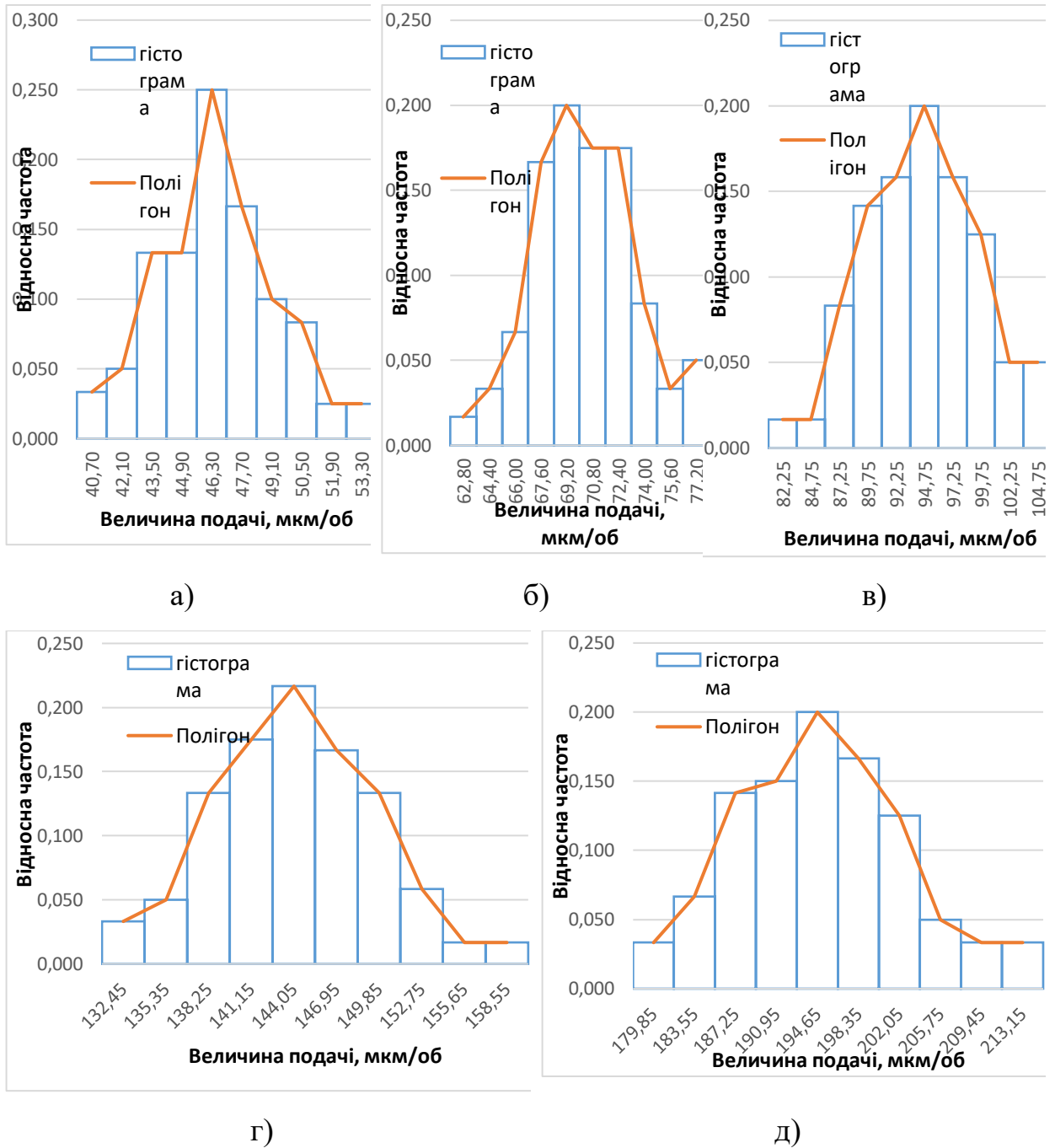
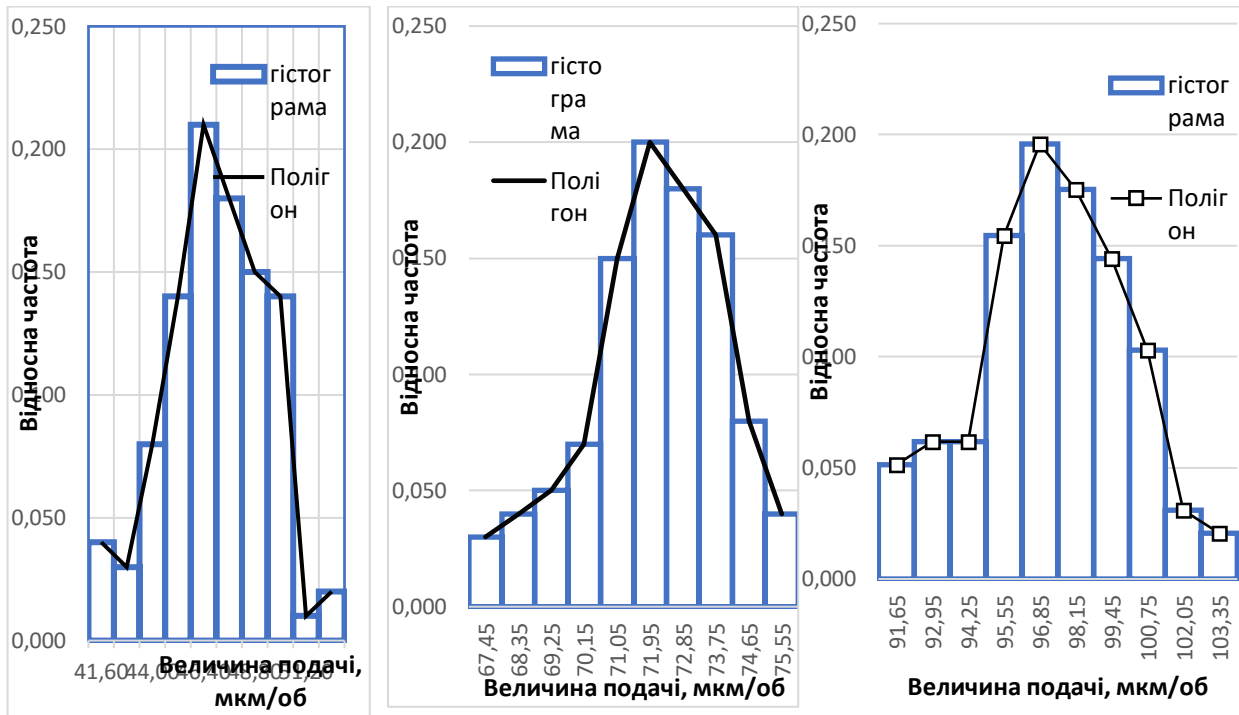


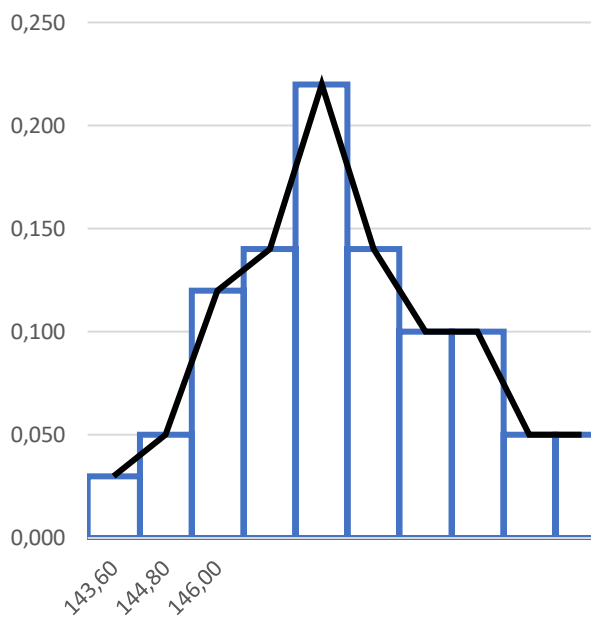
Рис. 2.2. Гістограми та полігони розподілу величини подачі верстата 16К20 на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,75$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; $s=0,2$ мм/об.



а)

б)

в)



г)

д)

Рис. 2.3. Гістограми та полігони розподілу величини подачі верстата 1К62 на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,75$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; $s=0,2$ мм/об.

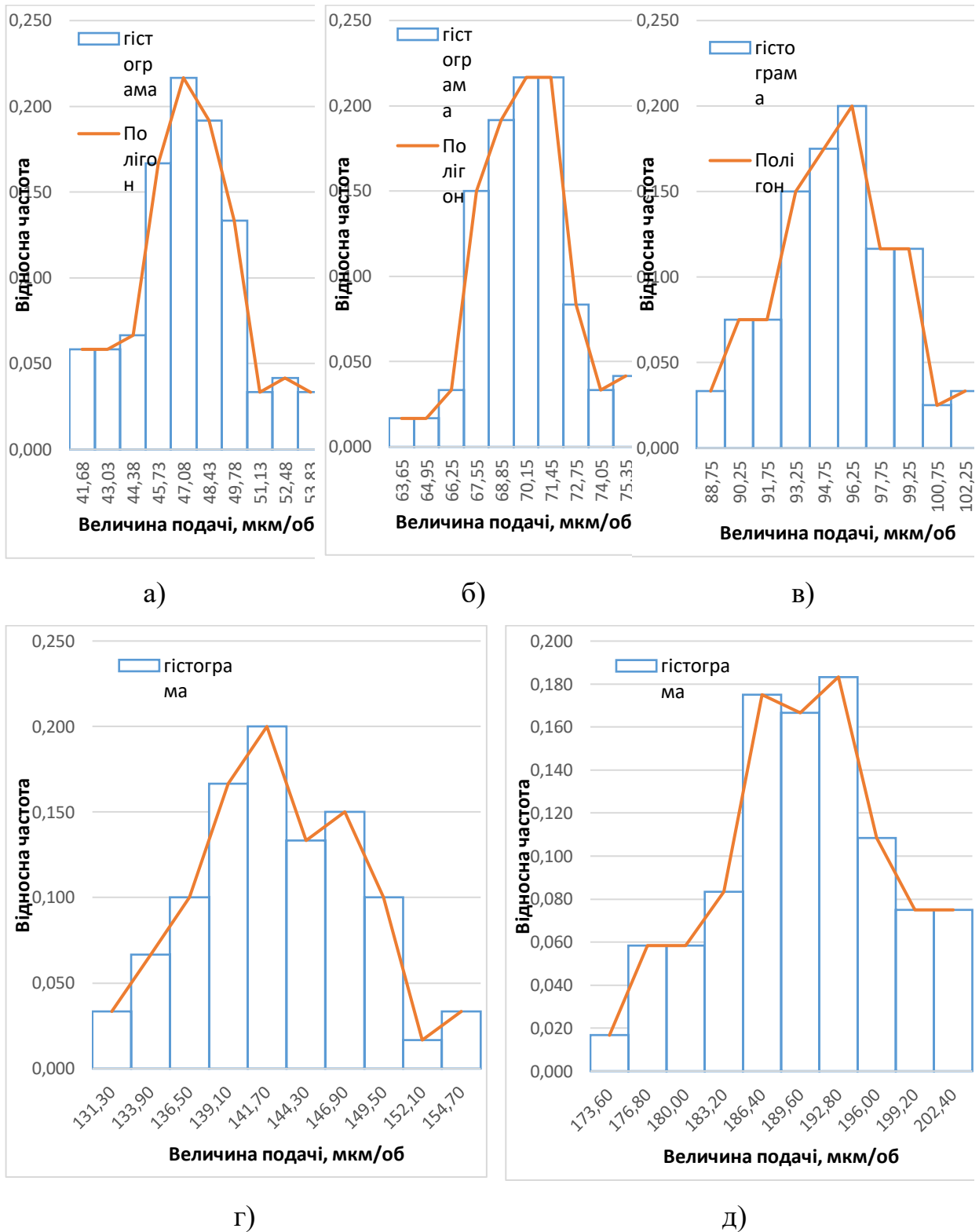


Рис. 2.4. Гістограми та полігони розподілу величини подачі верстата 16Б16КП на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,7$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; $s=0,2$ мм/об.

