

УДК 378.164/.169; 621.9; 378.147:62
УКПП
№ держреєстрації 0116U000933
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет (СумДУ)
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2;
тел. (0542) 33-41-08/33-40-49

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д-р фіз.-мат. наук, професор

_____ А.М. Черноус

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН ШЛЯХОМ
ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УСТАТКУВАННЯ ТА ОСНАЩЕННЯ, СИСТЕМ ЯКОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА
МЕТОДІВ ВИКЛАДАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН**

(остаточний)

Науковий керівник НДР
д-р техн. наук, професор

В.О. Залога

2021

Рукопис закінчено 16 грудня 2021р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від 23.12.2021 р. № 7

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник НДР, д-р техн. наук, професор	<hr/> 23.12.2021 р.	В.О. Залога (вступ, висновки)
Виконавці: Завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, д-р техн. наук, професор	<hr/> 23.12.2021 р.	В.О. Іванов (розділ 4)
Професор кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, д-р пед. наук, професор	<hr/> 23.12.2021 р.	О.М. Алексеєв (розділ 4)
Доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, канд. техн. наук, доцент	<hr/> 23.12.2021 р.	С.С. Некрасов (розділ 1)
Доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, канд. техн. наук, доцент	<hr/> 23.12.2021 р.	С.В. Швець (розділ 2)
Доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів канд. техн. наук, доцент	<hr/> 23.12.2021 р.	О.В. Івченко (Розділ 3)
Доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, канд. техн. наук, доцент	<hr/> 23.12.2021 р.	А.В. Євтухов (розділ 3)
Доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, канд. техн. наук, доцент	<hr/> 23.12.2021 р.	Б.А. Ступін (розділ 3)

Старший викладач кафедри
технології машинобудування,
верстатів та інструментів,
канд. техн. наук

23.12.2021 р.

А.Ю. Довгополов
(розділ 1)

Старший викладач кафедри
технології машинобудування,
верстатів та інструментів
канд. техн. наук

23.12.2021 р.

А.О. Нешта
(розділ 1)

Старший викладач кафедри
технології машинобудування,
верстатів та інструментів,
канд. техн. наук

23.12.2021 р.

В.О. Колесник
(розділ 2)

Старший викладач кафедри
технології машинобудування,
верстатів та інструментів,
канд. техн. наук

23.12.2021 р.

І.М. Дегтярьов
(розділ 2)

Старший викладач кафедри
технології машинобудування,
верстатів та інструментів,
канд. техн. наук

23.12.2021 р.

Ю.О. Денисенко
(розділ 4)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 174 с., 4 ч., 21 табл., 71 рис., 132 джерела.

КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІН,
СИСТЕМА ЯКОСТІ, СКЛАДАННЯ МАШИН, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ.

Об'єкт дослідження – технологія підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін.

Предмет дослідження – механізми та моделі підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін.

Мета дослідження - підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін.

Звіт складається з 4 розділів. У першому розділі розглянуті питання підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення складнопрофільних деталей машин із важкооброблюваних матеріалів. Другий розділ присвячений вдосконаленню методів механічної обробки важкооброблюваних конструкційних матеріалів. Третій розділ розглядає питання поліпшення методів технологічного устаткування та оснащення гнучких автоматизованих виробництв. Останній четвертий розділ присвячений забезпеченню систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін.

На основі результатів НДР опублікована велика кількість статей у фахових виданнях України та у виданнях що індексуються базами даних Scopus та Web of Science. Також розроблена велика кількість методичної літератури та патентів.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ІЗ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ	10
1.1. Розроблення технології формоутворення різанням внутрішньої поверхні різьбового з'єднання з круглою різьбою в деталях, виготовлених з армованих композиційних матеріалів	10
1.2 Визначення ефективної області застосування технології оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання	19
Висновки до розділу 1	35
2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	36
2.1. Експериментальне дослідження впливу режимів різання та температури свердла та точність отворів при свердлінні пакетів вуглепластик/ титановий сплав	36
2.2. Підвищення ефективності процесу зубодовбання біметалевих зубчатих дисків внутрішнього зачеплення з фрикційним покриттям	44
2.3. Аналіз шляхів вдосконалення конструкцій інструментів з механічним кріпленням різальних елементів (багатогранних пластин та вставок з багатогранними пластинами)	51
2.4. Моделювання положень змінних багатогранних пластин на корпусі різального інструмента	53
2.5. Аналіз шляхів підвищення ефективності торцевого фрезерування плоских поверхонь деталей із важкооброблюваних матеріалів збірними торцевими фрезами	56
2.6. Застосування конічних гвинтів для кріплення ріжучих вставок із п'ятигранними пластинами у збірних торцевих фрезах	57

2.7. Аналіз способів регулювання положення ріжучих вставок у збірних торцевих фрезах	60
Висновки до розділу 2	72
3 ПОЛІПШЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА ОСНАЩЕННЯ ГНУЧКИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ	75
3.1 Переналагоджувані верстатні пристрої	75
3.2 Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану системи «верстатний пристрій – заготовка»	91
Висновки до розділу 3	96
4 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ЯКОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА МЕТОДІВ ВИКЛАДАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН	98
4.1 Технологічне оснащення в комплектах технологічної документації при проектуванні технологічних процесів в курсових проектах та кваліфікаційних роботах здобувачів вищої освіти	98
4.2 Використання власних мобільних пристроїв студентів у навчальному процесі	110
4.3 Особливості проектування мобільного додатка SSUQUESTIONNAIRE-M для контролю знань студентів інженерних спеціальностей	114
4.4 Оцінювання якості викладання дисциплін у середовищі E-learning Сумського державного університету	124
4.5 Практична реалізація методу оцінювання показників якості викладання ..	132
4.6 Підвищення ефективності вивчення загальноінженерних дисциплін шляхом використання тренажерів	134
4.7 Впровадження CALS-технологій при управлінні якістю процесів життєвого циклу продукції	146
Висновки до розділу 4	155
ВИСНОВКИ	157
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	161

ВСТУП

У вирішенні ключового господарського завдання на етапі розвитку країни одним із найважливіших місць відводиться машинобудуванню, як ефективному джерелу оснащення народного господарства досконалими знаряддями праці. Загальні тенденції у розвитку машинобудування пов'язані із забезпеченням надійності машин, створенням конкурентоспроможної продукції, використанням наукомістких технологій та екологічно чистих технологічних процесів. Вирішення цих завдань визначається вимогами якісного виготовлення конструкцій виробів, що постійно ускладнюються, необхідністю підвищення продуктивності праці та раціонального використання матеріальних, трудових та вартісних ресурсів.

Незважаючи на велику кількість способів формоутворення, у сучасному виробництві найбільш широко застосовуються методи, засновані на використанні для цих цілей обробки різанням. У промисловості вона займає близько 60-70% від усіх операцій формоутворення, а в деяких видах промислового виробництва, наприклад в турбо- і компресоробудуванні, може досягати 90-95%. Значний обсяг процесів формоутворення з видаленням шару матеріалу (припуску) з використанням механічної енергії (обробки різанням) обумовлюється рядом відомих переваг: універсальністю, малою питомою енергоємністю при досить високій продуктивності, можливістю отримання деталей різних форм і розмірів з високою точністю та якістю поверхонь, стабільністю одержуваних експлуатаційних властивостей деталей і т.п. За даними науково-технічного товариства технологів машинобудівного виробництва (CIRP) в найближчі 20-30 років хоч і розшириться використання електричних, променевих, магнітних та інших методів обробки, проте процеси механічної обробки різанням, як основні технологічні способи остаточного набуття форми та розмірів деталей, будуть становити щонайменше 50-60%. Тому вирішення питань, пов'язаних із підвищенням ефективності процесів обробки різанням, висувається до низки актуальних проблем не лише машинобудування, а й усього народного господарства України.

Сучасне машинобудування розвивається шляхом підвищення гнучкості виробництва та якості продукції. Вирішення проблеми побудови малолюдної та енергозберігаючої технології, комплексної механізації, роботизації, автоматизації машинобудівного виробництва можливе тільки на базі ефективного використання фізичних і технологічних закономірностей прогресивних робочих процесів з використанням нових типів верстатного обладнання та інструментів і з такими кінематичними характеристиками, які б забезпечували багаторазове підвищення продуктивності з урахуванням специфічних особливостей реалізації того чи іншого робочого процесу. В даний час особлива увага приділяється розробці процесів прогнозування довговічності та якості продукції на кожному етапі її виробництва та експлуатації, у тому числі із використанням сучасних CALS-технологій (технологій, створюваних на основі комплексного використання CAD/CAM/CAE/PDM систем з метою безперервного інформаційного забезпечення життєвого циклу наукомісткої продукції).

Однією з важливих і найбільш революційних ланок обробної системи, що значною мірою визначає її ефективність, є інструмент, працездатність якого залежить від режиму навантаження його лез (нормального тиску, тертя, температури, динамічності навантаження та часу контакту). Розробка методології пошуку шляхів реалізації умов оптимальної (раціональної) роботи інструменту дозволить успішно вирішувати проблему поліпшення оброблюваності матеріалу із заданим комплексом властивостей (підвищення продуктивності обробки та ресурсу інструменту при забезпеченні заданих параметрів якості оброблених поверхонь).

Підвищення наукомісткості галузевих технологій, можливість використання системного підходу, тотальної комп'ютеризації та реалізації потенціалу CALS технологій є передумовами створення інтегрованих технологій, що становлять собою сукупність конструкторського, технологічного та організаційного забезпечення виробництва виробів.

Тому для ширшого використання потенційних можливостей відомих і нових прогресивних, у т.ч інтегрованих процесів обробки різанням як звичайних

(традиційних), так і важкооброблюваних (з особливими властивостями) конструкційних (наприклад, нержавіючих, високо- та жароміцних, неметалевих, композиційних та ін.) та інструментальних матеріалів, а також пошуку областей їх оптимального використання, ефективного впровадження у машинобудівному виробництві та необхідності підвищення продуктивності та якості формованих поверхонь потрібні комплексні дослідження з виявлення фізичної сутності, закономірностей та оптимальних умов перебігу процесів механічного оброблення різанням з урахуванням особливих властивостей оброблюваних та інструментальних матеріалів. Результати цих досліджень дозволять створити передумови для успішного проектування принципово нових обробних систем, наприклад, багатоцільових верстатів з ЧПК, конструкцій інструментів та технологій їх виготовлення, які зможуть забезпечувати суттєве підвищення ефективності механообробного виробництва, що буде зумовлювати створення та випуск промисловістю країни конкурентоспроможної продукції.

1 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ІЗ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Розроблення технології формоутворення різанням внутрішньої поверхні різьбового з'єднання з круглою різьбою в деталях, виготовлених з армованих композиційних матеріалів

Дослідженню основних з'єднань для деталей з армованих композиційних матеріалів присвяченні роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених.

В роботі Я.С. Карпова запропоновані, нові способи з'єднання композиційних матеріалів (КМ) базуються на комбінації безперервного з'єднувального елемента (клей, будь який інший з'єднувальний матеріал) з дискретними кріпильними елементами (штифти, шайби, ребра) [1]. В аналітичному огляді [2], міститься досить детальний опис з'єднань з безперервним з'єднувальним шаром (наприклад, клейових).

Роботи В.В. Вороб'я, Я.С. Карпова, та О.С. Сіроткіна присвячені дослідженню механічних з'єднань (заклепкових, болтових та ін.) з композиційних матеріалів [3-5]. А.А. Baker та М.С. Niu досить детально, описали, в своїх роботах, розробку основних типів з'єднань для деталей літальних апаратів [6, 7].

В своїх роботах пов'язаних з механічною обробкою сучасних композиційних матеріалів L.M. Dugao, В.А. Матвиенко встановили, що даний процес є вельми ємким та дорогим, та вимагає застосування нового інструменту та обладнання [8, 9]. У своїй роботі присвяченій дослідженню з'єднань високонавантажених деталей з композиційних матеріалів, ґрунтуючись на запропонованих способах з'єднань деталей з КМ, Я.С. Карпов стверджує, що традиційні види з'єднань, які активно застосовуються для металевих конструкцій, малоефективні для композитів [1]. R. Zemann у своїй роботі присвяченій дослідженню міцності гвинтових з'єднань, досить детально дослідив міцність гвинтового з'єднання виготовленого в армованому вуглепластику [10].

Армовані композиційні матеріали досить дорогі, дуже складні в ремонті та в з'єднанні між собою, але незважаючи на всі ці ознаки, їх досить активно впроваджують у військову техніку, машинобудування, спорт і медицину, що дозволяє забезпечити значну міцність при меншій вазі конструкції. Задача отримання якісного та працездатного роз'ємного з'єднання в АКМ є актуальною задачею.

Для реалізації роз'ємного гвинтового з'єднання виготовленого в армованому композиційному матеріалі, запропоновано використати круглу різьбу тому що вона, краще з усіх типів різьб працює на зріз та характеризується досить великою стійкістю і підвищеним опором динамічним навантаженням за рахунок відсутності концентраторів напружень [11]. Профіль даної різьби представлений на рисунку 1.1, основні параметри якої це крок p та глибина профілю t , а також зовнішній D і внутрішній D_1 діаметри різьби та R_1 і R_2 – радіуси вершин і впадин профілю, відповідно.

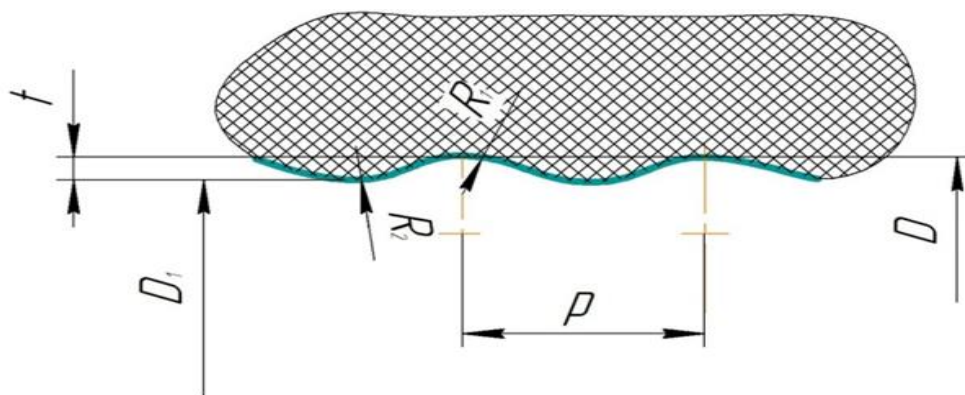


Рисунок 1.1 – Основні параметри круглої внутрішньої різьби

Існують наступні способи отримання гвинтової поверхні в деталях із армованого композиційного матеріалу: формоутворення різанням, пресуванням, заливкою компаунда, формуванням профілю, отримання профілю при відцентровому формуванні та ін.

Для армованих матеріалів нарізування різьби способом механічної обробки є переважаючим способом формоутворення різьбової поверхні, що забезпечує необхідну точність різьби. Проте не можна не враховувати і той факт, що міцність з'єднання, яка залежить як від фізико-механічних властивостей матеріалів деталей, що з'єднуються, так і від методу отримання різьби, буде нижчою ніж при формоутворенні різанням, через руйнування армуючих шарів склопластикового матеріалу та порушення цілісності його армованої структури в районі утворення різьбової поверхні. Все ж таки метод формоутворення різьби різанням знаходить широке застосування для армованих композиційних матеріалів і має свої особливості при обробці даних матеріалів, врахувавши які можна отримати досить точну і якісну різьбову поверхню [12]. На основі зазначених тверджень і було вирішено отримати різьбову поверхню способом механічної обробки.

В нашому випадку за основу технології виготовлення гвинтових поверхонь, був взятий раніше розроблений спосіб обробки круглих різьб методом огинання, оскільки лише в цьому методі геометрія інструмента не впливає на формування профілю різьби, а також він формоутворює гвинтову поверхню за один установ [13]. Армовані композити, в нашому випадку склопластик, як відомо, краще обробляти гостро заточеним різцем. Перевагою цього методу також є те, що обробка гвинтової поверхні відбувається за один прохід що зменшує час обробки, а отже і час контакту ріжучої кромки з АКМ також зменшується, що позитивно впливає на сам процес різання та не допускає миттєвого зростання температур та зносу ріжучої кромки.

Механічна обробка композиційних матеріалів значно відрізняється від обробки металів [14]. Армовані композиційні матеріали також різняться між собою за своїми властивостями та обробляються з урахуванням індивідуальних особливостей. Відмінності властивостей, що впливають на оброблюваність матеріалу, всередині групи композитів набагато більш значні, ніж наприклад, між металами. В свою чергу це створює певні труднощі при виконанні обробки армованого композиційного матеріалу. Найчастіше початок виготовлення виробів з цих матеріалів вимагає повного переосмислення традиційних методів обробки,

переліку використовуваного інструменту, способу закріплення заготовки, а в деяких випадках навіть застосування спеціалізованого обладнання і оснащення [14].

В процесі механічної обробки різанням АКМ ріжуча кромка викликає відшаровування волокон, тому при різанні АКМ вона повинна бути максимально гострою, щоб запобігти виникненню тертя між інструментом та заготовкою. Для прикладу на рисунку 1.2 показане свердло від компанії Sandvik, геометрія заточування якого, згідно даних зазначених виробником 85 PT а сплав CD10. Використання даного свердла у сукупності зі всіма вказаними ознаками дозволяє досягати великої якості при обробці отворів [15].



Рисунок 1.2 – Свердло від компанії Sandvik для обробки АКМ [15]

Для якісної та довготривалої обробки армованих композиційних матеріалів, ймовірність зношення інструменту повинна бути мінімальною, оскільки будь-які зміни геометричної форми ріжучої кромки приведуть до миттєвого зростання температур в зоні різання і критичного зносу кромки. Геометрію інструменту потрібно підбирати так щоб забезпечити легке ненавантажене різання з виникненням мінімальних сил різання [16]. Геометричні параметри різального інструменту що рекомендуються для обробки армованих композиційних матеріалів, мають наступні межі варіювання: передній кут: $\gamma = 20 - 30^\circ$, задній кут: $\alpha = 10 - 15^\circ$, кут загострення: $\beta = 30 - 60^\circ$ [16].

Обробка різанням армованого склопластикового матеріалу має ряд особливостей, які зводяться до наступного.

1. Яскраво виражена анізотропія властивостей. Вона визначає відмінність процесу різання при обробці вздовж і поперек армуючих волокон. Схема армування істотно впливає на якість і продуктивність обробки, тому при розробці технологічної операції механічної обробки композиційних матеріалів слід враховувати також напрям обробки відносно напрямку армування.

2. Складність отримання високої якості поверхневого шару. Шарувата структура призводить до того, що при зношуванні інструменту відбувається розшарування матеріалу. Крім того при перерізанні армуючих волокон, особливо при перехресному армуванні, спостерігається розкуйовдження перерізанних волокон, що призводить до погіршення якості поверхневого шару, тому іноді застосовують додаткову обробну операцію, наприклад, зачистку.

3. Низька теплопровідність матеріалів, що обумовлює погане відведення теплоти із зони різання в стружку та в оброблювану деталь. Тому при обробці високоміцних композиційних матеріалів основна доля теплоти відводиться через різальний інструмент. Згідно з експериментальними даними тепловий баланс при обробці полімерних матеріалів наступний: в інструмент – 90%, в стружку – 5%, в оброблювану деталь – 5%, тоді як при обробці металів іноді до 90% теплоти відноситься стружкою і тільки 10% поглинається деталлю та інструментом [16].

4. Інтенсивна дія скловолокна, що має високу твердість і абразивну здатність.

5. Високі пружні властивості. Сили різання при обробці композитів в 10 – 20 разів нижче, ніж при обробці металів, а пружні характеристики вищі, тому точність обробки в меншій мірі визначається пружними деформаціями системи: верстат – оснастка – інструмент.

6. Неможливість застосування мастильно-охолоджувальної рідини (МОР). Це обумовлюється тим, що більшість армованих композиційних матеріалів досить сильно поглинають вологу. Тому застосування МОР у багатьох випадках спричиняє за собою введення додаткової операції – сушки виробу – або взагалі призводить безповоротну зміну фізико-механічних властивостей матеріалу.

7. Специфічні вимоги техніки безпеки при різанні композиційного матеріалу. Це пов'язано з виділенням найдрібніших часток матеріалу при різанні.

Дуже важливу роль в забезпеченні високих експлуатаційних показників виробів з армованих композитів відіграє стан поверхневого шару виробу. Він має істотний вплив на міцність, знос, діелектричні показники, водопоглинання та ін. Механічна обробка істотно змінює властивості поверхневого шару (а саме шорсткість поверхневого шару), яка впливає як на водопоглинання та показники міцності, так і на зносостійкість. Розріз армуючих волокон призводить до зниження міцності виробів на 20 %.

Механічна обробка виробів з армованих композиційних матеріалів інтенсифікує процес водопоглинання. Це відбувається за рахунок того, що при обробці, по-перше, знімається завжди наявний на поверхні шар полімеризованої матриці, що є ніби захисним шаром; по-друге, перерізуються армуючі волокна наповнювача; при цьому утворюються мікротріщини і інші дефекти матеріалу, що порушують його міцність [17]. Згідно всього представленого вище механічна обробка армованих композиційних матеріалів – досить складний та високотехнологічний процес, що потребує значних матеріальних та наукових затрат, та врахування всіх перерахованих особливостей для обробки, щоб досягнути необхідного результату.

Для нарізування круглої різьби в армованому склопластиковому матеріалі запропонованою технологією [13], був виготовлений однозубий інструмент, що має гострий кут заточування. На початку проведення експериментального освоєння даної технології обробки, в якості інструментального матеріалу була використана швидкорізальна сталь Р6М5, вибір даного інструментального матеріалу був зумовлений частим використанням його в промисловості, та досить не високою ціною. Але після формоутворення перших різьбових поверхонь було виявлено, що вже після нарізання різьби в першому отворі інструмент отримав значне зношування і потребував подальшого заточування. Саме через причини швидкого зношення, для подальших експериментів було вирішено застосовувати в якості інструментального матеріалу твердий сплав.

Однозубий інструмент був виготовлений з особливо малозернистого твердого сплаву К55SF виробник фірма Guhring (Німеччина). Основні властивості

даного інструментального матеріалу зазначені виробником приведені в таблиці 1.1. Інструмент виготовлявся методом ручної заточки зі твёрдосплавного циліндра діаметром 6 мм довжиною 35 мм. На рисунку 1.3 представлений ескіз виготовленого однозубого інструменту з вказаними основними геометричними параметрами, які назначалися згідно рекомендацій зазначених вище.

Таблиця 1.1 – Основні властивості інструментального матеріалу однозубого інструменту

Марка сплаву	Вміст кобальту Co, %	Розмір зерна, мкм	Твердість, HV	Класифікація ISO [ISO 513]
К 55 SF	9	0,2- 0,5	1 920	K10- K30

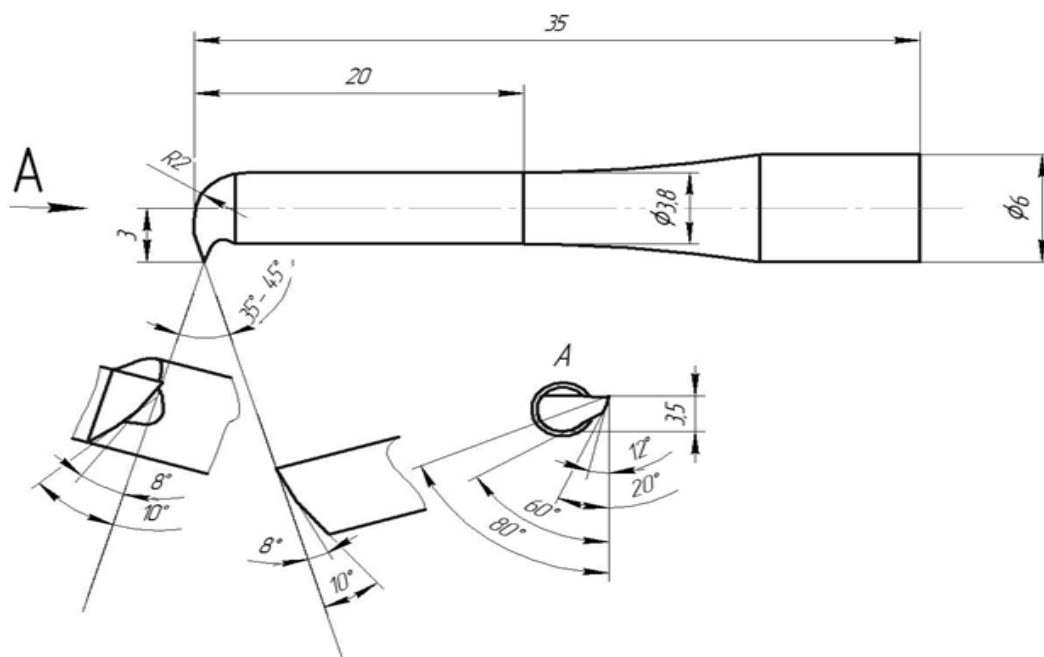


Рисунок 1.3 – Ескіз виготовленого однозубого інструмента

На рисунку 1.4 а зображене фото однозубого інструмента, що кріпиться в спеціальній втулці, а на рисунку 1.4 б – 3D-модель інструмента, виконана в середовищі SOLIDWORKS.