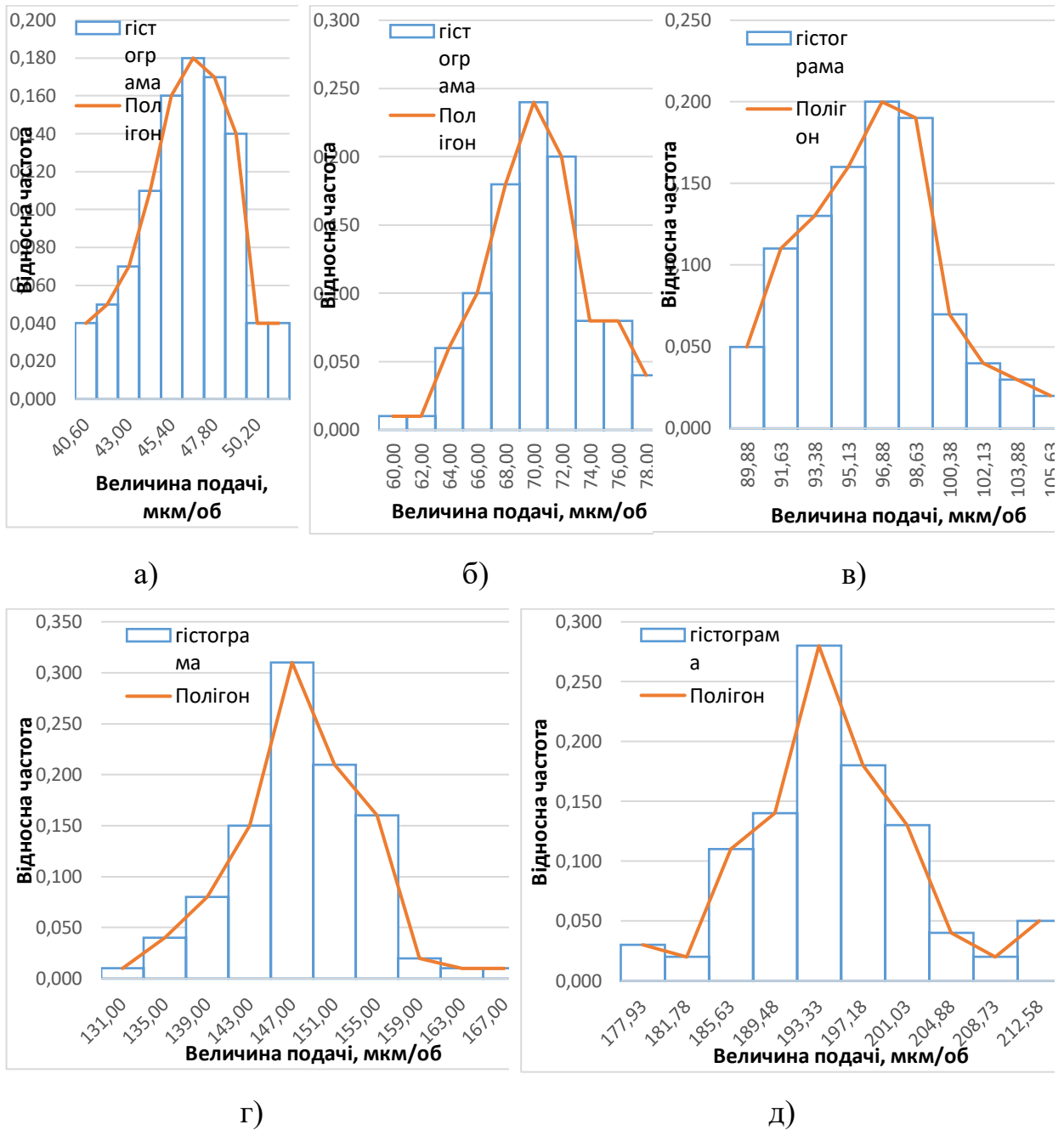


Рис. 2.5. Гістограми та полігони розподілу величини подачі верстата 16Б04П на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,75$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; $s=0,2$ мм/об.

2.4. Підбір кривої розподілу

Задача вирівнювання (згладжування) полягає в тому, щоб підібрати теоретичну плавну криву розподілу, що виражає лише істотні риси статистичного матеріалу, але не випадковості, пов'язані з недостатнім обсягом експериментальних даних. Ця крива, має якнайкраще описувати даний статистичний розподіл.

Враховуючи те, що кінематичний ланцюг окремої подачі середнього токарного верстату, як правило, складається більше, ніж з десяти передач і з'єднань, кожен елемент яких має свої норми кінематичної точності і точності спряжень, можна висунути на основі [55] гіпотезу про те, що подача на верстаті є стохастичною величиною з нормальним законом розподілу.

Базуючись на центральній граничній теоремі теорії ймовірностей за формулюванням Ляпунова висловили припущення, що дані статистичний розподіл є розподілом Гауса (усіченим нормальним).

З точки зору теорії ймовірностей, межі нормального закону розподілу лежать на всьому діапазоні дійсних чисел, тобто $(-\infty; \infty)$. Проте при оцінюванні реального процесу будемо користуватися правилом «трьох сігм 3σ ». Згідно цього правила – практично всі значення нормально розподіленої випадкової величини лежать в інтервалі $[\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma]$. Точніше не менш, ніж із 99,7% достовірністю, значення нормально розподіленої випадкової величини лежить у вказаному інтервалі.

В загальному випадку густина розподілу для кожної із подач s з дисперсією $D(s)$ та середнім значенням \bar{s} , за зрізаним нормальним законом розподілу на проміжку $(a; b)$ має наступний вигляд [55-57]

$$f(s) = \frac{c}{\sqrt{2\pi D(s)}} \cdot e^{\frac{-(s-\bar{s})^2}{2D(s)}}, \quad (2.7)$$

де c – множник, що визначається за формулою [28] $c = \frac{1}{1/2 \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{b-\bar{s}}{\sqrt{2D(s)}}\right) - \Phi\left(\frac{a-\bar{s}}{\sqrt{2D(s)}}\right) \right\}}$

$\Phi\left(\frac{b-\bar{s}}{\sqrt{2D(s)}}\right)$ та $\Phi\left(\frac{a-\bar{s}}{\sqrt{2D(s)}}\right)$ – функції Лапласа.

Прийнявши $a = \bar{s} - k\sqrt{D(s)}$ та $b = \bar{s} + k\sqrt{D(s)}$, отримаємо: $c = 1/\Phi(k/\sqrt{2})$. Врахувавши k знаходиться в інтервалі $2 \leq k \leq 3$ [26] отримаємо нерівність $1,0027 \leq c \leq 1,048$ [57]. Через те, враховуючи отриману нерівність в подальшому будемо вважати закон розподілу подачі нормальним (а не урізаним ліворуч нормальним) і щільність ймовірностей цього розподілу запишемо у вигляді

$$f(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(s)}} \cdot e^{\frac{-(s-\bar{s})^2}{2D(s)}}. \quad (2.8)$$

Використавши дані таблиці 1 та підставивши її у залежність (2.8) отримали функції густин розподілу величин подачі на кожному із ланцюгів для кожного верстата.

1. Для верстата 16К20:

- Ланцюг подачі $s=0.05$ мм/об

$$f(s) = 4,48 \cdot e^{\frac{-(s-0,04618)^2}{0,0159}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.06$ мм/об

$$f(s) = 2,77 \cdot e^{\frac{-(s-0,05915)^2}{0,04136}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.075$ мм/об

$$f(s) = 3,88 \cdot e^{\frac{-(s-0,06987)^2}{0,02116}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.09$ мм/об

$$f(s) = 2,69 \cdot e^{\frac{-(s-0,08074)^2}{0,04388}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.1$ мм/об

$$f(s) = 2,46 \cdot e^{\frac{-(s-0,09393)^2}{0,0525}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.125$ мм/об

$$f(s) = 2,33 \cdot e^{\frac{-(s-0,1118)^2}{0,05866}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.15$ мм/об

$$f(s) = 2,21 \cdot e^{\frac{-(s-0,1428)^2}{0,06524}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.175$ мм/об

$$f(s) = 1,7 \cdot e^{\frac{-(s-0,166)^2}{0,1099}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.2$ мм/об

$$f(s) = 1,62 \cdot e^{\frac{-(s-0,1931)^2}{0,122}}$$

2. Для верстата 1К62:

- Ланцюг подачі $s=0.05$ мм/об

$$f(s) = 5,17 \cdot e^{\frac{-(s-0,047)^2}{0,01192}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.06$ мм/об

$$f(s) = 5,78 \cdot e^{\frac{-(s-0,05713)^2}{0,00952}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.075$ мм/об

$$f(s) = 6 \cdot e^{\frac{-(s-0,07216)^2}{0,00884}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.09$ мм/об

$$f(s) = 5,14 \cdot e^{\frac{-(s-0,08488)^2}{0,01204}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.1$ мм/об

$$f(s) = 4,53 \cdot e^{\frac{-(s-0,09731)^2}{0,1552}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.125$ мм/об

$$f(s) = 2,86 \cdot e^{\frac{-(s-0,12172)^2}{0,03902}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.15$ мм/об

$$f(s) = 4,69 \cdot e^{\frac{-(s-0,1488)^2}{0,01446}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.175$ мм/об

$$f(s) = 4,9 \cdot e^{\frac{-(s-0,17451)^2}{0,01324}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.2$ мм/об

$$f(s) = 3,72 \cdot e^{\frac{-(s-0,2011)^2}{0,02306}}$$

3. Для верстата 16Б16КП:

- Ланцюг подачі $s=0.05$ мм/об

$$f(s) = 4,36 \cdot e^{\frac{-(s-0,04687)^2}{0,01674}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.06$ мм/об

$$f(s) = 3,8 \cdot e^{\frac{-(s-0,06023)^2}{0,02202}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.07$ мм/об

$$f(s) = 5,3 \cdot e^{\frac{-(s-0,06946)^2}{0,01132}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.08$ мм/об

$$f(s) = 3,99 \cdot e^{\frac{-(s-0,08198)^2}{0,01996}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.1$ мм/об

$$f(s) = 3,94 \cdot e^{\frac{-(s-0,09477)^2}{0,02048}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.12$ мм/об

$$f(s) = 2,35 \cdot e^{\frac{-(s-0,12085)^2}{0,0578}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.15$ мм/об

$$f(s) = 2,31 \cdot e^{\frac{-(s-0,14136)^2}{0,05994}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.17$ мм/об

$$f(s) = 2,1 \cdot e^{\frac{-(s-0,16908)^2}{0,0172}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.2$ мм/об

$$f(s) = 1,78 \cdot e^{\frac{-(s-0,19465)^2}{0,1}}$$

4. Для верстата 16Б04П:

- Ланцюг подачі $s=0.05$ мм/об

$$f(s) = 5,1 \cdot e^{\frac{-(s-0,04642)^2}{0,01224}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.06$ мм/об

$$f(s) = 3,69 \cdot e^{\frac{-(s-0,05973)^2}{0,02344}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.075$ мм/об

$$f(s) = 3,33 \cdot e^{\frac{-(s-0,07057)^2}{0,02876}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.09$ мм/об

$$f(s) = 3,43 \cdot e^{\frac{-(s-0,0839)^2}{0,02702}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.1$ мм/об

$$f(s) = 3,5 \cdot e^{\frac{-(s-0,09643)^2}{0,02604}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.125$ мм/об

$$f(s) = 2,37 \cdot e^{\frac{-(s-0,12047)^2}{0,05648}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.15$ мм/об

$$f(s) = 2.07 \cdot e^{\frac{-(s-0.14796)^2}{0.07458}}$$

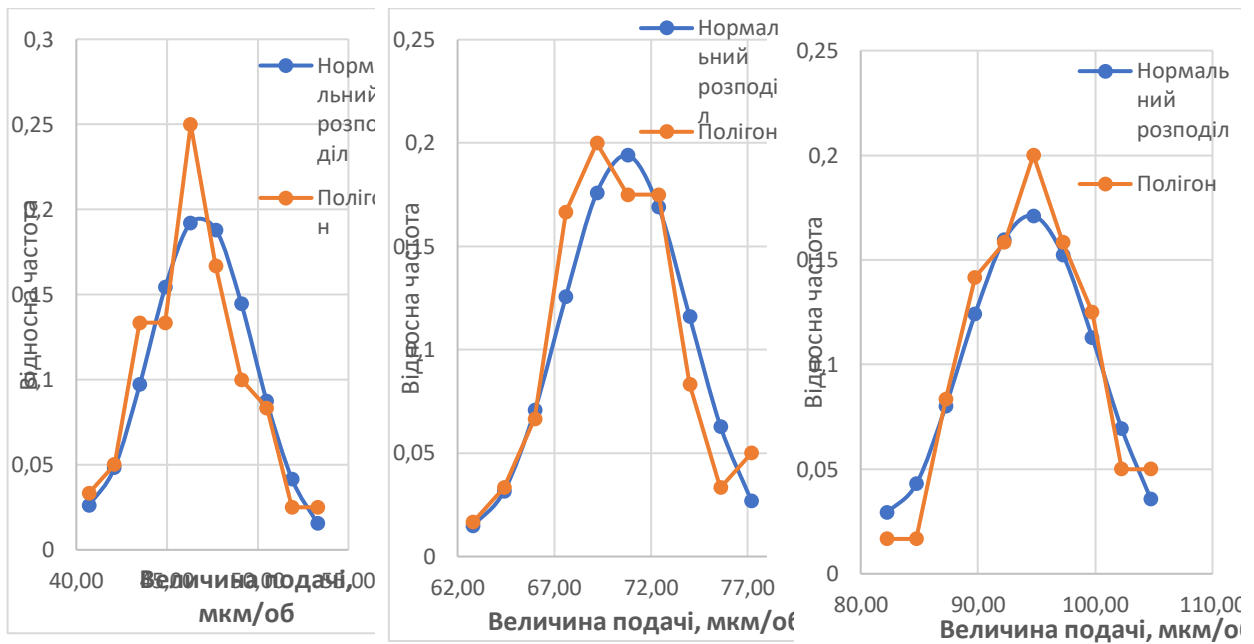
- Ланцюг подачі $s=0.175$ мм/об

$$f(s) = 1.55 \cdot e^{\frac{-(s-0.16905)^2}{0.13176}}$$

- Ланцюг подачі $s=0.2$ мм/об

$$f(s) = 1.42 \cdot e^{\frac{-(s-0.19518)^2}{0.1576}}$$

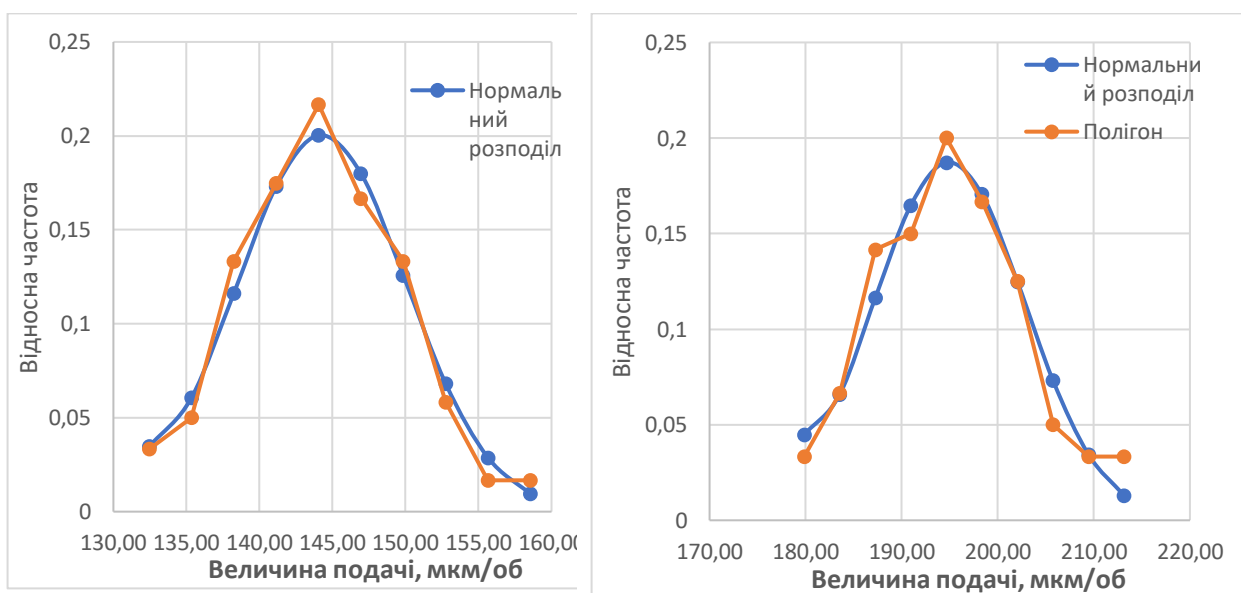
Криві густин розподілу з полігонами подані на рис. 2.6-2.9



а)

б)

в)



г)

д)

Рис. 2.6. Полігони та криві нормального розподілу величини подачі

верстата 1К62 на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,75$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; $s=0,2$ мм/об.

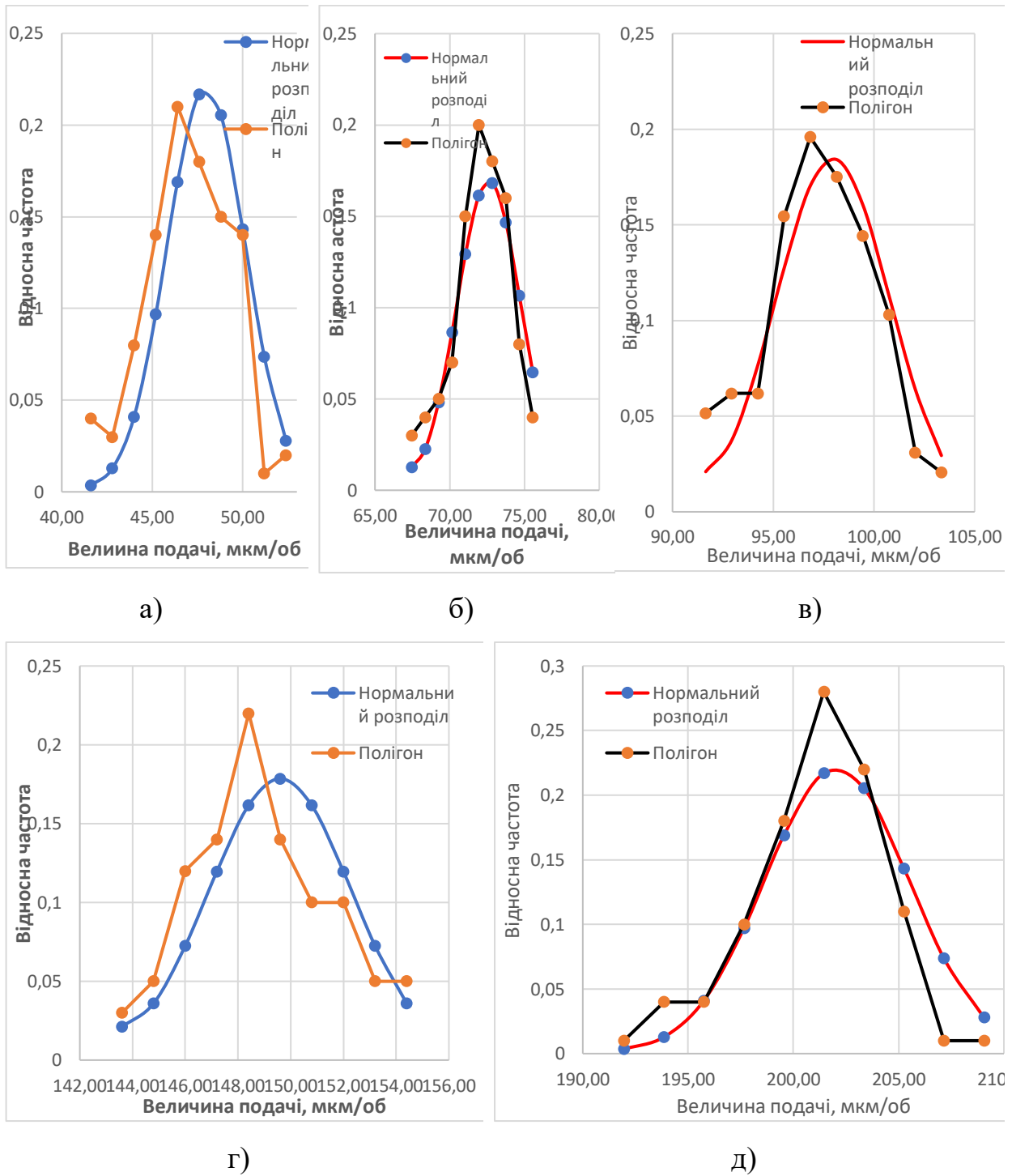


Рис. 2.7. Полігони та криві нормального розподілу величини подачі верстата 1К62 на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,75$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; $s=0,2$ мм/об.

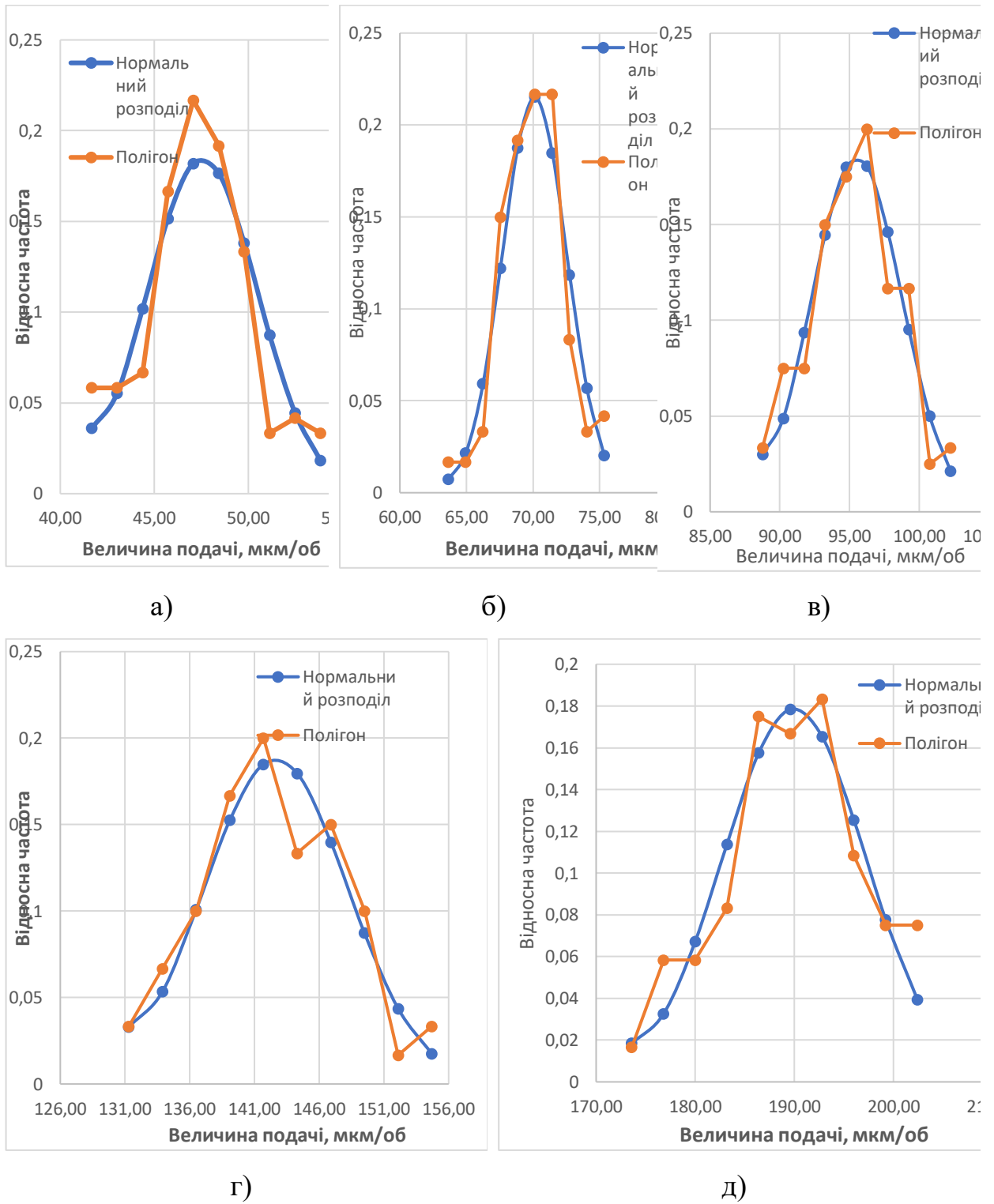


Рис. 2.8. Полігони та криві нормального розподілу величини подачі верстата 16Б16КП на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,7$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; д) $s=0,2$ мм/об.