Для виконання формоутворення гвинтової поверхні представленим методом [13], його необхідно було адаптувати конкретно для нашого випадку. Для

цього додатково в систему обробки потрібно ввести розточувальний пристрій, який допоможе реалізувати процес нарізування різьби в армованому склопластиковому матеріалі запропонованою технологією. Даний розточувальний пристрій представлений на рисунку 1.5.



Рисунок 1.4 – Однозубий інструмент для оброблення круглої різьби:
 а) фото однозубого інструмента, що кріпиться в спеціальній втулці;
 б) 3D-модель інструмента, виконана в середовищі SOLIDWORKS

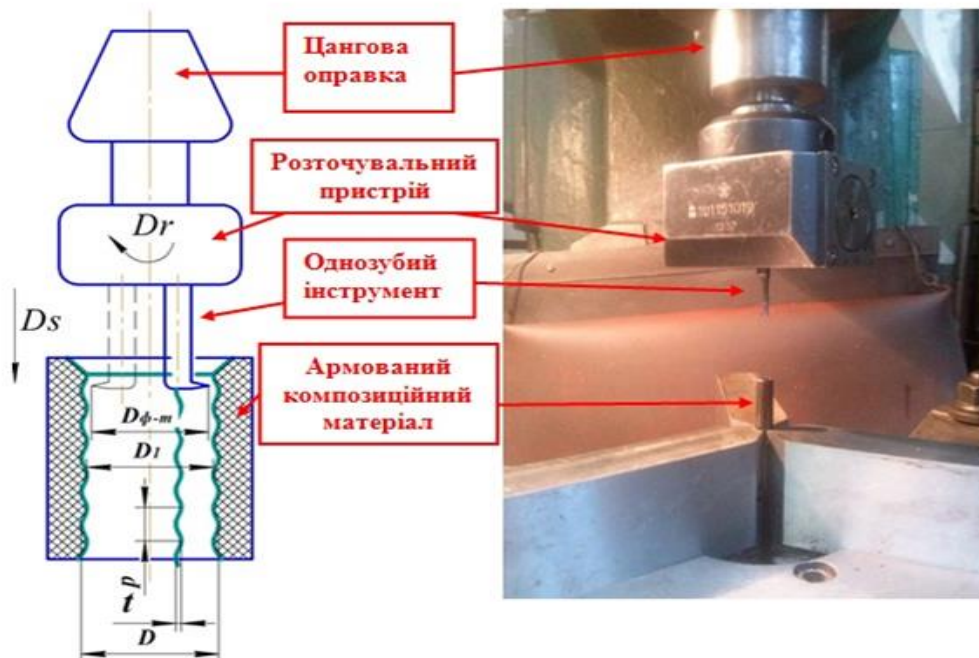


Рисунок 1.5 – Оброблення круглої різьби в АКМ: а) спрощена схема оброблення;
 б) фото процесу оброблення

Після отримання всіх елементів системи різання для проведення процесу формоутворення різанням круглої різьби, та визначення всіх конструктивних параметрів для обробки, було успішно виготовлено круглу різьбу в армованій склопластиковій пластині запропонованою технологією.

Схема обробки круглої різьби однозубим інструментом в склопластиковому армованому матеріалі представлена на рисунку 1.5, а. Згідно представленої схеми армований матеріал обробляється однозубим інструментом, закріпленим в розточувальному пристрої, який закріплюється в цанговій оправці фрезерного верстата з ЧПК моделі 6P13Ф3. На рисунку 1.5, б представлено фото процесу фрезерування, на якому також показані всі елементи системи різання.

Реалізація процесу формоутворення круглої гвинтової поверхні методом огинання [13] відбувалася на фрезерному верстаті з ЧПК моделі 6P13Ф3, для якого була написана спеціальна керуюча програма на обробку круглої різьби. Режими різання були такими: частота обертання шпинделя $n = 2000$ об/хв; подача $S_0 = 0,1$ мм/об. Дані режими різання рекомендовані виробником інструментального матеріалу при обробці ним, армованих композиційних матеріалів.

Спрощена кінематика процесу обробки різьби а АКМ виглядає наступним чином, різальному інструменту надають прямолінійний рух уздовж осі заготовки, як ріжучий інструмент використовують однозубий інструмент з гострим кутом заточування (рис. 1.5), а діаметр траєкторії формотворної точки d_f -т, рівний сумі внутрішнього діаметра D_1 різьби, та глибині профілю різьби t (рис. 1.1), встановлюють за рахунок розточувального пристрою (показаний на рисунку 1.5), при цьому інструменту надають обертання відносно власної осі і додатково повідомляють йому коловий рух навколо осі заготовки, що узгоджений з його прямолінійним рухом таким чином, що за один коловий рух, інструменту повідомляють прямолінійний рух уздовж осі заготовки, величина якого дорівнює кроку p різьби, причому діаметр колового руху дорівнює глибині профілю різьби t , крім того вісь заготовки розташовують паралельно по відношенню до осі обертання інструменту.

Величина діаметра траєкторії формотворної точки $d_{ф-т}$, (рис. 1.5, а) для обробки круглої різьби визначається за формулою:

$$d_{ф-т}=D_1-t, \quad (1.1)$$

де D_1 – внутрішній діаметр різьби, мм;
 t – глибина профілю різьби, мм.

Обробка круглої різьби виконується з однієї установки заготовки внутрішній діаметр можна не виконувати, фаску також не потрібно виконувати. Для даного способу не обов'язковим є також виконання канавки для виходу однозубого інструменту.

Для перевірки на практиці, запропонованої технології формоутворення різанням гвинтової поверхні в деталях з АКМ, було виконано декілька пробних експериментів. Виготовлялася кругла різьба з основними параметрами $p=4$ мм, $i=1$ мм, дана різьба нарізувалася на діаметрі 5 мм, згідно технології описаній вище. Дані експерименти дозволили встановити можливість виготовлення вказаної різьби даною технологією, для проведення подальших експериментів.

1.2 Визначення ефективної області застосування технології оброблення внутрішніх різей методом безцентроїдного огинання

У ході модального аналізу конструкцій непрофільних різальних інструментів, а також виконаного аналізу показників точності та якості поверхонь внутрішніх різей різних типів (кругла, метрична та дюймова) встановлено, що запропонованим способом вищевказані різі можуть бути оброблені згідно до вимог регламентованих відповідними стандартами та робочими кресленнями деталей, що містять у конструкціях дані різьові поверхні. Тому наступним етапом є визначення ефективної області застосування способу оброблення внутрішніх різей методом огинання на фрезерних верстатах з ЧПК.

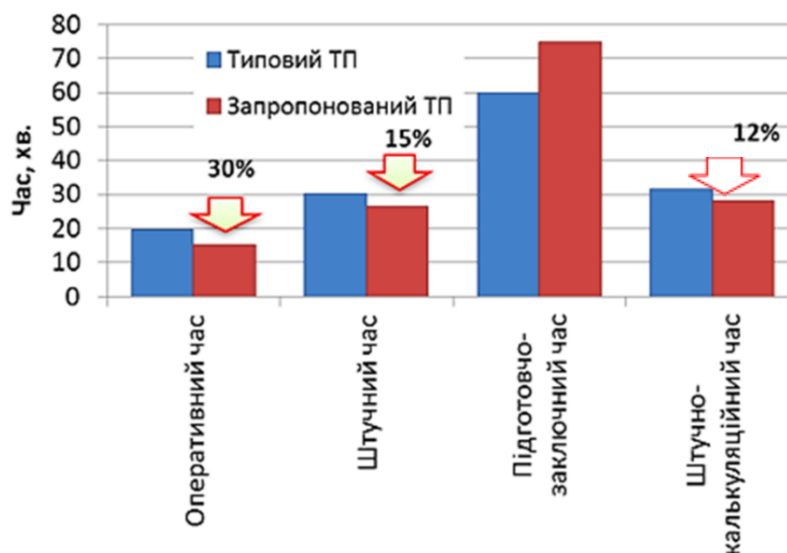


Рисунок 1.7 – Порівняння ТП за основними нормами часу при обробці корпусу бурової коронки

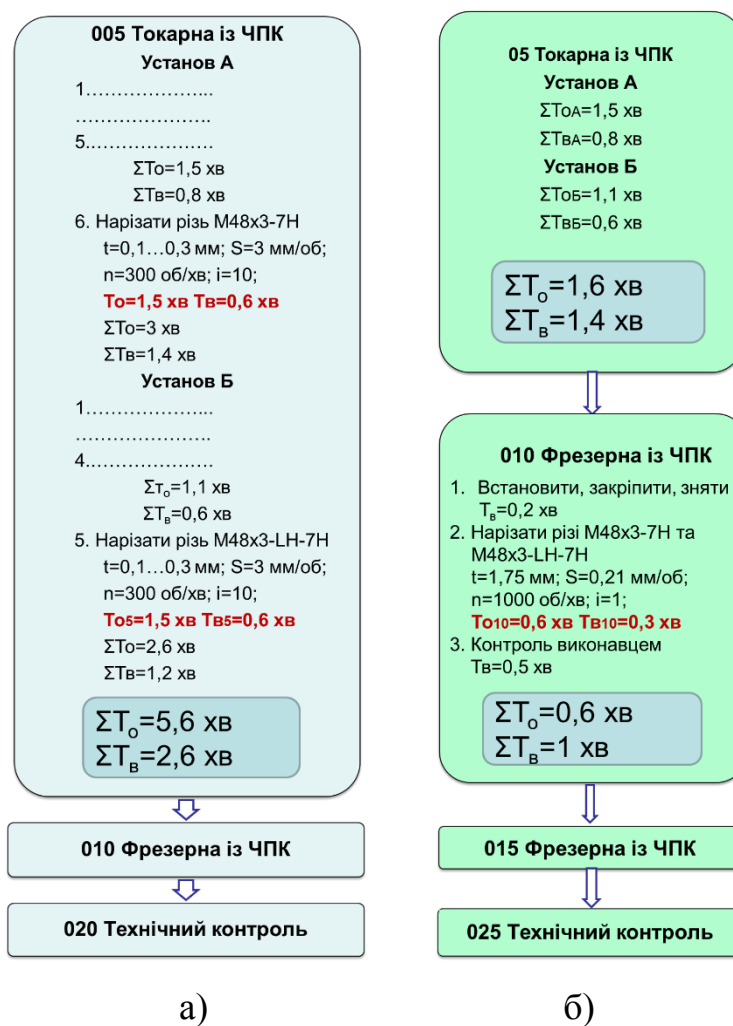


Рисунок 1.8 – Структури ТП при обробці муфти з'єднувальної: а) базового; б) запропонованого

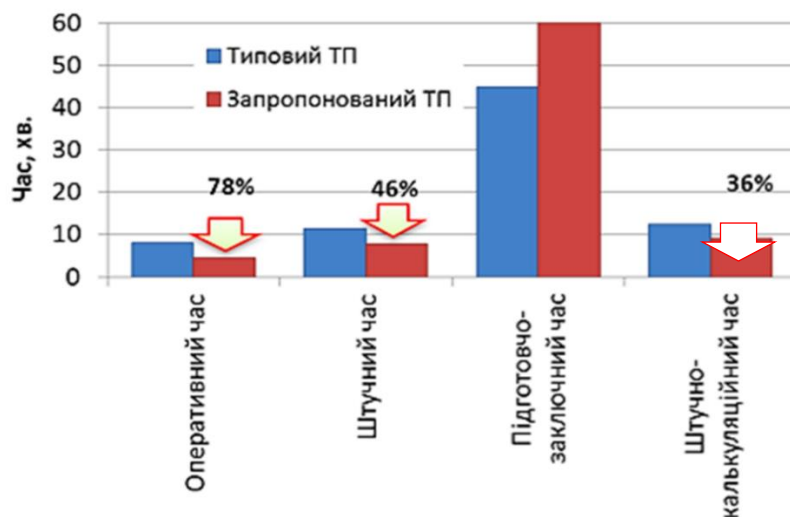


Рисунок 1.9 – Порівняння ТП за основними нормами часу при обробці муфти з'єднувальної

Із діаграм на рисунках 1.7 та 1.9 видно, що зменшення оперативного часу при обробці корпусу бурової коронки складає 30%, а з'єднувальної муфти 78%. Така суттєва різниця у відсотковому співвідношенні для вищевказаних деталей пояснюється різницею у загальній трудомісткості частки часу, що витрачається на обробку різьових поверхонь. Адже конструкція муфти з'єднувальної потребує меншої кількості переходів для обробки, ніж корпус бурової коронки.