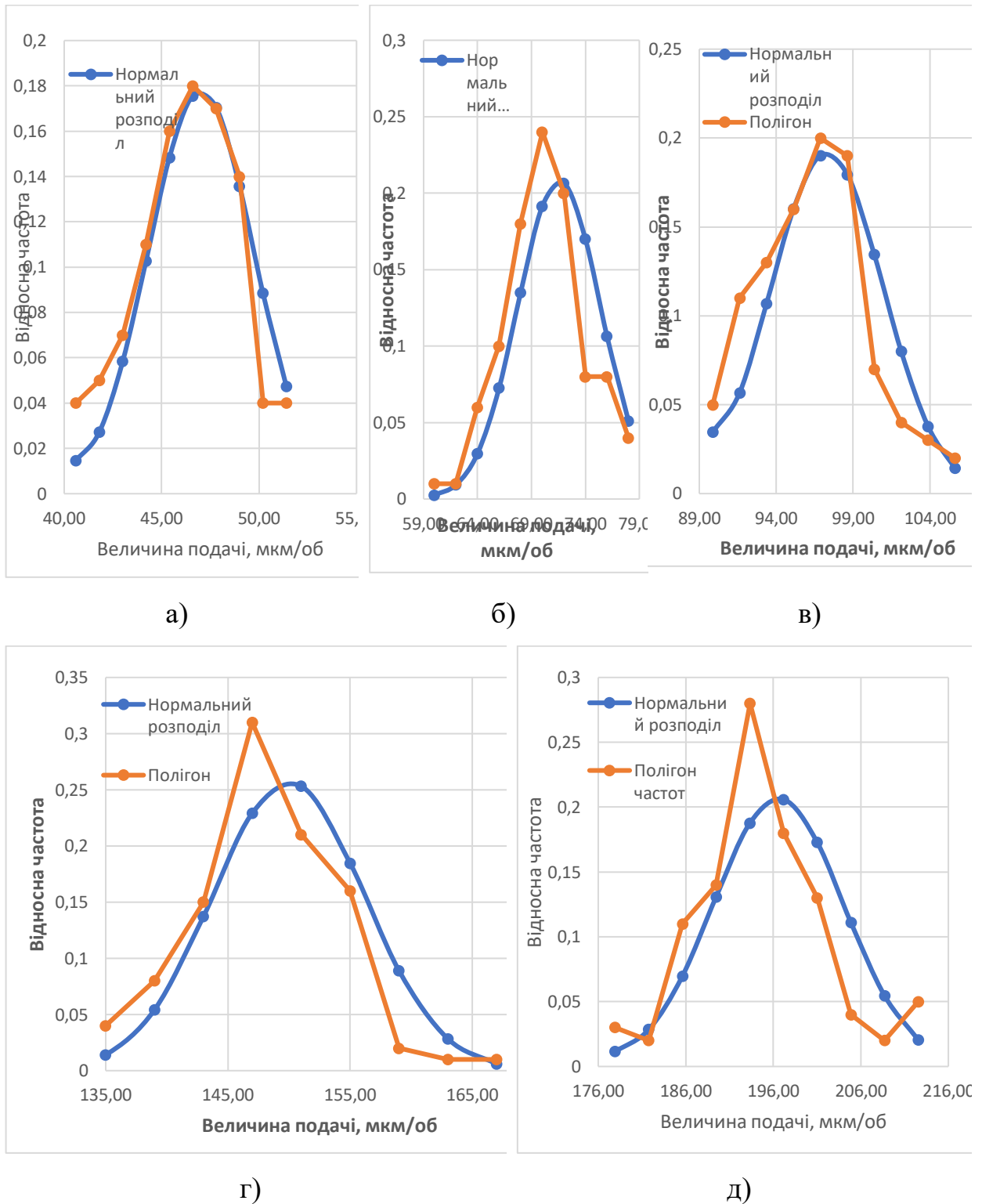


Рис. 2.9. Полігони та криві нормального розподілу величини подачі верстата 16Б04П на кінематичних ланцюгах: а) $s=0,05$ мм/об; б) $s=0,75$ мм/об; в) $s=0,1$ мм/об; г) $s=0,15$ мм/об; д) $s=0,2$ мм/об.

2.5. Перевірка узгодження дослідного закону теоретичному

Для перевірки узгодження дослідного розподілу з законом нормального

розподілу використовують критерії Колмогорова та критерій Пірсона.

Сутність перевірки за критерієм Колмогорова полягає у визначення критерію згоди Колмогорова λ за формулою [56]

$$\lambda = \frac{|N_m - N'_m|_{max}}{n} \sqrt{n} \quad (2.9)$$

де N_m та N'_m – відповідно накопичені експериментальне та теоретичне число потраплянь в інтервал;

Далі, знаючи величину λ , визначають значення ймовірності $P(\lambda)$ [27].

Якщо в результаті розрахунку виявиться, що значення ймовірності $P(\lambda) > 0,05$ (0,05 це рівень значущості найбільш часто вживаний в машинобудуванні), то дослідний розподіл підпорядковується закону нормального розподілу. Якщо $P(\lambda) < 0,05$, то гіпотеза нормальності відкидається, що викликано істотним відхиленням дослідного розподілу від закону нормального розподілу.

Результати перевірки подано в таблиці 2.8.

Критерій Пірсона (χ^2) застосовується в тому випадку, коли перевіряють узгодженість експериментального розподілу не тільки з законом нормального розподілу, а й з іншими. При досить великій кількості спостережень цей критерій є найбільш достовірним, так як він забезпечує мінімальну помилку в прийнятті невірної гіпотези в порівнянні з іншими критеріями.

Критерій χ^2 визначають за формулою [56]

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^f \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i} \quad (2.10)$$

де m_i – експериментальне число потраплянь, що відповідає i -му інтервалу; m'_i – теоретичне число потраплянь, відповідне i -му інтервалу; f – число інтервалів.

Число ступенів свободи

$$k = f - g - 1 \quad (2.11)$$

де g – число параметрів теоретичної функції розподілу (для функції нормального розподілу $g = 2$).

Число ступенів свободи

$$k = 10 - 2 - 1 = 7$$

Результати перевірки закону розподілу за критерієм Пірсона подано в табл.2.8.

Таблиця 2.8. Дані розрахунків за критеріями Колмогорова та Пірсона для досліджуваних кінематичних ланцюгів верстатів

Модель верстата	16K20				
1	2	3	4	5	6
Подача, мм/об	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2
λ	0,634125	0,449058	0,333133	0,187094	0,287881
$P(\lambda)$	0,327	0,36	0,378	0,39	0,382
$\chi^2 (\chi^2_{табл}=14,07)$	2,573	2,475	2,399	1,935	1,830
1	2	3	4	5	6
Модель верстата	1K62				
Подача, мм/об	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2
λ	0,277482	0,386009	0,327201	0,276582	0,637525
$P(\lambda)$	0,383	0,369	0,378	0,383	0,325
$\chi^2 (\chi^2_{табл}=14,07)$	1,830	2,720	3,294	1,830	10,215
Модель верстата	16Б16КП				
Подача, мм/об	0,05	0,07	0,1	0,15	0,2
λ	0,591387	0,38481	0,322589	0,506708	0,389193
$P(\lambda)$	0,335	0,371	0,379	0,35	0,369
$\chi^2 (\chi^2_{табл}=14,07)$	3,466	3,640	2,663	3,009	2,006
Модель верстата	16Б04П				
Подача, мм/об	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2
λ	0,485242	0,9004	0,645018	0,807061	0,923477
$P(\lambda)$	0,356	0,266	0,323	0,287	0,267
$\chi^2 (\chi^2_{табл}=14,07)$	2,851	3,799	3,548	8,090	6,360

Таким чином, оскільки $P(\lambda) > 0.05$ на всіх ланцюгах подач, за критерієм Колмогорова даний розподіл можна вважати нормальним.

Зважаючи, що отримані значення $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$, за критерієм Пірсона (χ^2) підтвердили узгодженість гіпотези про розподіл кожної із досліджуваних подач за нормальним законом.

2.6. Висновки по розділу

1. За запропонованою методикою проведено експериментальні дослідження величини подачі універсальних токарних верстатів

2. На основі групування дослідних даних висловлено припущення, що величин аподачі підкоряється нормальному закону розподілу

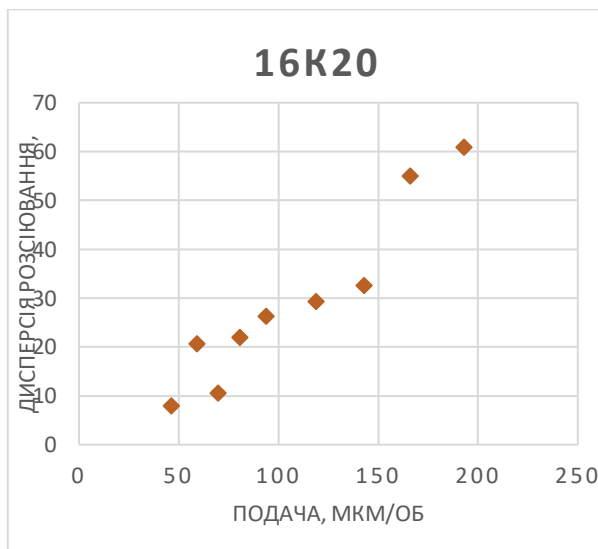
3. Доведено за критеріями Пірсона та Колмогорова, що величину подачі універсальних токарних верстатів можна представляти усіченим ліворуч нормальним законом розподілу із розсіюванням $\pm 3\sigma$.

РОЗДІЛ 3. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПОДАЧ УНІВЕРСАЛЬНИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

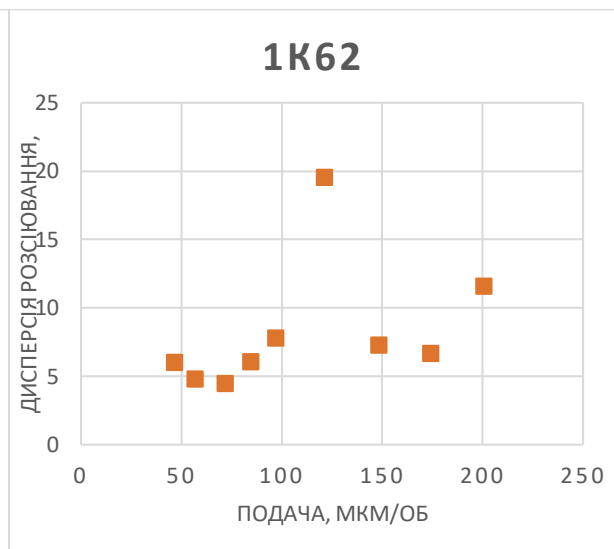
3.1. Регресійний аналіз залежності середніх значень і дисперсій розсіювання величин подач

Цікавим є дослідження взаємозв'язку між середніми значеннями подач і дисперсіями їх розсіювань.