Також із діаграм на рисунках 1.7 та 1.9 встановлено, що зменшення штучного часу складає 30% та 78%, відповідно. Проте при введенні додаткової технологічної операції для обробки внутрішніх різей у аналізованих деталях у запропонованому ТП зросла частка підготовчо-заключного часу на 20% та 35% відповідно. Це говорить про те, що для компенсації цього зростання та ефективності застосування запропонованого способу обробки необхідна обробка певної партії деталей. Так як у більшості випадків основним типом сучасного машинобудівного виробництва є середньосерійний тип, то прийнято партію деталей $N=50$ шт. Таким чином при розподіленні підготовчо-заключного часу на партію деталей вдалося досягнути загального зменшення штучно-калькуляційного часу на 12% при обробці корпусу бурової коронки та на 36% при обробці муфти з'єднувальної.

У результаті даного порівняння встановлено, що ефективність застосування запропонованого способу обробки непрофільним інструментом, у порівнянні із методом копіювання при нарізанні внутрішніх різей фасонним різцевим різцем, зростає зі збільшенням частки обробки різьових поверхонь непрофільним інструментом за методом огинання у загальному обсязі механічної обробки деталі, а також при збільшенні партії деталей.

Проте для визначення ефективної області застосування запропонованого способу у порівнянні із існуючими способами необхідно визначити ефективну область застосування способу. У якості способів для порівняння оберемо найбільш поширені способи обробки внутрішніх різей на сьогоднішній день:

- нарізування різі різьовим різцем із механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин;
- нарізування різі односторонньою різьовою фрезою із механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин;
- однопрохідне нарізування різі різцем.

Для порівняння та визначення ефективної області застосування оберемо найбільш важливі критерії, що впливатимуть на собівартість готової продукції при обробці різей тим чи іншим способом:

- за вартістю різальних пластин у гривнях на деталь;
- за вартістю корпусу різального інструмента у гривнях на деталь;
- за зменшенням витрат на оплату праці робітників за рахунок скорочення основного часу;
- за приведеною собівартістю в залежності від обсягу партії деталей.

Значення собівартості різальних пластин та інструменту було взято усередненим за даними прайс-листів найбільш поширених компаній по виробництву різального інструменту та зведено у таблиці 1.2 та 1.3. При цьому вартість корпусу непрофільного різального інструменту для обробки запропонованим способом за методом безцентроїдного огинання розраховувалась шляхом калькуляції вартості матеріалу та механічної обробки. Вартість механічної обробки корпусу розрахована шляхом множення середнього значення вартості

роботи верстата та робітника на експериментально визначений час його виготовлення згідно проведеного хронометражу. Також, варто зазначити, що для запропонованого способу доведено можливість застосування стандартних пластин для токарної обробки.

Таблиця 1.2 – Дані щодо вартості різальних пластин

№	Найменування способу обробки	Вартість різальної пластини, грн.	Кількість пластин на інструменті, шт.	Загальна вартість різальних пластин, грн.	Кількість різальних кромок на пластині	Нормативний період стійкості пластин/ інструменту, хв
1	Нарізання профільним різцем	600	1	600	1	30
2	Нарізання однопітковою фрезою	1500	1	1500	1	60
3	Однопрохідне нарізання різцем	100	1	100	1	30
4	Нарізання непрофільним інст.	100	3	300	2	30

Таблиця 1.3 – Дані щодо вартості корпусів різальних інструментів

№	Найменування способу обробки	Вартість корпусу, грн.	Необхідна кількість корпусів для обробки номенклатури різей до 5-ти типорозмірів
1	Нарізання профільним різцем	7000	1
2	Нарізання однопітковою фрезою	6000	2
3	Однопрохідне нарізання різцем	7000	1
4	Нарізання непрофільним інструментом	10000	5

Таким чином, виходячи із даних вартості різальних пластин та інструменту для обробки внутрішніх різей, представлені графіки розподілу собівартості пластин (рис. 1.10) та інструменту (рис. 1.11) на одну деталь при зміні обсягу партії деталей та врахування нормативного періоду стійкості, а також наявності на певних типах пластин декількох різальних кромок згідно табл. 1.4.

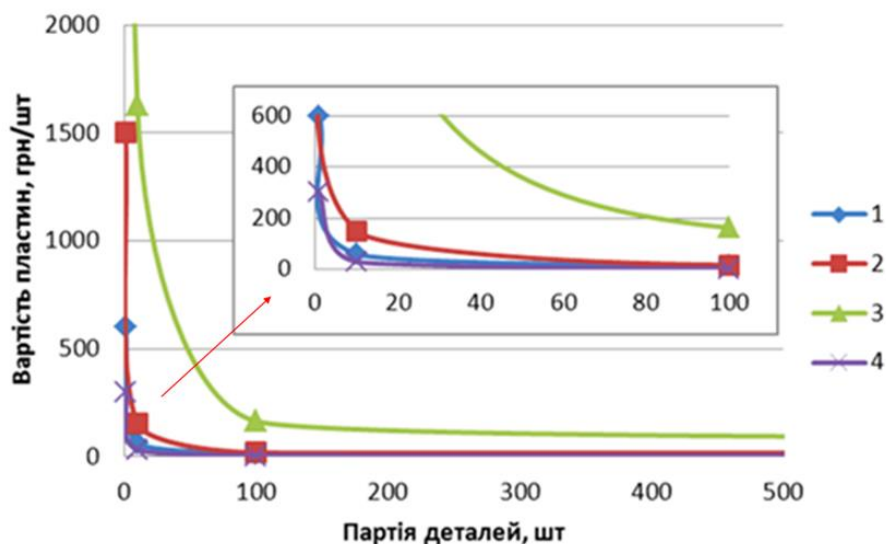


Рисунок 1.10 – Частка вартості різальних пластин на одну деталь залежно від обсягу партії деталей

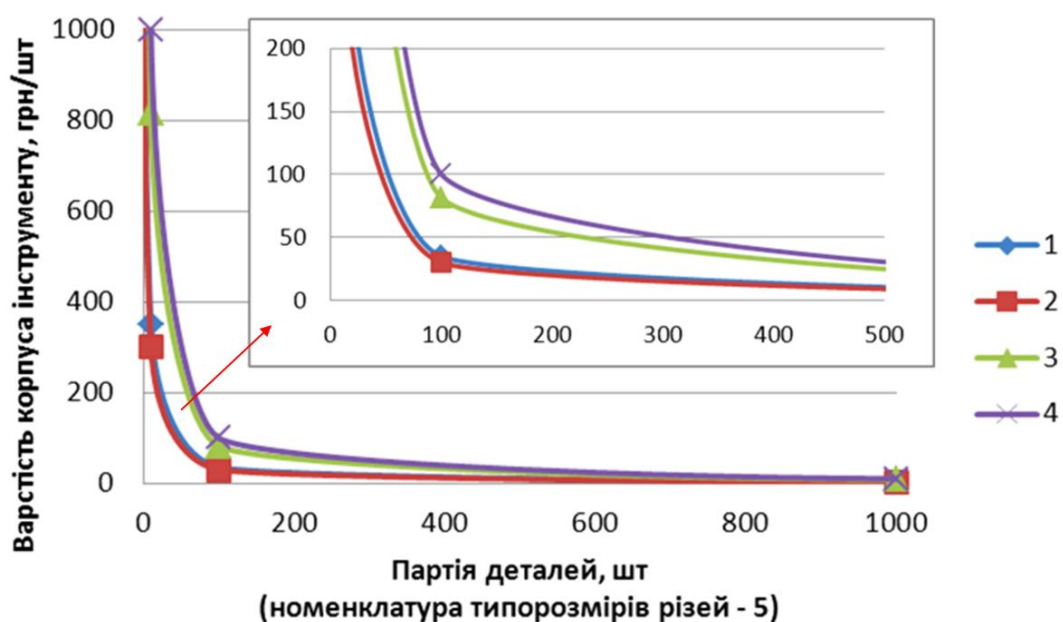


Рисунок 1.11 – Частка вартості різального інструменту на одну деталь залежно від обсягу партії деталей

У результаті аналізу отриманих графіків, щодо частки вартості різальних пластин на одну деталь (рис. 1.10) встановлено, що запропонований спосіб показує свою ефективність перед іншими при будь-якій величині обсяг партії. Це пояснюється початковою низькою вартістю різальних пластин для токарної

обробки у порівнянні із пластинами для різальних інструментів, що працюють за методом копіювання.

Таблиця 1.4 – Результати визначення основного часу при обробці ділянки круглої різі R32 довжиною 100 мм

№	Найменування способу обробки	Кількість проходів, I	Хвилинна подача, S_{xv} , мм/хв	Основний час, T_0 , хв.
1	Нарізання профільним різцем	20	762	4,6
2	Нарізання однопітковою фрезою	4	300	1,1
3	Однопрохідне нарізання різцем	1	40	2,1
4	Нарізання непрофільним інструментом	1	250	0,5

Із рисунку 1.11 встановлено, що частка вартості корпусу інструменту для запропонованого способу вища ніж у інших аналізованих способів при будь-якій величині партії при номенклатурі оброблюваних різей більше п'яти типорозмірів. Це пояснюється необхідністю виготовлення нового корпусу при обробці різі іншого типорозміру навіть у межах конкретного профілю (круглий, тругний). Тому виходячи із вищесказаного спосіб обробки непрофільним інструментом бажано застосовувати при номенклатурі різей до п'яти типорозмірів та обсягах партії більше 500 штук на кожен типорозмір.

Також виконаємо визначення зменшення витрат на оплату праці робітників за рахунок скорочення основного часу вищерозглянутих способів у порівнянні із запропонованим запропоновним способом за даними визначення основного часу (табл. 1.3) в залежності від обсягу партії деталей (рис.1.7). Економію заробітної плати робітників будемо вираховувати із найбільш непродуктивного способу, а саме нарізання різі різцем згідно даних табл. 5.3. Середнє значення заробітної плати робітника-верстатника за даними на 3-й квартал 2017 року складає 50 грн/год.

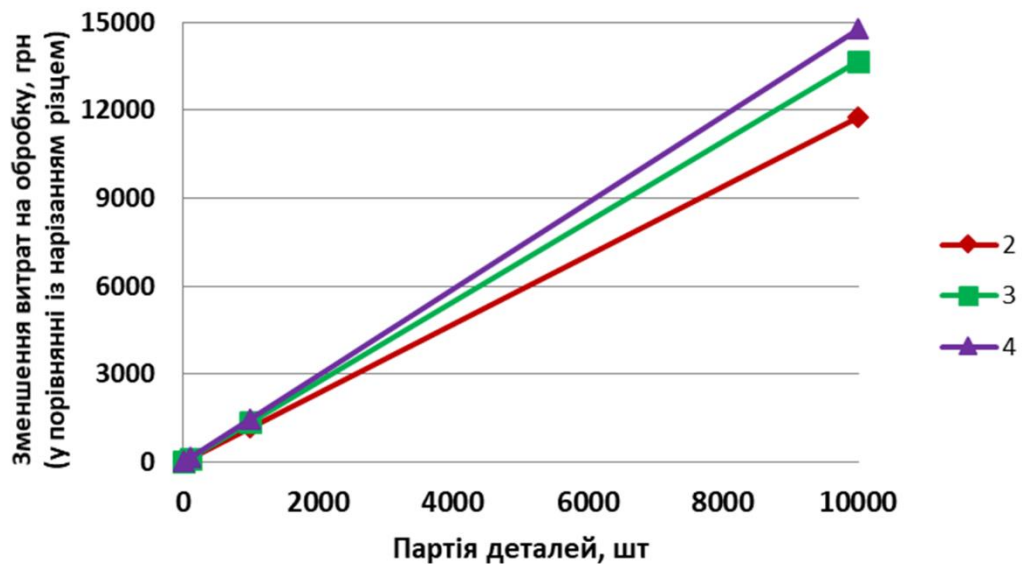


Рисунок 1.12 – Зменшення витрат на оплату праці робітника-верстатника на одну деталь, у порівнянні із обробкою різьбовим різцем, залежно від обсягу партії деталей

З рис. 1.12 простежується, що зі збільшенням обсягу партії деталей ефективність запропонованого способу обробки внутрішніх різей непрофільним інструментом за методом огинання зростає у порівнянні із іншими способами. Для визначення ефективної області застосування було виконано узагальнення трьох отриманих графіків (рис. 1.10-1.12) та побудована залежність приведеної собівартості механічної обробки деталі в залежності від обсягу партії (рис. 1.13). Приведена собівартість включає в себе частки вартості різальних пластин та корпусу різального інструмента у гривнях на деталь та частку витрат на оплату праці робітників.

Таким чином із графіка (рис. 1.13) на прикладі обробки круглої внутрішньої різі R32 можуть бути сформовані наступні рекомендації: нарізання профільним різцем доцільно використовувати при кількості типорозмірів $n = >10$ та партіях до 20 штук, нарізання однопітковою фрезою – при $n = 5...10$ та партіях до 20 штук, однопрохідне нарізання різцем – при $n = 3...5$ та партіях до 100 штук, нарізання запропонованим способом за методом огинання непрофільним інструментом – при $n = 1...3$ та партіях більше 50 штук. При цьому варто враховувати, що дані області

можуть дещо змінюватись залежності від загальної трудомісткості та інших факторів, що можуть виникнути у виробничій системі.

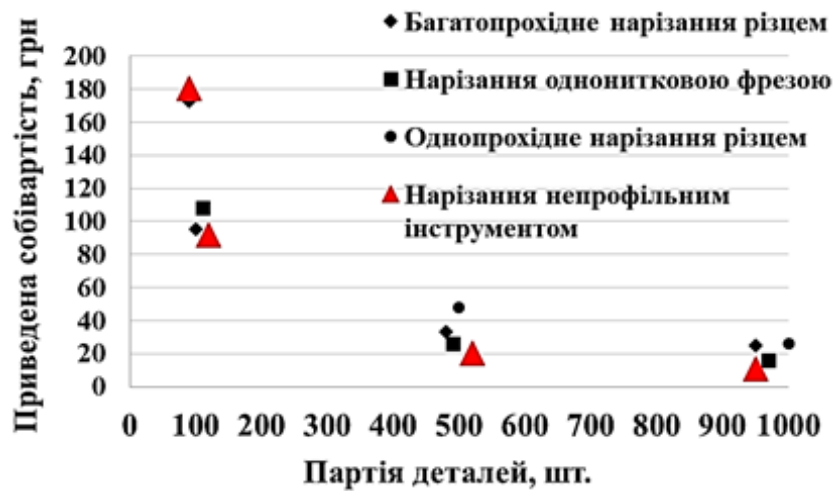


Рисунок 1.13 – Загальні витрати на механічну обробку круглої внутрішньої різі R32 у відношенні на одну деталь

Для виконання розрахунків із визначення економічного ефекту від впровадження запропонованого способу, що заснований на методі огинання, спочатку виконаємо порівняння існуючих способів обробки круглої різі R32 та метричної різі M48x3 із запропонованим способом.

Порівняння виконаємо для найбільш часто використовуваних способів обробки круглої різі за оперативним часом:

- 1 – багатопрхідне нарізання фасонним різцем з радіальним врізанням;
- 2 – багатопрхідна обробка на токарних верстатах з ЧПК з комбінованим врізанням;
- 3 – однопрхідна обробка на токарному верстаті з ЧПК однолезовим інструментом;
- 4 – обробка на фрезерному верстаті з ЧПК однопітковою різьовою фрезою;
- 5 – обробка на фрезерному верстаті з ЧПК запропонованим способом непрофільним інструментом.

Таблиця 1.5 - Результати визначення основного часу при обробці ділянки круглої різі R32 довжиною 100 мм

№ Способу	Кількість проходів I	Хвилинна подача, $S_{хв}$, мм/хв	Основний час, T_o , хв.
1	20	762	4,6
2	22	770	4,6
3	1	40	2,1
4	4	300	1,1
5	1	250	0,5

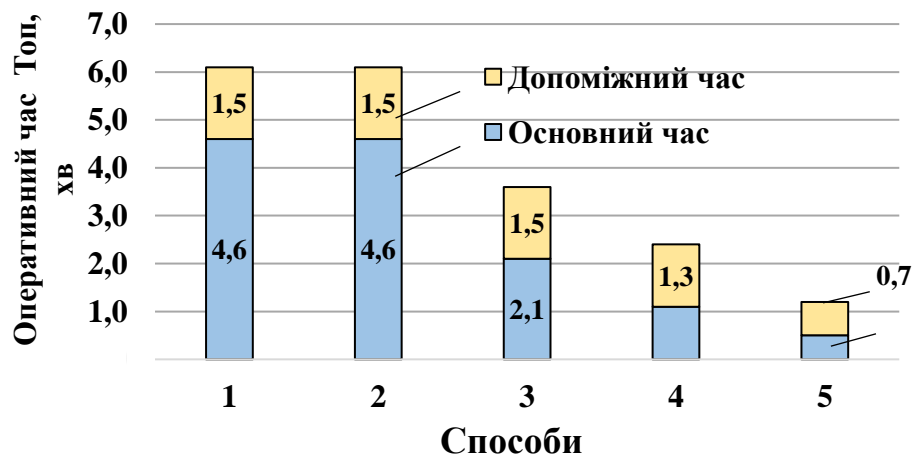


Рисунок 1.14 – Порівняння способів обробки круглої різі R32 за оперативним часом (основним та допоміжним)

Розрахунок основного часу виконано згідно даних табл. 1.14, а отримані дані проілюстровано на рис. 1.14.

Аналогічне порівняння виконаємо і для найбільш поширених способів обробки метричної різі за оперативним часом:

- 1 – багатопрохідне точіння фасонним різцем;
- 2 – нарізання мітчиком;
- 3 – обробка на фрезерному верстаті із ЧПК однопітковою різьбовою фрезою;
- 4 – обробка гребінчастою фрезою;
- 5 – обробка на фрезерному верстаті із ЧПК непрофільним інструментом.

Таблиця 1.6 – Результати визначення основного часу при обробці ділянки метричної різі М48х3 довжиною 100 мм

№ способу	Кількість проходів І	Хвилинна подача, $S_{хв}$, мм/хв	Основний час, T_o , хв
1	10	600	2,1
2	2	30	4,3
3	3	200	0,69
4	2	200	0,46
5	1	250	0,33

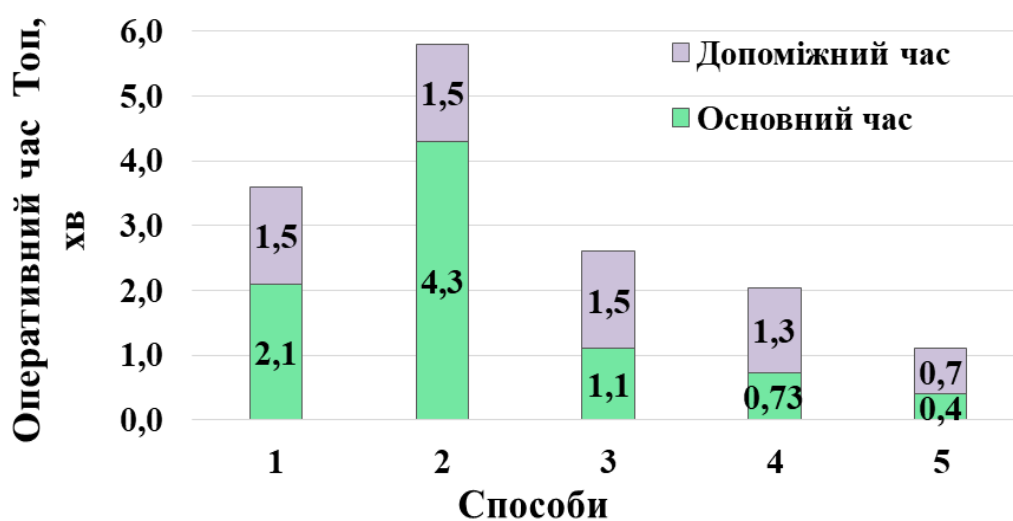


Рисунок 1.15 – Порівняння способів обробки метричної різі М48х3 за основним часом

Розрахунок основного часу виконано згідно даних табл. 1.15, а отримані дані проілюстровано за допомогою гістограми (рис. 1.15). Номери способів відповідають вказаним вище.

Із розрахунків основного часу встановлено, що запропонований спосіб обробки непрофільним інструментом за методом огинання серед усіх вищерозглянутих є найбільш ефективним, адже при інших рівних умовах за одиницю часу буде виконана обробка більшої кількості деталей.

Тому для визначення величини економічного ефекту від впровадження запропонованого способу виконаємо розрахунок зведених річних витрат на різальні інструменти.

Для середньосерійного виробництва річний обсяг випуску деталей масою до 10 кг складає близько 2000 деталей на рік. Порівняння за економічними показниками проводимо для ТП механічної обробки корпусу бурової коронки та муфти з'єднувальної. При цьому у типовому ТП різі обробляються на токарному верстаті з ЧПК, а у запропонованому варіанті у ТП вводиться додаткова операція із обробки різі на фрезерному верстаті з ЧПК.

Вихідними даними для розрахунків приймаємо норми штучно-калькуляційного часу, розраховані за нормативами для заданого обсягу випуску, а також вартість різальних інструментів та годинні тарифні ставки робітників при обробці круглої різі R32, що зведено до табл. 1.16.

Для порівняння варіантів обробки деталей по двом ТП обробки круглої різі R32 необхідно розрахувати зведені річні витрати Z за формулою:

$$Z = \frac{(C_{in} \times (k_a + E_H) + \frac{T_o \times N \times n \times C_{пл}}{T \times d} + (T_{шт} + \frac{T_{пз}}{N}) \times P \times N}{N}, \quad (1.2)$$

де N – обсяг партії деталей на рік.

T_o – основний час обробки різі, хв;

$T_{шт}$ – штучний час обробки деталі, хв;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час на операції, що необхідні для обробки деталі, хв;

C_{in} – сумарна вартість різального інструменту для обробки різі одного типорозміру, грн;

k_a – коефіцієнт витрат на амортизацію різальних інструментів, $k_a = 0,1$;

E_H – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності, $E_H = 0,2$;

$C_{пл}$ – вартість різальної пластини для обробки різі, грн;

n – кількість різальних пластин в одному інструменті;

T – нормативний період стійкості різальних пластин, хв;

d – кількість робочих вершин різальної пластини;

P – вартість оплати праці робітника-верстатника, грн./год

Розрахуємо зведені річні витрати Z_1 та Z_2 для обробки круглої різі R32 за типовим та запропонованим ТП відповідно згідно формули 1.2:

$$Z_1 = \frac{(7000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{4,5 \times 2000 \times 1 \times 800}{90 \times 2} + (31,1 + \frac{60}{2000})) / 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 46,99 \text{ грн/шт.}$$

$$Z_2 = \frac{(10000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{0,5 \times 2000 \times 3 \times 100}{30 \times 2} + (26,2 + \frac{75}{2000})) / 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 25,86 \text{ грн/шт.}$$

Виконаємо аналогічне порівняння для обробки різей із трикутним профілем, а саме метричної різі M48x3-7H та M48x3-LH-7H при обробці партії деталей «Муфта з'єднувальна». Дані, щодо норм часу та витрат на інструмент зведені до табл. 1.17.

Таблиця 1.7 - Вихідні дані для розрахунку при обробці круглої різі R32

Показник	Позначення	Типовий ТП	Запропонований ТП
Величина партії деталей, шт.	N	2000	2000
Основний час обробки різі, хв	T_o	4,5	0,5
Штучний час обробки однієї деталі, хв.	$T_{шт}$	31,1	26,2
Підготовчо-заклучний час обробки на один типорозмір деталі, хв	$T_{пз}$	60	75
Сумарна вартість інструменту, грн.	$C_{ін}$	7000	10000
Вартість різальної пластини, грн	$C_{пл}$	800	100
Годинна тарифна ставка робітника-верстатника, грн./год	P	50	50
Кількість різальних пластин, передбачених конструкцією інструменту, шт.	N	1	3
Нормативний період стійкості різальних пластин, хв	T	90	30
Кількість робочих вершин на різальній пластині, шт	D	2	2

Таблиця 1.8 – Вихідні дані для розрахунку при обробці метричної різі М48х3

Показник	Позначення	Типовий ТП	Запропонований ТП
Величина партії деталей, шт.	N	2000	2000
Основний час обробки різі, хв.	T_o	3,2	0,6
Штучний час обробки однієї деталі, хв	$T_{шт}$	11,4	7,8
Підготовчо-заклучний час обробки на один типорозмір деталі, хв	$T_{пз}$	45	60
Сумарна вартість інструменту, грн.	$C_{ін}$	6000	10000
Вартість різальної пластини, грн	$C_{пл}$	500	150
Годинна тарифна ставка робітника-верстатника, грн./год	P	50	50
Кількість різальних пластин, передбачених конструкцією інструменту, шт.	n	1	3
Нормативний період стійкості різальних пластин, хв	T	60	30
Кількість робочих вершин на різальній пластині, шт.	d	3	2

Аналогічно розрахуємо зведені річні витрати Z_1 та Z_2 для обробки різьових поверхонь у деталі «Муфта з'єднувальна», а саме метричних різей М48х3-7Н та М48х3-ЛН-7Н за типовим та запропонованим ТП відповідно згідно формули 1.2:

$$Z_1 = \frac{(6000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{3,2 \times 2000 \times 1 \times 500}{60 \times 3} + (11,4 + \frac{45}{2000})) / 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 19,3 \text{ грн/шт}$$

$$Z_2 = \frac{(10000 \times (0,1 + 0,2) + \frac{0,6 \times 2000 \times 3 \times 100}{30 \times 2} + (7,8 + \frac{60}{2000})) / 60 \times 50 \times 2000}{2000} = 11,02 \text{ грн/шт}$$

Для визначення грошової ефективності від впровадження запропонованого ТП виконаємо розрахунок річного економічного ефекту за варіантами ТП.