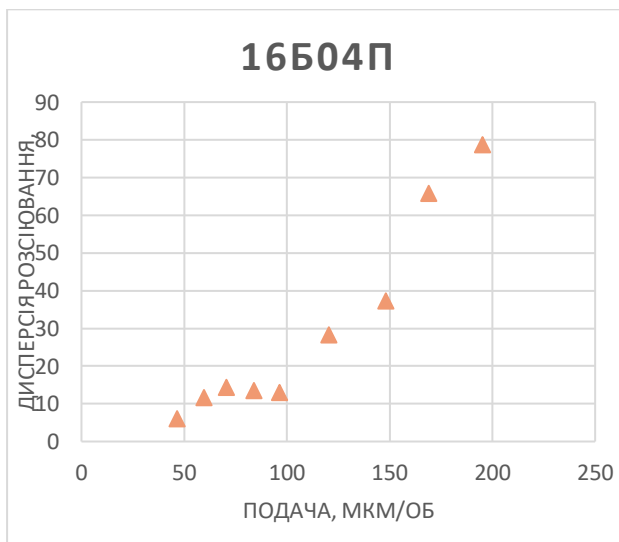
Відклавши по осі X середні значення подачі, а по осі Y – її дисперсію подамо окремо на графіках для кожного верстата їх взаємозв'язок.



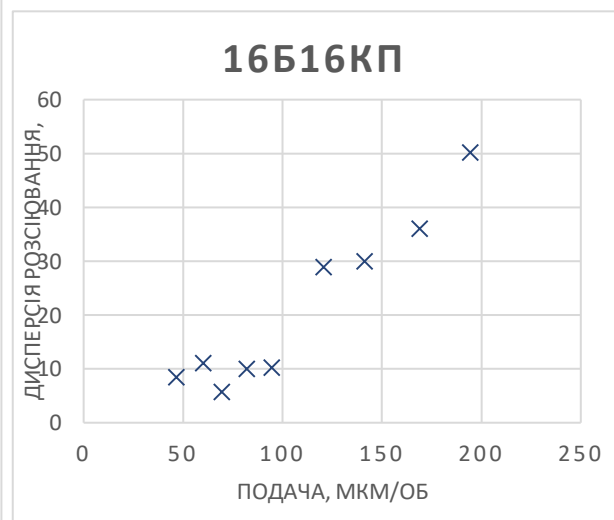
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.1. Графічні залежності дисперсій розсіювання величин подач та їх середніх значень

Як бачимо із графіків (рис.3.1) – із збільшенням середнього значення подачі дисперсія її розсіювання збільшується. Менша дисперсія розсіювання свідчить про менше зношування елементів кінематичного ланцюга і навпаки. Наприклад на верстаті 1К62 менша дисперсія (точки під лінією апроксимації) спостерігається на подачах 0,075 мм/об і 0,15 мм/об, на верстаті 16Б04П найменша дисперсія у співвідношення до середнього значення $\bar{\epsilon}$ на ланцюгу 0,1 мм/об, на верстаті 16Б04КП – на 0,7 та 0,1 мм/об, що свідчить про їх менше спрацювання у порівнянні із іншими.

Для аналізу отриманих даних необхідно підібрати рівняння регресії, яке описувало цей взаємозв'язок. З урахуванням фізичного змісту цих явищ для порівняння візьмемо залежності, які найчастіше використовуються у подібного роду дослідженнях: лінійну та степеневу, а також для порівняння логарифмічну та параболічну.

Лінійні залежності будемо шукати у вигляді [58,59].

$$D(s) = b + k \cdot \bar{s} \quad (3.1)$$

Позначивши $\bar{s} = X$, а $D(s) = Y$, отримаємо

$$Y = b + k \cdot X \quad (3.2)$$

де b – довжина відрізка від початку координат до точки перетину прямої з віссю OY ; k – тангенс кута нахилу прямої до осі OX .

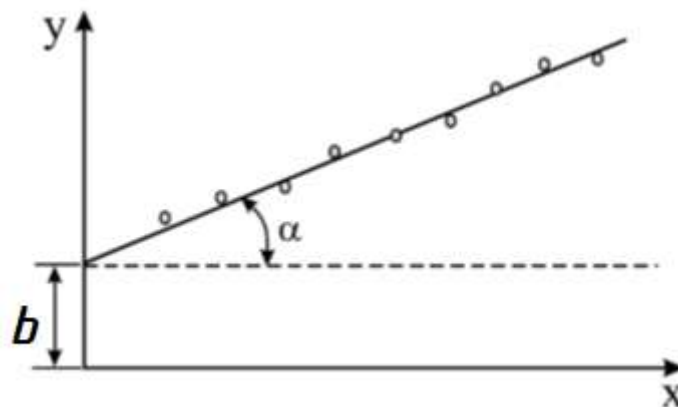


Рис. 3.2. Апроксимація експериментальних даних лінійною залежністю

Пряму лінію проводимо таким чином, щоб сума квадратів відхилень експериментальних значень Y_e від розрахункових Y_p (де $Y_{pi}=a+kX_i$), була мінімальною для всіх дев'яти ланцюгів подач кожного із верстатів (методом найменших квадратів), використовуючи залежність [58,59]:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n (Y_{ei} - Y_{pi})^2 \quad (3.3)$$

Кожна ордината Y_i визначається з певною похибкою, яка характеризується середнім квадратичним відхиленням: $Y_i = Y \mp \sigma_Y$, де σ_Y – середнє квадратичне відхилення і визначається за формулою [58,59]:

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sigma}{n-1}} \quad (3.4)$$

Для пошуку коефіцієнтів регресії використовували залежності [58,59]

$$\begin{cases} \frac{\partial \sum_{i=1}^n [y_i - (k \cdot x_i + b)]^2}{\partial b} \\ \frac{\partial \sum_{i=1}^n [y_i - (k \cdot x_i + b)]^2}{\partial k} \end{cases} \quad (3.5)$$

З системи (3.5) отримали значення коефіцієнтів k і a [58,59].

$$k = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{X}}{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - n(\bar{X})^2} \quad (3.6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - k \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{Y} - k \bar{X} \quad (3.7)$$

де $n=9$ – кількість досліджуваних ланцюгів подач

Степеневу залежність будемо шукати у вигляді

$$D(s) = C \cdot \bar{s}^b \quad (3.6)$$

Прологарифмувавши рівняння отримаємо

$$\lg(D(s)) = \lg C + b \cdot \lg \bar{s}$$

Позначивши у рівнянні 3.7 $\lg \bar{s} = X$, $\lg(D(s)) = Y$, $\lg C = b$ та підставивши їх у (3.6) отримаємо

$$Y = b + k \cdot X \quad (3.7)$$

Коефіцієнти a і b знайдемо із формул, аналогічних до 3.6 та 3.7

Логарифмічну залежність будемо шукати у вигляді

$$D(s) = k \cdot \ln(\bar{s}) + b$$

Або

$$Y = k \cdot \ln(X) + b$$

Параболічну залежність будемо шукати у вигляді

$$D(s) = k \bar{s}^2 + b \bar{s} + c$$

Або

$$Y = kX^2 + bX + c$$

Коефіцієнти k і b для логарифмічної залежності, а також k , b і c для параболічної отримаємо, використавши пакет Microsoft Excel

Характеристику щільності взаємозв'язку між змінними встановлюють за допомогою коефіцієнту кореляції r [58,59]. Коефіцієнт r є випадковою величиною, оскільки обчислюється з випадкових величин. Коефіцієнт кореляції, взаємозв'язок між двома змінними і коливається в межах від -1 до 1. За відсутності зв'язку значення r буде близьким до 0. Значення коефіцієнта -1 характеризує негативний нахил кривої апроксимації, а значення +1 – позитивний. Щоб позбутись від'ємних значень частіше користуються величиною квадрата коефіцієнта кореляції r^2 . Для нашого випадку будемо використовувати **метод Пірсона, який** застосовується для розрахунків, що вимагають точного визначення сили взаємозв'язку, що існує між змінними. Досліджувані з його допомогою ознаки повинні виражатися тільки кількісно. Коефіцієнт кореляції обчислюється за формулою [58,59]:

$$r = \frac{\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2 \Sigma(y-\bar{y})^2}} \quad (1.1)$$

Результати обчислених коефіцієнтів рівнянь регресії та коефіцієнтів кореляції r^2 подамо в таблицях

Таблиця 3.1. Коефіцієнти рівнянь регресії та коефіцієнт кореляції верстата 16К20

Залежність\коефіцієнти	k	b	c	r^2	Умова
лінійна	0,3404	-7,247		0,9114	$X>0; Y>0$
степенева	0,0699	1,2801		0,8576	$X>0; Y>0$
логарифмічна	34,121	-126,76		0,843	$X>0; Y>0$
параболічна	0,0011	0,0853	5,2777	0,9258	$X>0; Y>0$

Таблиця 3.2. Коефіцієнти рівнянь регресії та коефіцієнти кореляції верстата 1К62

Залежність\коефіцієнти	k	b	c	r^2	Умова
лінійна	0,0303	3,4484		0,6061	$X>0; Y>0$
степенева	0,9497	0,4201		0,5505	$X>0; Y>0$
логарифмічна	3,0626	7,2481		0,5327	$X>0; Y>0$
параболічна	0,0003	0,0328	6,5543	0,6678	$X>0; Y>0$

Таблиця 3.3. Коефіцієнти рівнянь регресії та коефіцієнти кореляції верстата 16Б04П

Залежність\коефіцієнти	k	b	c	r^2	Умова
лінійна	0,4434	-18,05		0,8751	$X>0; Y>0$
степенева	0,0091	1,6887		0,9282	$X>0; Y>0$
логарифмічна	47,271	-187,43		0,789	$X>0; Y>0$
параболічна	0,0032	-0,2965	15,523	0,9744	$X>0; Y>0$

Таблиця 3.4. Коефіцієнти рівнянь регресії та коефіцієнти кореляції верстата 16Б16КП

Залежність\коефіцієнти	k	b	c	r^2	Умова
лінійна	0,293	-10,737		0,9181	$X>0; Y>0$
степенева	0,0226	1,4353		0,8123	$X>0; Y>0$
логарифмічна	29,239	-113		0,8231	$X>0; Y>0$
параболічна	0,0012	0,0178	2,9258	0,941	$X>0; Y>0$

Таким чином отримали наступні рівняння регресії взаємозв'язку дисперсії розсіювання подачі та її середнього значення

- Для верстата 16К20

Лінійна

$$Y = 0.3404X - 7.247$$

Степенева

$$Y = 0,0699X^{1,2801}$$

Логарифмічна

$$Y = 34,121 \cdot \ln(X) - 126,76$$

Параболічна

$$Y = 0,0011X^2 + 0,0853X + 5,278$$

- Для верстата 1К62

Лінійна

$$Y = 0.0303X + 3,4484$$

Степенева

$$Y = 0,9497X^{0,4201}$$

Логарифмічна

$$Y = 3,0626 \cdot \ln(X) - 7,2481$$

Параболічна

$$Y = 0,0003X^2 - 0,2965X + 15,523$$

- Для верстата 16Б04П

Лінійна

$$Y = 0.4434X - 18,05$$

Степенева

$$Y = 0,0091X^{1,6887}$$

Логарифмічна

$$Y = 47,271 \cdot \ln(X) - 187,43$$

Параболічна

$$Y = 0,0032X^2 - 0,2965X + 15.523$$

- Для верстата 16Б16КП

Лінійна

$$Y = 0.293X - 10.737$$

Степенева

$$Y = 0,0226X^{1,4353}$$

Логарифмічна

$$Y = 29,239 \cdot \ln(X) - 113$$

Параболічна

$$Y = 0,0012X^2 + 0,0178X + 2.9258$$

Використавши дані таблиць 3.1-3.4, а також залежностей 3,- 1 покажемо цей взаємозв'язок на графіках, апроксимувавши дані, використовуючи метод найменших квадратів (рис. 3.3).

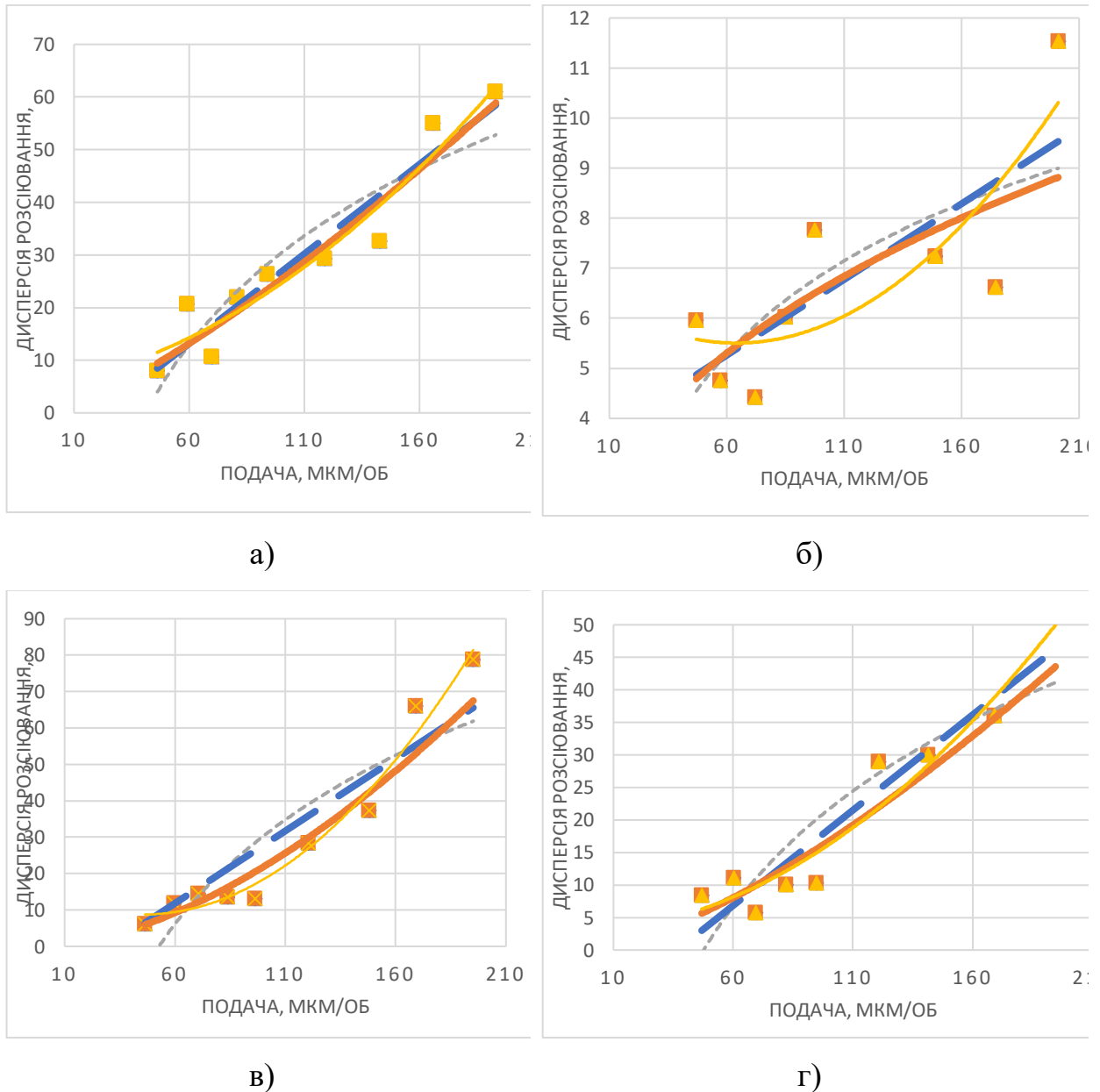
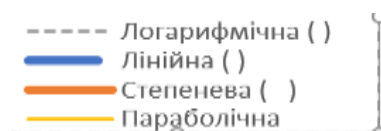


Рис. 3.3 Взаємозв'язок дисперсій розсіювання та середніх значень подач та їх апроксимація для верстатів: а) 16К20; б) 1К62; в) 16Б04П; г) 16Б16КП



Аналізуючи отримані значення коефіцієнтів r^2 бачимо, що найбільший коефіцієнт кореляції є для параболічної залежності, що може свідчити про те, що найкращим способом опису взаємозв'язку дисперсії розсіювання подачі і його середнього значення є саме частини параболі. Проте проведені додаткові дослідження (у роботі не подано) із більшою кількістю даних (ланцюгів подач) цей коефіцієнт зменшується і стає нижчим, ніж для лінійної і для степеневі залежностей. Крім того коефіцієнт k при старшій степені для всіх ланцюгів подач є незначним і становить менше 0,0032, що може свідчити, що отримані коефіцієнти кореляції є лише окремим випадком і параболічна залежність не може використовуватись для опису даної взаємозалежності. Проте це вимагає додаткових досліджень.

Щодо логарифмічної залежності, то використання її для опису даного взаємозв'язку не є доцільною через саму природу логарифмічної функції. Отримані коефіцієнти кореляції для логарифмічних залежностей свідчать про середній та низький взаємозв'язок. Коефіцієнт b (вільний член залежності) для різних верстаті набуває значень -113; -187,43; -7,24 та -126,76. При значеннях подач менших, ніж 41,05 мкм/об (для верстата 16К20), 10,66 мкм/об (для верстата 1К60), 52,72 мкм/об (для верстата 16Б04П) та 47,7 мкм/об (для верстата 16Б16КП) їх дисперсії розсіювання стають меншими від нуля, що суперечить самому фізичному змісту цих величин. Враховуючи вищевикладене використання логарифмічних залежностей для даного випадку є недоцільним

Порівнюючи дані, отриманих лінійних і степеневих залежностей слід зазначити, що коефіцієнт r^2 є значно більшим для лінійних залежностей (крім верстата 16Б04П).

Відповідно до коефіцієнта кореляції рекомендовано взаємозв'язок середнього значення та дисперсії розсіювання описувати лінійною залежністю

Отримані результати дають можливість у перспективі, дослідивши стохастичність подач на всіх кінематичних ланцюгах одного верстата, та записавши рівняння кінематичного балансу ланцюга подачі визначати більше чи менше спрацьовані пари шестерня-колесо коробки подач.

3.2. Аналіз точності досліджуваних ланцюгів подач

На етапі аналізу точності кінематичних ланцюгів визначали коефіцієнт точності, коефіцієнт зміщення її налагодження та комплексний показник точності. Приймавши закон розподілу значень оброблених розмірів нормальним (за результатом перевірки за критеріями λ Колмогорова та (або) χ^2 Пірсона), за правилом трьох сігм поле розсіювання визначиться як $w(x) = 6 \cdot \sigma$.

Коефіцієнт точності технологічної системи визначається [56] як відношення поля розсіювання $w(x)$ до величини поля допуску на нього Tx . За правилом «трьох сігм» формула для його визначення набуде вигляду

$$K_T = \frac{w(x)}{Tx} = \frac{6 \cdot \sigma}{Tx} \quad (12)$$

де Tx – значення допуску функціонування системи.

В якості допуску точності функціонування приймемо стандартний показник, що рекомендований для машинобудування $\pm 5\%$ від номінального значення

При $K_T \leq 0,75$ точність кінематичного ланцюга вважається високою; при $K_T = 0,76 \dots 1$ точність кінематичного ланцюга є задовільною, але вимагає уважного спостереження; При $K_T > 1$ точність незадовільна [56].

Коефіцієнт зміщення при налагодженні [56]

$$K_H = \frac{E_H}{Tx} = \frac{|\bar{s} - s_0|}{Tx} \quad (13)$$

де E_H — похибка налагодження, що є відхиленням центра розсіювання \bar{s} відносно номінального значення подачі s_0 , тобто $E_H = |\bar{s} - s_0|$.

Для забезпечення функціональної точності повинні виконуватись дві умови:

- коефіцієнт точності $K_T < 1$;
- коефіцієнт зміщення при налагодженні повинен бути менший за своє допустиме значення:

$$E_H < [E] = \frac{Tx - w(x)}{2 \cdot Tx} \quad (14)$$

Комплексний показник точності [28] враховує відхилення центра групування значень заданої величини (номінальне значення) від середини поля допуску на нього, віднесене до половини поля розсіяння:

$$K_C = \max \frac{w(x)}{2(s_M - \bar{s})}; \frac{w(x)}{2(\bar{s} - s_m)} \quad (15)$$

де s_M, s_m — найбільше і найменше допустимі значення величини подачі.

З одного боку, він зіставляє поле допуску з полем розсіяння значень параметра, з іншого — враховує зміщення налагодженого значення відносно середини поля допуску. Результати розрахунків за формулами (12-15) зведемо у таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 Результати розрахунків коефіцієнтів точності, зміщення при налагодження та комплексного показника точності кінематичних ланцюгів досліджуваних верстатів

Модель верстата	16K20				
Подача, мкм/об	50	75	100	150	200
Допуск T_x	5	7,5	10	15	20
Найб. допустиме значення s_M , мкм/об	52,5	78,75	105	157,5	210
Найм. допустиме значення s_m , мкм/об	47,5	71,25	95	142,5	190
Коефіцієнт точності K_T	3,384	2,6	3,072	2,284	2,34
Коефіцієнт зміщення при налагодженні K_H	0,764	0,684	0,607	0,478	0,345
Комплексний показник точності, K_C	6,4	7,06	14,35	51,9	7,54
Модель верстата	1K62				
Подача, мкм/об	50	75	100	150	200
Допуск T_x	5	7,5	10	15	20
Найб. допустиме значення s_M , мкм/об	52,5	78,75	105	157,5	210
Найм. допустиме значення s_m , мкм/об	47,5	71,25	95	142,5	190
Коефіцієнт точності K_T	2,928	1,68	1,674	1,076	1,02
Коефіцієнт зміщення при налагодженні	0,588	0,378	0,269	0,08	0,055

K_H					
Комплексний показник точності, K_C	16,63	6,92	3,62	1,28095	0,92
Модель верстата	16Б04П				
Подача, мкм/об	50	75	100	150	200
Допуск T_x	5	7,5	10	15	20
Найб. допустиме значення s_M , мкм/об	52,5	78,75	105	157,5	210
Найм. допустиме значення s_m , мкм/об	47,5	71,25	95	142,5	190
Коефіцієнт точності K_T	3,204	3,032	2,166	2,44	2,664
Коефіцієнт зміщення при налагодженні K_H	0,716	0,59	0,357	0,136	0,241
Комплексний показник точності, K_C	7,41	16,72	7,57	3,35	5,14
Модель верстата	16Б16КП				
Подача, мкм/об	50	7	100	150	200
Допуск T_x	5	7	10	15	20
Найб. допустиме значення s_M , мкм/об	52,5	73,5	105	157,5	210
Найм. допустиме значення s_m , мкм/об	47,5	66,5	95	142,5	190
Коефіцієнт точності K_T	3,468	2,03	1,92	2,188	2,124
Коефіцієнт зміщення при налагодженні K_H	0,626	0,73	0,523	0,576	0,268
Комплексний показник точності, K_C	13,76	3,97	41,73	14,39	4,56

Аналізуючи дані таблиці бачимо, що за коефіцієнтами точності, зміщення при налагодженні та комплексним показником точності практично всі кінематичні ланцюги не відповідають вимогам. Лише два кінематичні ланцюги верстата 16К20 (при $s=0.15$ мм/об та $s=0,2$ мм/об) можна вважати задовільними по точності.

Таким чином використання запропонованої методики дасть можливість визначати ступінь зношування кінематичних ланцюгів, визначати необхідність їх детальної діагностики та ремонту.