Економічний ефект E від застосування для партії деталей розраховують за формулою:

$$E = (Z_1 - Z_2) \times N \quad (1.3)$$

Виходячи із вищесказаного розрахуємо економічний ефект від впровадження запропонованого способу при обробці круглої різі у корпусах бурових коронок:

$$E = (46,99 - 25,86) \times 2000 = 42260 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконаємо розрахунок економічного ефекту для обробки різьових поверхонь у деталі «Муфта з'єднувальна»:

$$E = (19,3 - 11,02) \times 2000 = 16550 \text{ грн.}$$

На одну деталь відповідно економічний ефект складає 21,13 грн. для корпусу бурової коронки та 8,28 грн. при обробці муфти з'єднувальної.

У рамках дисертаційного дослідження проведено виробничі випробування запропонованого ТП із введенням додаткової операції, що передбачає обробку різьових поверхонь на фрезерному верстаті з ЧПК, а також випробування спроектованих конструкцій непрофільних інструментів на базі НПП «Насостехкомплект» (м. Суми). Обробка деталі виконувалась вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі FADAL 2216FX.

Виробничі випробування підтвердили ефективність запропонованих конструкцій непрофільних інструментів, а також рекомендацій із режимів обробки конкретних деталей, а саме: точність обробки та шорсткість поверхонь різей відповідає точності, що задані конструктором на кресленні; основний час при обробці круглої різі скоротився на 4 хв, а при обробці метричної різі у деталі «Муфта з'єднувальна» (M48x3-7H та M48x3-LH-7H) на 2,6 хв, що дозволило отримати річний економічний ефект 42260 грн та 16550 грн відповідно.

В якості експериментальних досліджень на дослідних зразках також було виконано обробку дюймової різі G1½", що показали задовільні результати за

показниками якості та шорсткості поверхонь оброблених різей при зменшенні основного часу на обробку.

Висновки до розділу 1

У даному розділі виконана розробка практичних рекомендацій із вибору ефективної області застосування запропонованого в роботі способу для обробки внутрішніх різей круглого та трикутного профілів.

1. Для формоутворення різанням внутрішньої поверхні різьбового з'єднання з круглою різьбою запропоновано використовувати один із перспективних методів обробки круглих різьб метод огинання, оскільки лише в цьому методі геометрія інструмента не впливає на формування профілю різьби, а також він утворює гвинтову поверхню за один установ, що є дуже важливим для деталей, які виготовляються з армованих композиційних матеріалів, у даному випадку - склопластиків.

2. Для практичної реалізації цього методу розроблено технологічний процес оброблення шляхом нарізання внутрішньої круглої різі однозубим інструментом (різцем) із твердого сплаву К 55 SF.

3. Встановлено, що нарізання запропонованим способом за методом огинання непрофільним інструментом доцільно використовувати при кількості типорозмірів – при $n = 1 \dots 3$ та партіях більше 50 штук, як для різей круглого так і трикутного профілів.

4. Розрахунки річного економічного ефекту показали значне скорочення витрат на різальні пластини, а також витрат на заробітну плату робітників при використанні запропонованого технологічного процесу із введенням додаткової операції у технологічний процес.

5. Річний ефект за укрупненими розрахунками при обробці корпусів бурових коронок склав 42260 грн., а при обробці муфт з'єднувальних – 16550 грн. при річному випуску деталей 2000 шт. кожного із найменувань деталей. При цьому собівартість однієї деталі зменшилась на 21,13 грн. та 8,28 грн. відповідно.

2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Експериментальне дослідження впливу режимів різання та температуру свердла та точність отворів при свердлінні пакетів вуглепластик/ титановий сплав

Експериментальна установка була реалізована на базі 5-осьового фрезерного центра DMU 85V CNC (рис. 2.1).

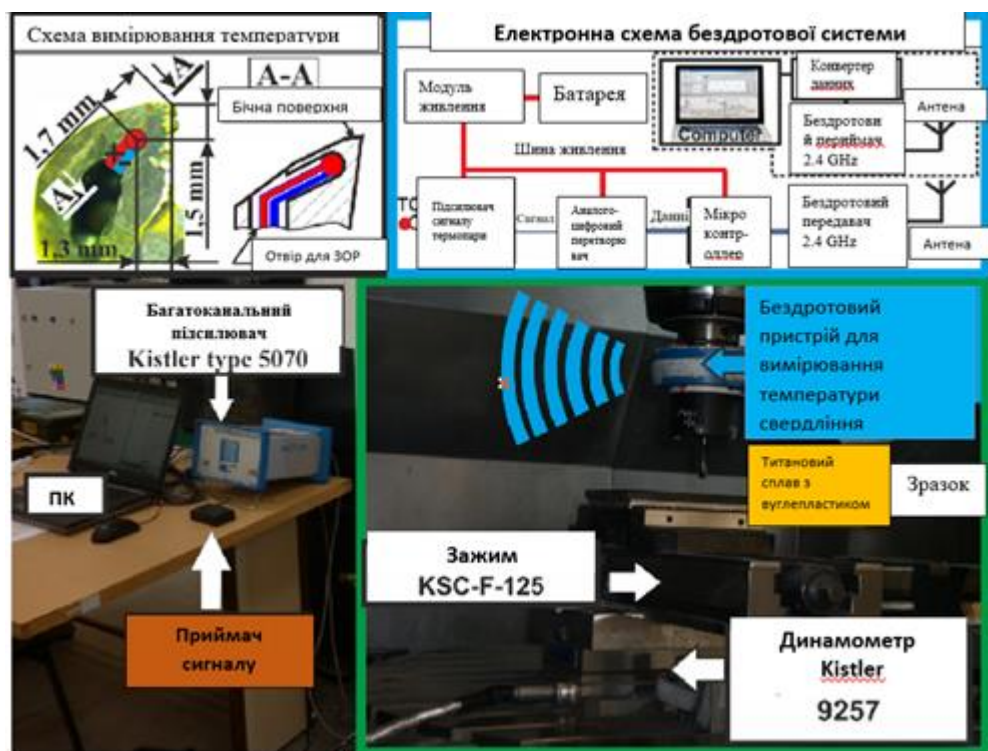


Рисунок 2.1 – Експериментальна установка на базі фрезерного оброблювального центру DMU 85V

Заготовка пакета «вуглепластик/титановий сплав» фіксується (базується та закріплюється) в прецензійних машинних лещатах Schunk Konte's KSC-F-125 з похибкою базування 0,02 мм, які був встановлений на динамометр Kistler 9257 на столі верстата. Безпосередньо у ході дослідження контрольованим параметром був температурний градієнт свердла. Осьова сила, що вимірювалася динамометром

була в подальшому використана для визначення початку процесу свердління з метою співвідношення положення свердла у отворі та температури свердла у момент часу, що досягалося шляхом синхронізації результатів вимірювання за машинним часом персонального комп'ютера. Температура свердла була виміряна за допомогою обертового бездротового пристрою для вимірювання температури, який був затиснута на цанговій оправці HSK40. Функціонування пристрою базується на поєднанні вимірювання ефекту Зеебека з компенсацією холодного з'єднання та бездротовою передачею сигналу від термопари з високою частотою (2,4 ГГц) через канал Bluetooth. Живлення пристрою здійснювалося літій-іонних акумуляторів. Вимірювальний блок складався з термопари хромель-алюмель (К-типу), підключеної до підсилювача сигналу термопари, який передавав сигнал на модуль Bluetooth з частотою 200 Гц. Після цього бездротовий приймач сигналу Bluetooth, приєднаний до ПК через USB COM порт фіксував сигнал температури свердління. Діапазон вимірювань температури термопари типу К становив від 40 °С до 1036 °С з точністю 0,5 °С. Підвид термопари до задньої поверхні свердла здійснювався через канал для підводу ЗОР. З метою наближення термопари до різальної кромки та захисту сенсора від стружки під задньою поверхнею свердла було оброблено канал, що дозволило розмістити термопару на відстані 1,3 мм від ріжучої кромки та 1,7 мм від зовнішнього кута (рис. 2.1).

У ході експериментального дослідження згідно плану експерименту було проведено дев'ять серій дослідів у результаті яких було просвердлено по п'ять отворів для кожної серії випробувань. Свердління отворів у кожному досліді здійснювалося новим свердлом, що дозволило виключити вплив зношення свердла від попередніх дослідів. За результатами вимірювання геометрії свердла було визначено, що відстань від вершини свердла до початку робочої частини складає 1,82 мм. Знизу під графіками на рисунку зображені свердла з розташуванням на них термопари (ТП), що позначені червоною крапкою.

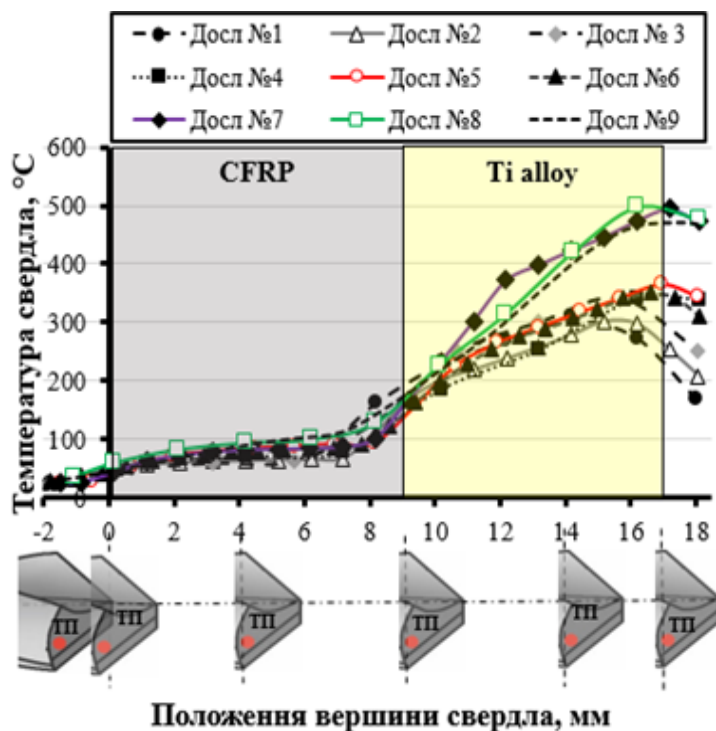
Аналіз кривих температур свердління при обробці отвору № 1 для всіх дослідів виявив, що температура свердління в процесі обробки вуглепластику коливалася від 48,6 °С до 104,9 °С, а для шару титанового сплаву - від 189,8 °С до

461,4 °С. Максимальні значення температури свердління у вуглепластику було виміряно при свердлінні при $V = 65$ м/хв і $S = 0,08$ мм/об, тоді як для титанового сплаву $V = 65$ м/хв і $S = 0,05$ мм/об. Беручи до уваги, що під час свердління отвору № 1 вплив фактору часу витримки свердла ще не вплинув на температуру свердління, можна зробити висновок, що на її значення в основному впливала швидкість різання. Менша швидкість різання створювала більш сприятливі умови для переходу тепла, що утворюється в зоні різання, в матеріалі заготовки та стружку, ніж у свердло (рис. 2.2 а).