3.3. Висновки по розділу

1. За коефіцієнтом регресії доведено, що взаємозв'язок середнього значення і дисперсії розсіювання подачі може описуватися лінійною залежністю. Допускається використання степеневої залежності

2. Запропоновано аналізувати точність кінематичних ланцюгів верстатів за коефіцієнтом точності, коефіцієнтом зміщення при налагодженні ті комплексним показником точності

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

4.1.1. Правила безпечної роботи на токарних верстатах

Актуальність проблем безпеки при роботі на металорізальних верстатах особливо велика у зв'язку з великим контингентом робочих, зайнятих обробкою різанням, збільшенням випуску верстатів, а також тим, що на заводах мають місце нещасні випадки. Причини цих нещасних випадків різноманітні: конструкторські недоліки верстатів, недоліки в організації охорони праці, порушення інструкції з техніки безпеки і правил внутрішнього розпорядку робітниками.

При проектуванні верстата і організації роботи на ньому необхідно враховувати небезпечні фактори і передбачити відповідні заходи забезпечення безпеки. До основних травмуючи факторів належать:

- різальні інструменти та рухомі вузли верстатів;
- привідні та передаточні механізми. Вони можуть наносити травми в процесі експлуатації, наладки і ремонту обладнання;
- зливна стружка;
- відлітаюча стружка і пил крихких металів;
- пристосування для закріплення оброблюваної деталі чи інструмента;
- заготовки та готові вироби;
- електричний струм.

Для того, щоб праця робітників була безпечною, необхідно перш за все в конструкції верстатів, різних допоміжних пристроїв передбачити всі необхідні заходи безпеки. Крім того необхідно, щоб організація праці на робочому місці і його оснащення відповідали вимогам безпеки. При цьому мається на увазі, що робота виконується в приміщенні, повністю відповідаючому санітарним нормам.

Задачі електробезпеки на верстатах в багатьох випадках вирішуються шляхом використання напруги безпечної величини (12, 36 В) або встановлення різноманітних блокуючих пристроїв, які виключають випадковий доступ до струмопровідних частин, що знаходяться під небезпечною напругою. Згідно з галузевим стандартом верстато-інструментальної промисловості на зовнішніх сторонах дверей шаф з електрообладнанням, кришок коробок та інших електричних пристроїв має бути передбачений попереджувальний знак напруги, над гвинтами заземлення необхідно закріпити знак заземлення.

Для безпеки верстата оснащуються різноманітними запобіжними пристроями, які автоматично усувають небезпеку виникнення аварії, поломки через порушення технологічного процесу, порушення роботи верстата, перевантаження чи переходу рухомих частин за встановлені межі. На проєктованому верстаті захист від перевантажень чи порушення техпроцесу здійснюється запобіжними муфтами, які встановлені на валах електродвигунів, а величина ходу всіх рухомих вузлів верстата контролюється кінцевими вимикачами.

При проєктуванні металорізальних верстатів мають бути передбачені огороження різального інструменту, зони обробки та рухомих деталей для попередження травмування робітників. Огородженню підлягають всі привідні і передаточні механізми верстата, а також робочі площадки верстатів, розміщених на висоті. Огороджуючи пристрої виготовляють, як правило, із металів чи інших неметалічних матеріалів. Привідні і передаточні механізми огороджують знімними чи відкриваючими дверцятами для змащування, регулювання, встановлення і зняття знімних зубчастих коліс. В проєктованому верстаті зона різання захищена прозорим щитком, робоче положення якого контролюється кінцевим вимикачем. Для захисту робітників від випадкового дотику до регульовальних квадратів вузлів верстата, використано захисні ковпаки і механізм викидання спеціального ключа, який може залишити наладчик.

Добре освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, покращенню якості деталей, а також оберігає зір робочих і зменшує

травматизм. Освітлення може бути природнім, коли використовують денне світло, і штучним, коли використовують електричні лампи. Природне освітлення в цеху забезпечується боковими вікнами, а при ширині приміщення більше 12 м – світловими ліхтарями на даху.

Штучне освітлення цеху і робочого місця має бути рівномірним. При роботах, виконання яких вимагає додаткового освітлення, робоче місце оснащують лампами місцевого освітлення, які живляться напругою 36 В. Користуватися місцевим освітленням напругою вище 36 В заборонено. Як правило робоча зона верстата має освітлюватись зліва і зверху. При місцевому освітленні на всіх лампочках повинні бути встановлені добрі розсіювачі. Вікна, світлові лампи і електричні лампочки повинні утримуватись в чистоті. Норма освітлення робочого місця складає 1300-2000 лк.

При проектуванні слід передбачити міри по зниженні шуму обладнання. Для цього необхідно по можливості:

- замінити ударні взаємодії безударними, зворотно-поступальні рухи обмежувати;
- депфувати вібрації деталей, що вдаряються і окремих вузлів шляхом сполучення їх з матеріалами, які мають велике внутрішнє тертя;
- зменшувати інтенсивність вібрацій деталей агрегатів, які мають великий випромінюючий шум поверхні;
- замінити металічні деталі на деталі із пластмас або інших малозвучних матеріалів;
- забезпечити врівноваження всіх рухомих деталей для зменшення динамічних сил;
- в тих випадках, коли усунення чи зменшення шуму неможливо, необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту.

Рівень шуму повинен відповідати санітарним нормам, тобто не повинен перевищувати 80 дБ.

На безпеку роботи на верстаті в значній мірі впливає раціональне зовнішнє оформлення верстата. Так, підбір кольору покриття верстата є ефективним засобом забезпечення хороших умов зорової роботи верстатника,

шляхом створення контрасту між фоном і оброблюваною заготовкою та інструментом; кольорове оформлення органів керування (кнопок, важелів) у відповідні сигнальні кольори (червоний, жовтий, синій) сприяє зменшенню помилок при керуванні верстатом; позначення сигнальним кольором небезпечних зон, трубопроводів, ємностей привертає увагу до небезпеки і в багатьох випадках попереджує аварії і нещасні випадки. Нанесення сигнальних кольорів на відповідні елементи верстатів і використання пластинок сигнальних кольорів має передбачатися робочим проектом кольорового оформлення верстата, і виконується з метою привертання уваги обслуговуючого персоналу по ГОСТ 14202-69.

Важливий вплив на безпеку і продуктивність праці робітника має оформлення робочого місця допоміжним обладнанням: раціональним стелажем для зберігання основного та допоміжного обладнання, зручною тарою для заготовок і готових товарів повинно забезпечувати найбільш продуктивні і безпечні умови роботи і проводиться згідно вимог санітарних норм СН 245-41. на робочому місці повинно знаходитись лише те, що необхідно для виконання заданих робіт. Проходи між верстатами повинні бути вільними, захаращувати їх тарою, візками та іншими предметами заборонено. Підлога на робочому місці має бути рівною.

По закінченні роботи необхідно привести в порядок робоче місце, а це означає – прибрати стружку, різальний і вимірювальний інструмент та пристосування, розмістити їх в певному порядку в інструментальній шафі. Акуратно скласти готові деталі і заготовки, змастити поверхні які труться, а також транспортні засоби. В такому вигляді здати обладнання змінному робітникові або майстру цеху чи дільниці, при цьому попередивши про всі виявленні несправності в роботі верстата.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Захист організму від негативного впливу електромагнітних полів

Усі електромагнітні поля і випромінювання поділяють на природні й антропогенні. Оточуюче нас середовище завжди перебувало під впливом електромагнітних полів. Ці поля називаються фоновим випромінюванням та спричинені природою. З розвитком науки й техніки фонове випромінювання значно підсилюлося. Тому електромагнітні поля, які можна віднести до антропогенних, значно перевищують природний фон і останнім часом перетворилися на небезпечний екологічний чинник.

Існує така номенклатура діапазонів згідно регламенту радіозв'язку:

- 30-300 кГц – НЧ (низькочастотне);
- 300-3000 кГц – СЧ (середньочастотне);
- 3-30 МГц – ВЧ (високочастотне);
- 30-300 МГц – метрові;
- 300-3000 МГц – УВЧ;
- 3-30 ГГц – СВЧ;
- 30-300 ГГц – КВЧ.

Для захисту людини від шкідливого впливу електромагнітних полів приймаються нормативи та стандарти. Треба зазначити, що будь-які норми та стандарти, пов'язані із захистом людини від небезпечного впливу, завжди являють собою компроміс між перевагами використання нових технологій та нової техніки і можливим ризиком, спричиненим цим використанням. ДСТУ “Електромагнітні поля радіочастот” охоплює діапазон частот 60 кГц-300МГц. Він встановлює, що оцінка ЕМП в діапазоні 60 кГц-300МГц проводиться окремо з електричних і магнітних складових поля. Допустимі рівні протягом робочого дня по електричній складовій не повинні перевищувати 50 В/м знижуючись ступенями 5 В/м по мірі підвищення частоти. По магнітній складовій встановлені рівні тільки для окремих ділянок діапазону: 5 А/м для частот 60 кГц-1.5 МГц та 0,3 А для частот 30-50 МГц.

Допускається перевищення цих стандартів, але не більше ніж двократно, при скороченні робочого дня не менш як на 50%.

Для частот 300 МГц-30 ГГц гранично допустимі значення щільності визначаються як результат ділення нормованої величини енергетичного навантаження за робочий день на час впливу. Енергетичне навантаження протягом робочого дня не повинно перевищувати $200 \text{ мкВт} \times \text{год} / \text{см}^2$. Ми бачимо, що електромагнітні поля дуже сильно впливають на людський організм. Вони негативно впливають майже на усі системи організму. Тому треба створювати певні методи захисту від їх дії. Найпоширенішими з таких методів є:

- зменшення щільності потоку енергії, якщо дозволяє даний технологічний процес або обладнання;
- захист часом (тобто обмеження часу знаходження у зоні джерела ЕМП);
- захист відстанню;
- екранування робочого місця чи джерела;
- раціональне планування робочого місця;
- застосування засобів попереджувальної сигналізації;
- застосування засобів особистого захисту.

Для зменшення впливу електромагнітних полів на персонал, який знаходиться у зоні дії деяких радіоелектронних засобів необхідним є ряд захисних заходів: організаційні, інженерно-технічні та лікувально-профілактичні.

Слід сказати, що ще на етапі проектування взаємне розміщення об'єктів має бути забезпечено таким чином, щоб інтенсивність опромінення була мінімальною. Також треба заздалегідь попідкуватися про зменшення часу перебування персоналу у зоні опромінення. Потужність джерел випромінювання повинна бути найменшою з можливих.

Отже, є досить багато методів захисту свого здоров'я від небезпеки на робочому місці з підвищеним електромагнітним фоном. Крім того треба вимагати від керуючих органів дотримання державних стандартів України та не порушувати їх норм.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі запропонованої методики проведено дослідження величини подачі на токарних верстатів, визначено характеристики розсіювання, зокрема середнє значення, дисперсію розсіювання та середнє квадратичне відхилення. Виявлено, щ із збільшенням середнього значення подачі збільшується її дисперсія розсіювання та середньоквадратичне відхилення на кожному із досліджуваних верстатів

2. З використанням критерії Колмогорова та Пірсова доведено, що величина подач універсальних токарних верстатів підкоряється нормальному закону розподілу (усіченому ліворуч)

3. На основі регресійного аналізу доведено, що взаємозв'язок середнього значення величини подачі та її дисперсії розсіювання описується лінійною залежністю. Отримано залежності для кожного із верстатів

4. На основі запропонованої методики проведено розрахунок коефіцієнтів точності, коефіцієнтів зміщення при налагодженні, а також сумарного коефіцієнта точності універсальних токарних верстатів 16К20, 1К62, 16Б04П, 16Б16КП. Виявлено, що лише 2 кінематичні ланцюги верстата 1К62 відповідають вимогам точності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 8-82 Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность (с Изменениями N 1, 2, 3) [чинний з 01.1995] М.: ИПК Издательство стандартов, 1995
2. Дербаба В. А. Дослідження та вдосконалення методики випробувань верстата на геометричну і кінематичну точність / В.В. А. Дербаба, В. С. Носачов, З. М. Різо // Національний гірничий університет. Збірник наукових праць. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – № 64. – С. 198-212.
3. Зубрецька Н.А. Нейронечітке управління точністю та стабільністю технологічних процесів механічної обробки деталей / Н. А. Зубрецька // Східно-Європейський журнал передових технологій, 2013 - №3(63). – С. 49-53
4. Громовий, О. А., Виговський, Г. М., & Балицька, Н. О. (2020). Шляхи удосконалення процесу обробки плоских поверхонь деталей фрезеруванням. *Технічна інженерія*, (2(86), 48–53.
5. Динамічне управління коливаннями при точінні / В. О. Залога, Д. В. Криворучко, Ю. В. Шаповал, К. А. Дрофа. // *Mechanics and Advanced Technologies*. – 2017. – №79. – С. 100–107
6. Залога В. О. Підвищення стабільності процесу різання шляхом зміни швидкості різання в процесі обробки / В. О. Залога, Р. М. Зінченко, Ю. В. Шаповал // *Високі технології в машинобудуванні : збірник наукових праць*. – Х. : НТУ "ХПІ", 2014. – Вип. 1 (24). – С. 59-70.
7. Шаповал Ю.В. Підвищення ефективності оброблення деталей на токарних верстатах шляхом керування динамікою процесу з високими частотами обертання шпинделя: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Житомир, 2018. 24 с.
8. Маслов А.Р. Диагностирование и контроль технологических систем в машиностроении: сб. материалов / сост. и ред. А.Р. Маслов. М.: Издательство «ИТО», 2008. 240с.
9. Дятлик, Р. Г. Система діагностики різального інструменту на верстатах з ЧПК / Р. Г. Дятлик, В. В. Шевченко // XII Всеукраїнська науково-практична

конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - С. 148-151.