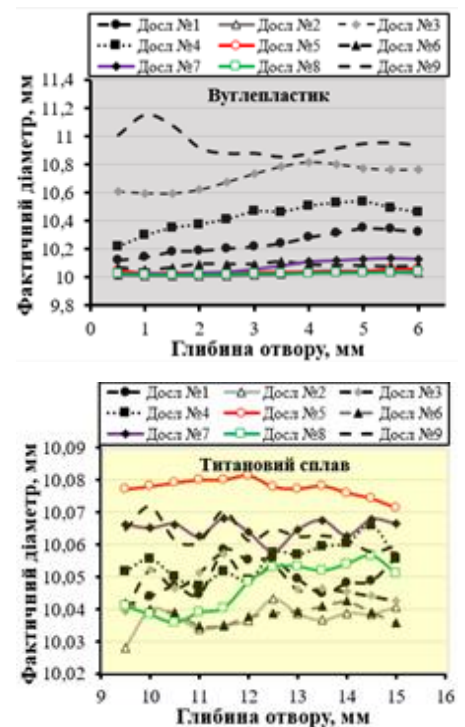
При заглибленні свердла в пакет вуглепластик / титановий сплав на глибину 0,5 мм мінімальний фактичний діаметр отвору складав 10,118мм (дослід № 8), на глибині 6 мм – 10,1 (дослід № 8), на глибині 10 мм параметри точності отвору - 10,03 мм і на 15 мм – 10,04 мм (дослід № 2). Розміри отворів у шарі вуглепластику коливалися від 10,118 до 11,2 мм. Максимальне поле розкиду точності між максимальними та мінімальними розмірами вимірювали при свердлінні з режимами різання $v = 65$ м/хв і $S = 0,08$ мм/об (дослід № 9). Під час аналізу кривих діаметрів отворів було помічено, що максимальні відхилення вимірюються у отворах № 1, № 3, № 4, № 9. Це можна пояснити ковзанням жорсткої стружки що утворилася при свердлінні титанового сплаву по стінках отвору в шарі вуглепластику. Така стружка утворювалась у дослідях № 3, № 9 з подачею 0,08 мм/об. Фактичний розмір отвору в шарі сплаву Ті варіювався від 10,028 мм до 10,081 мм. Максимальне поле допуску - 0,021 мм між максимальними (Ø10,057 мм) та мінімальними (Ø10,036 мм) розмірами вимірювали при свердлінні з режимами різання $V = 65$ м/хв і $S = 0,05$ мм/об (дослід № 8) (рис. 2.2 (б)).

Під час обробки отвору № 2 для дослідів № 2, № 3, № 4, № 5, № 7 та № 9 спостерігався область в якій температура в цих експериментах вища ніж в інших (рис. 3.2(а)). Це відбувається в результаті того що тепло, яке накопичувалося в інструменті під час свердління отвору № 1, призвело до підвищення температури свердла, яка змінювалася від 181,7 °С до 251,6 °С. Хоча температура свердління в інших дослідях замість підвищення почала знижуватися під час обробки вуглепластику до (109,3 °С - 208,4 °С) залежно від режимів різання. Ця тенденція

може бути пояснена властивістю епоксидної смоли розсіювати тепло, нижче за температуру скляного переходу (≈ 200 °C). Таким чином тепло, накопичене при свердлінні попереднього отвору, вплинуло на підвищення температури в дослідах № 2, № 3, № 4, № 5, № 7 та № 9. Хоча ефект цього явища обмежений, і на глибини отвору 7 мм температура свердління почала зростати під впливом тепла, що утворилося в результаті обробки шару титанового сплаву. Температура свердління в шарі титанового сплаву зростає в межах від 182,2 °C до 563,7 °C, що корелює зі швидкістю різання та ефектом накопичення тепла при свердлінні в дослідах № 2, 3, 4, 5, 7 та № 9. Поєднання високої швидкості різання і низька подача призводять до більш високої температури, ніж поєднання високої швидкості різання та високої подачі. Це можна пояснити не тільки більшою товщиною стружки при високій подачі та в результаті переходу більшої кількості тепла з стружкою, а й меншим часом різання, протягом якого генерується тепло.

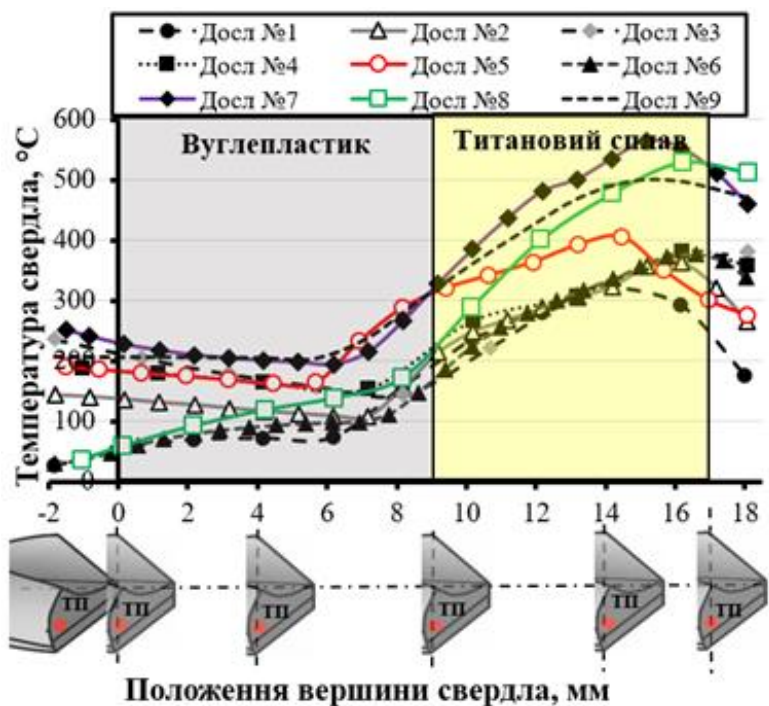


а)

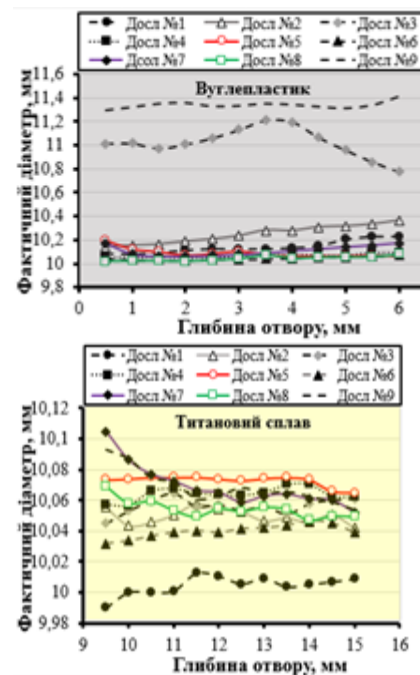


б)

Рисунок 2.2 – Залежність температури свердла (а) та точності отворів (б) від режимів різання при обробці отвору №1



а)



б)

Рисунок 2.3 – Залежність температури свердла (а) та точності отворів (б) від режимів різання при обробці отвору № 2

Як ми бачимо на (рис. 3.2(б)), що максимальний діаметр отвору у вуглепластику у досліді № 2 максимальний діаметр отвору збільшився 0,318 мм, в досліді № 3 - 0,397 мм, в досліді № 5 - 0,137 мм, в досліді № 7 - 0,039 мм, в досліді № 9 - 0,265 мм порівняно з максимальним діаметром отвору під час свердління отвору № 1. Водночас у досліді № 1, № 6 максимальний діаметр зменшився на 0,151 мм та 0,039 мм відповідно. Такий вплив на діаметр отвору можна пояснити впливом ковзання стружки та термічного розширення свердла, що впливає на накопичення тепла. Тим не менше, в шарі титанового сплаву розкид точності діаметрів отворів був не таким значним і змінювався в діапазоні від 0,046 мм до 0,037 мм.

Вимірювання температури свердла при обробці отвору № 3 (рис. 2.4 (а)) підтвердило описану раніше тенденцію відводу тепла від свердла у вуглепластику через прошарок епоксидної смоли, хоча температура свердла продовжувала підвищуватися до 251,54 °C у досліді № 9 проте у всіх інших дослідях температура

починала знижуватись. Максимальна температура свердління у сплаві Ті під час свердління виникла в досліді № 7 $V = 65$ (м/хв), подача, $S = 0,02$ (мм/об), час витримки свердла, 5 с і становила $590,18$ °С.

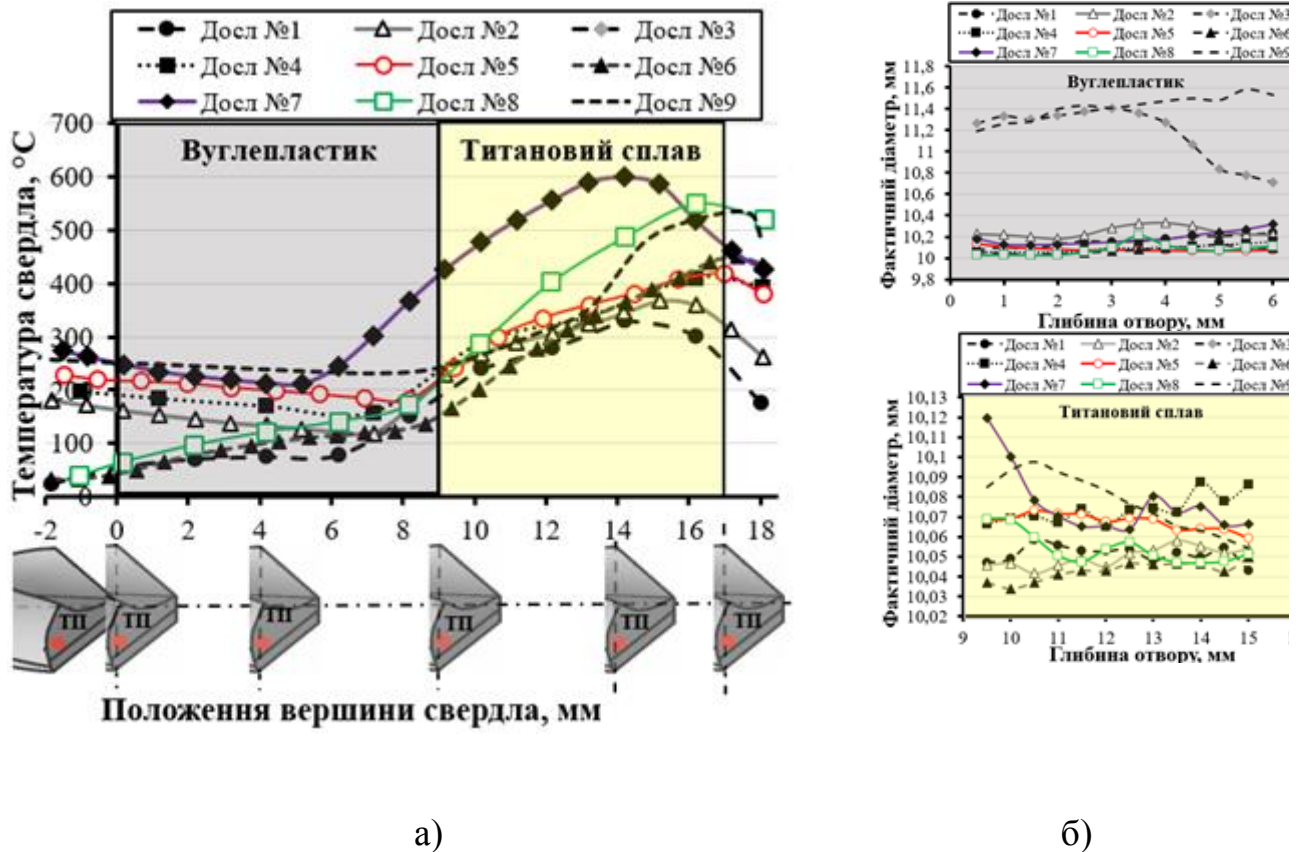


Рисунок 2.4 – Залежність температури свердла (а) та точності отворів (б) від режимів різання при обробці отвору № 3

Якщо розглянути геометричні параметри отворів № 2 та № 3, то для дослідів № 3 та № 9 менш точні діаметри були виміряні у вуглепластику (рис. 3.3(б)). Хоча отвори в цих дослідях були оброблені з різною швидкістю різання 15 м/хв і 65 м/хв, діаметр отворів змінювався в межах від 10,708 мм до 11,405 мм для дослідів №3 та від 11,188 мм до 11,581 мм для дослідів №9 (рис. 3.3 (б)). Передбачалося, що на збільшення діаметра отвору впливало ковзання стружки титанового сплаву по стінці отвору вуглепластику. Вуглепластик, що генерується при високій швидкості подачі, але дослід № 6, який також проходив під високою швидкістю різання мав відхилення діаметра отвору від 10,070 мм до 10,127 мм. Основою відмінністю

дослідів № 3 та № 9 та дослідів № 6, крім швидкості різання, був фактор часу витримки свердла 5с для дослідів № 3 та № 9 та 120 с для дослідів № 6. Отже, можна зробити висновок, що на збільшення діаметра отвору в вуглепластику впливали не тільки ковзання стружки, але і температурою свердла. Діаметр отвору в титановому сплаві Ті варіювався від 10,034 мм (дослід № 6) до 10,120 мм (дослід № 7). На відхилення діаметра отвору в титановому сплаві впливало радіальне биття свердла (табл. 2.3), подача, та час витримки свердла. Було помічено, що для дослідів № 2 ($S_{хв} = 23,85$ мм/хв) та № 4 ($S_{хв} = 25,46$ мм/хв), № 3 ($S_{хв} = 38,16$ мм/хв) та № 7 ($S_{хв} = 41,38$ мм/хв) та № 6 ($S_{хв} = 101,84$ мм/хв) та № 8 ($S_{хв} = 103,45$ мм/хв) діаметр отвору та його відхилення були більшими в дослідіх № 4, № 7, № 8, де температура свердла була вищою порівняно з температурою свердління в дослідіх № 2, № 3 та № 6.