10. Гордєєв О. Ф. и др. Вібродіагностика верстата з використанням мереж Байєса //Наукові нотатки. – 2013. – №. 40. – С. 62-69.

11. Шевченко В. В. та ін. Система діагностики працездатності різального інструменту на верстатах із ЧПК //Вчені записки Таврійського національного університету імені ВІ Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2018. – №. 29 (68),№ 2. – С. 198-202.

12. Гордєєв О. Ф., Четвержук Т. І. Безразборная диагностика стыков металлорежущих станков на основе самоподобия деформаций //Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2014. – №. 1. – С. 99-105.

13. Перетяка Н. О., Перетяка Н. А. Аналіз даних теплового контролю шпіндельних опор настільного токарно-гвинторізного верстата //Вісник Вінницького політехнічного інституту.№ 2: 91-98. – 2019.

14. Шевченко, О. В. Підвищення точності обробки на токарних автоматизованих верстатах шляхом мікрорегулювання положення різця / О. В. Шевченко, Т. Г. Гримуд // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. – 2010. – № 59. – С. 59–64.

15. Ревіцький І. Дослідженні точності подач токарно-гвинторізного верстата моделі 16К20 в імовірнісному аспекті / І. Ревіцький // Матеріали IV Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 19-20 квітня 2011 року — Т. : ТНТУ, 2011 — Том 1. — С. 215. — (Машинобудування).

16. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко // Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць ІХ-ої Міжнародної науково-технічної конференції, 03-07 лютого 2020 року, Львів-Плай. — Львів, 2020. — С. 103–105.

17. Кривий П. Д. Імовірнісний підхід до оцінювання впливу збільшення подач на дисперсію їх розсіювання на прикладі токарного гвинторізного верстата моделі 1А62 / П. Д. Кривий, М. І. Паласюк, І. Р. Петречко // Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 1. — С. 81–82.

18. Вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні при її точінні або розточуванні / П. Кривий, Н. Тимошенко, М. Шарик, В. Крупа // Львів : Машинознавство. – 2013. – №9-10 (195-196). – С. 76-83.

19. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. канд. техн. наук, спец. 05.03.01 / Крупа Володимир Васильович - Тернопіль, 2015. - 185 с.

20. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів, на прикладі моделі 2Н118 / Кобельник В.Р. Кривий П.Д. // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наукових праць. Житомир : ЖДТУ, 2010 . – Вип. 8.- С. 99-108.

21. Імовірнісно-статистичний метод визначення точності кінематичних ланцюгів подач вертикально-свердлильних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, Н. М. Тимошенко, Т. В. В'юк // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — Том I. — С. 120–121.

22. Кобельник В. Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис..... канд. техн. наук, спец. 05.03.01 / Кобельник Володимир Романович – Тернопіль, 2013. – 168 с.

23. Кривий П. Д. Імовірнісний підхід при дослідженні впливу збільшення подач на точність їх кінематичних ланцюгів на прикладі фрезерного інструментального широкоуніверсального верстата моделі 676 / П. Д. Кривий, І. Г. Лось, С. Я. Дубина // Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі

сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 1. -С. 79–80.

24 Дубина С. Я. Дослідження точності кінематичних ланцюгів подач фрезерних верстатів загального призначення : дипломна робота магістра за спеціальністю "133 — галузеве машинобудування“ / С. Я. Дубина. — Тернопіль : ТНТУ, 2020. — 82 с.

25. Лось І. Г. Імовірно-статистичний метод визначення точності кінематичних ланцюгів подач фрезерного верстата моделі 676 // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів., (27-28 листопада, 2019р. м. Тернопіль). – 2019 – с. 110 – 111.

26. Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів/ Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 31 жовтня — 02 листопада 2018 року: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. —С. 78-80

27. Уточнений метод апріорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки / П. Д. Кривий, Н. М. Тимошенко, В. О. Дзюра, В. Р. Кобельник // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 132–133.

28. Кривий П.Д. Методика визначення впливу подачі на силу різання при розточуванні та зенкеруванні з використанням теорії малої вибірки / Кривий П.Д., Крупа В.В. // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції "Прогресивні технології у машинобудуванні". Львів : В-во Львівської політехніки, 2016., С. 35-36

29. Лоев В. Ю., Отаманський В. В. Вплив нерівномірності подач та обертів шпинделя на процеси лезової обробки деталі. – 2014.

30. Крупа В. В. Математичні моделі впливу стохастичності подачі на шорсткість обробленої поверхні в імовірнісному аспекті / В. В. Крупа // Десятий міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові, 25-27 травня 2011 р. : праці. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2011. – С. 234-236.

31. Грицай І.Є., Кривий П.Д., Дзюра В.О., Яцюк В.А. Ймовірнісний метод оцінювання впливу подачі на шорсткість поверхні, отриманої в процесі різання пластичних сплавів. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції «прогресивні технології в машинобудуванні», (м. Львів, 2-6 лютого 2015 року) Львів, Львівська політехніка. 2015. – с.35-37.

32. Stepchyn Y. Decrease of surfaces roughness for parts processed with edge tool by improvement of the lathe working components uniform feed / Yaroslav Stepchyn, Valentyn Otamanskyi // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2017. — Vol 88. — No 4. — P. 119–128.

33. Отаманський, В. В., В. С. Ковальчук. Покращення шорсткості поверхонь деталей, оброблених лезовим інструментом шляхом підвищення рівномірності подачі супорту (столу)." (2017).

34. Отаманський, В. В. Математичні моделі впливу нерівномірності подачі на шорсткість поверхонь деталей, оброблених лезовим інструментом. (2016).

35. Kryvyi, P., Dzyura, V., Tymoshenko, N., Maruschak, P., Nugaras, J., & Prentkovskis, O. (2018). Probability-statistical estimation method of feed influence on as-turned finish of steels and non-ferrous metals. *Metals*, 8(11), 965. <https://doi.org/10.3390/met8110965>

36. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів / Кривий П. Д. , Крупа В. В. , Продан В. І. // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 147-156.

37. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі / Крупа В. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 16. — № 1. — С.105-117. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки). ВВ Крупа

38. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні параметри багаторізцевих розточних головок з радіусними вершинами різців / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2011.– Вип. 33– С. 92-99.

39. Кривий П. Д. Інструментальне забезпечення процесу розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П. Д. Кривий, В. В. Крупа // Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих. Прогресивні ідеї – наука – виробництво (Україна, Житомир 5-8 жовтня 2011р.). ЖДТУ. – 2011. С. 22

40. Кривий, П. Д. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлев // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). - С. 28-35.

41. Підвищення продуктивності процесу і якості плоскої поверхні сформованої комбінаційним торцевим фрезеруванням / Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Крупа В.В., Мимрик Н.П. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. Краматорськ : ДДМА, 2019, - № 3 (47). – С. 199-206.

42. Пат. UA 145674 МПК В23В 29/00, В23В 51/10 (2006.01) ТРИРІЗЦЕВА РОЗТОЧУВАЛЬНА ГОЛОВКА / Кривий Петро Дмитрович (UA); Крупа Володимир Васильович (UA); Косів Ярослав Миколайович (UA) заявник та патентовласник ТНТУ ім. І. Пулюя – u202004978. Заявл. 03.08.2020. Опубл. 29.12.2020. бюл. № № 24/2020

43. Пат. 93918 UA МПК В23В 29/03 (2006.01) Дворіздева розточувальна головка / Кривий П. Д., Дзюра В.О. Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201403726; заявл. 10.04.2014; опубл. 27.010.2014, бюл. № 20/2014

44. Пат. 72588 UA МПК (2006.01) В 23В 29/03. Розточувальна головка / Кривий П. Д., Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201200904; заявл. 30.01.12; опубл. 27.08.2012, бюл. № 16/2012

45. Пат. 88484 UA МПК В23В 51/10 (2006.01) Зенкер / Островський М.І., Кушпіль В.С., Кривий П. Д., Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. –

u201302671; заявл. 04.03.2013; опубл. 25.03.2014, бюл. № 6/2014

46. Пат. 67542 UA МПК (2006.01) В 23В 51/10. Багатолезовий різальний інструмент для протяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / Кривий П. Д., Крупа В. В., Кушпіль В. С.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201109467; заявл. 28.07.2011; опубл. 27.02.2012, бюл. № 4/2012.

47. Пат. 73092 UA МПК (2006.01) В 23В 51/10. Багатолезовий різальний інструмент для витяжного розточування внутрішніх циліндричних поверхонь / Кривий П. Д., Крупа В. В.; заявник та патентовласник ТНТУ. – u201202467; заявл. 01.03.2012; опубл. 10.09.2012, бюл. № 17/2012.

48. Лоев, В. Ю., and А. В. Соловйов. "Підвищення ресурсу точності прецизійних металорізальних верстатів шляхом поновлення вихідних нормативних параметрів." (2016).

49. Шевченко, О. В. Підвищення точності обробки на токарних автоматизованих верстатах шляхом мікрорегулювання положення різця / О. В. Шевченко, Т. Г. Гримуд // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. – 2010. – № 59. – С. 59–64.

50. Станок токарно-винторезный 16К20. Руководство по эксплуатации. Московский станкостроительный завод «Красный пролетарий», Москва, 1979 г.- 72 с.

51. Станок токарно-винторезный 1К62. Руководство по эксплуатации. М. ЦБТИ, 1962 г. – 30 с.

52. Станок токарно-винторезный 16Б04П. Руководство по эксплуатации. М. ЦБТИ, 1972 г. – 45 с.

53. Станок токарно-винторезный 16Б16КП. Руководство по эксплуатации. М. Станкоимпорт., 1984 г. – 46 с.

54. Крупа В. В. Експериментальні дослідження стохастичності подач токарних верстатів / В. В. Крупа, І. Р. Петречко, О. О. Ковальчук // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та

виготовлення транспортно-технологічних машин“, 23-24 вересня 2021. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2021. — С. 30–31.

55. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М. : Наука, 1969. — 432 с.

56. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. / Я. Д. Колкер // Киев : Техника — 1979. — 200с.

57. Екимов В.В. Вероятностные методы в строительной механике корабля / Екимов В.В. —Из-во «Судностроение».— Ленинград, 1966. —328с.

58. Літнарівч Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник, МЕНУ, Рівне, 2011.-140 с.

59. Легеза В.П., Мартиненко М.А., Іванова Ю.І. Вища математика: підручник для студ. вищих навч. закладів : у 2 ч. Ч.1. / Легеза В.П., Мартиненко М.А., Іванова Ю.І. — К.: Четверта хвиля, 2012.—368 с. ISBN 978-966-529-278-4