Під час свердління отворів № 4 та № 5 температура свердла (рис. 2.5 та 2.6) були однакові як у вуглепластику, так і у титановому сплаві. Температура свердла у вуглепластику коливалася від $60,66^{\circ}\text{C}$ до $280,21^{\circ}\text{C}$, а в титановому сплаві від 210°C до 605°C .

Результати вимірювання фактичного діаметра отвору в отворі № 4 підтвердили тенденцію формування конусного отвору у вуглепластику. Однак у дослідіх № 3 та № 9 було помічено різницю розмірів відповідно 0,7 мм та 1,5 мм, що пояснюється необрізаними волокнами глибиною до 1 мм. Цей ефект має стохастичну природу, і ні в попередньому, ні в наступному досліді він не спостерігався.

На основі аналізу температури свердла під час свердління отвору № 5 див. рис. 2.6 для дослідів № 1, № 6 та № 8, при свердління вуглепластику температура свердла змінювалася в діапазоні ($80,9^{\circ}\text{C}$ - $126,23^{\circ}\text{C}$), якщо порівняти її з результатами для отвору №1 ($70,30^{\circ}\text{C}$ - $99,60^{\circ}\text{C}$) можна зробити висновок, що на підвищення температури впливає зношення інструменту. Температура свердла при свердлінні в титанового сплаву варіювалася в діапазоні від ($320,6^{\circ}\text{C}$ - 461°C) для отвору №1, а для отвору ($356,6^{\circ}\text{C}$ - $477,27^{\circ}\text{C}$). Однак для дослідів №2 - №5 і №7, №9 вплив зношення інструменту на температуру свердла не був настільки

очевидним, оскільки він був прихований під впливом накопичення тепла через умови витримки свердла 120 с перед свердлінням наступного отвору. Якщо не брати до уваги зношення інструменту то найкращий режим для обробки пакетів з титанового сплаву та вуглепластику є режим для досліду №1 і має такі параметри $V=15$ (м / хв), подача, $S = 0,02$ (мм / об), час витримки свердла, 120 с.

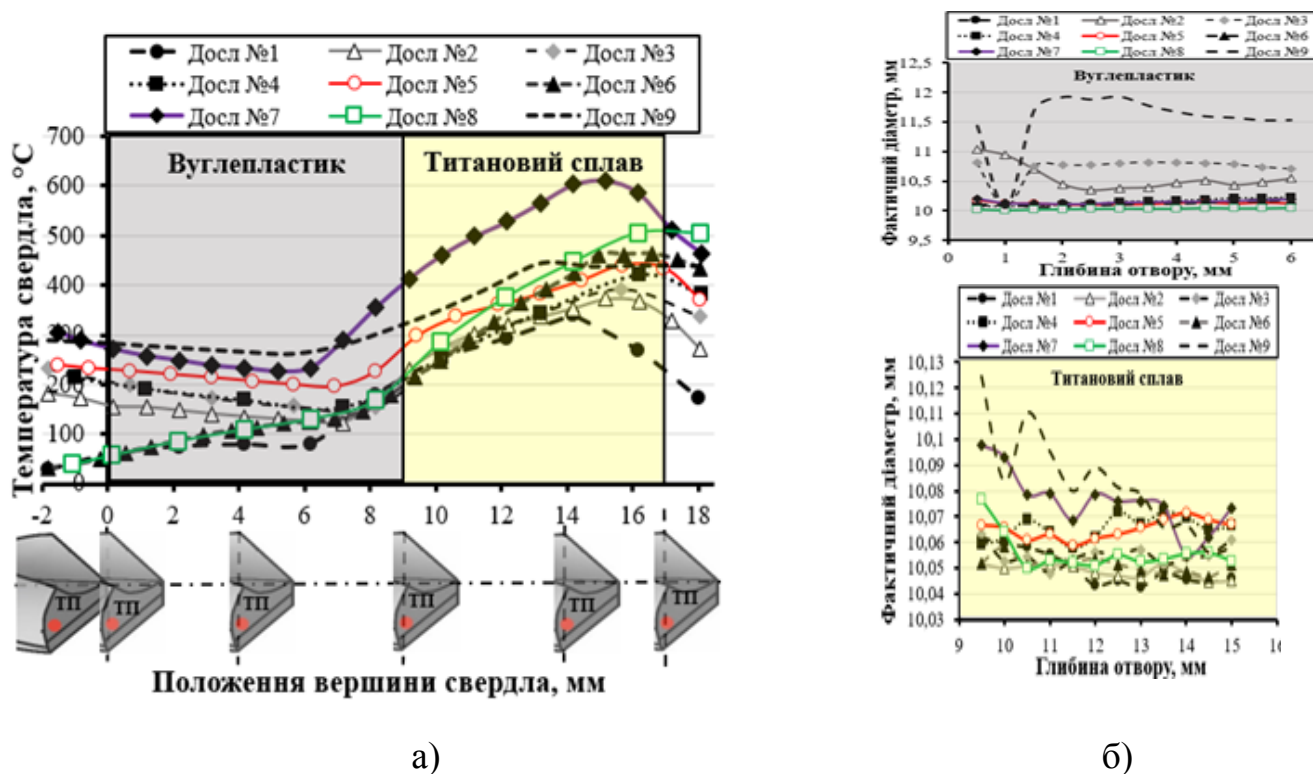
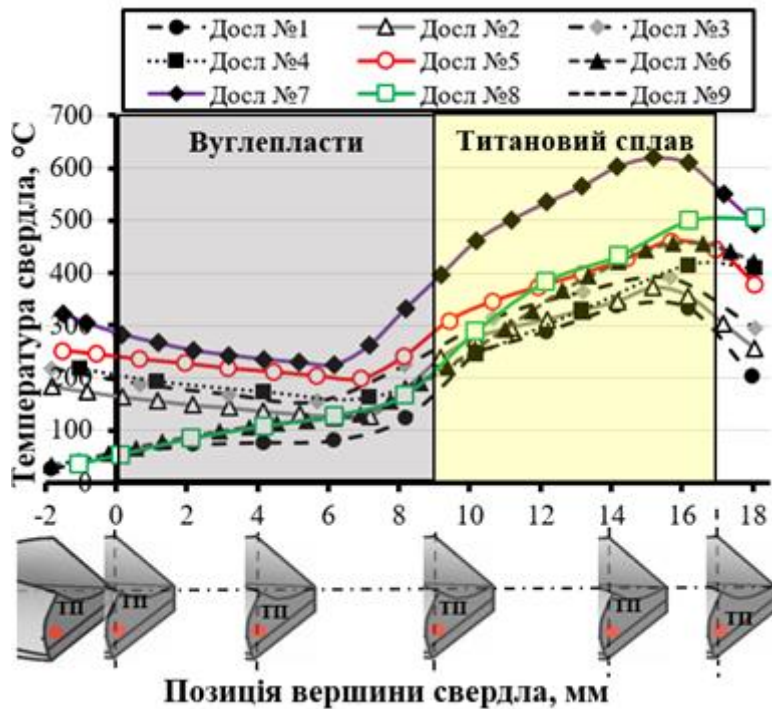
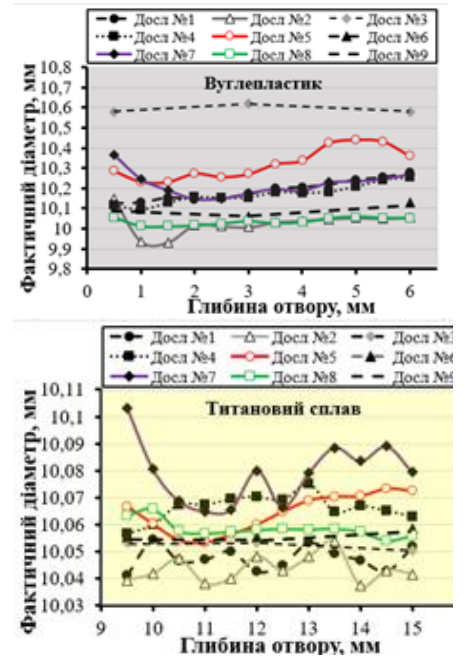


Рисунок 2.5 – Залежність температури свердла (а) та точності отворів (б) від режимів різання при обробці отвору № 4

На основі аналізу діаметрів отворів № 4 (рис. 2.4) та № 5 (рис. 2.5) спостерігається вплив часу витримки інструменту на збільшення відхилення діаметра отвору. У вуглепластику діаметр отвору, отриманий за умови часу витримки свердла 5 с, коливався від 46 мкм до 150 мкм, а при 120 с та 10 с - в діапазоні 39 - 754 мкм залежно від швидкості різання. У шарі титанового сплаву ефект часу витримки свердла (як для 5 с, так і для 120 с) був не таким значальним, і відхилення діаметра отвору коливалося від 3 мкм до 27 мкм. Тим не менш, у досліді № 7, де температура свердління досягала понад 600 °С, відхилення було 43 мкм, що в 4 рази більше порівняно з 10 мкм у отворі № 1 для цього ж досліду.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Залежність температури свердла (а) та точності отворів (б) від режимів різання при обробці отвору № 5

2.2. Підвищення ефективності процесу зубодовбання біметалевих зубчатих дисків внутрішнього зачеплення з фрикційним покриттям

Біметалеві зубчасті диски внутрішнього зачеплення з фрикційним покриттям використовують в бортових фрикціях гусеничної техніки як цивільного, так і військового призначення. Однією з проблемних технологічних операцій при виготовленні зубчатих дисків внутрішнього зачеплення з фрикційним покриттям є отримання внутрішнього зубчастого вінця. Зазвичай обробку внутрішнього зубчастого вінця виконують протягуванням (прошиванням), зубофрезеруванням або зубодовбанням. Протягування та прошивання достатньо продуктивні процеси, але у зв'язку із діаметром 400–450 мм внутрішнього вінця мають значні обмеження як по інструменту (протяжки і прошивки такого діаметра не можливі в принципі), так і по верстатам, які потребують наявності ділильних пристроїв, якщо обробка ведеться інструментом, який копіює оброблювану поверхню, що обмежує продуктивність, та ускладнює експлуатаційні можливості процесу. Отримання

внутрішніх зубчастих вінців зубофрезеруванням теж обмежується наявністю спеціального супорта, можливістю його розміщення всередині деталі та наявністю спеціального різального інструмента (равликів). Особливо питання обробки внутрішнього зубчастого вінця загострюється під час ремонту фрикційних дисків, у зв'язку з обмеженими технологічними можливостями ремонтних служб. Тому з погляду на вищезазначене найбільш доцільним є опрацювання та дослідження зубодовбання.

Проведене нами попереднє випробування процесу зубодовбання внутрішнього зубчастого вінця (рисунок 2.6) виявило значні вібрації, що виникають у процесі обробки, зниження стійкості різального інструменту, невизначеність технологічних параметрів процесу зубодовбання.

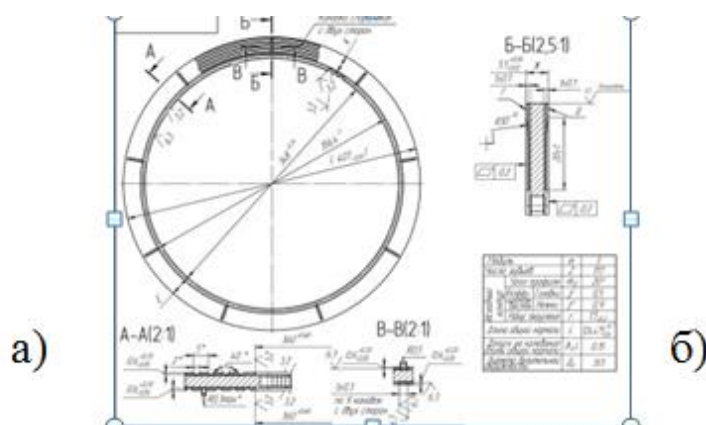


Рисунок 2.6 - Біметалевий зубчатий диск внутрішнього зачеплення з фрикційним покриттям а) та його конструктивні параметри б).

Слід також зазначити, що будь-який із перелічених технологічних процесів для підвищення продуктивності повинен був би здійснюватися не на штучній деталі, а на їх пакеті у зв'язку з незначною товщиною – бмм, біметалевого диска. Тому обробку та дослідження підвищення ефективності процесу зубодовбанням проводили на пакеті з 9 дисків.

Аналіз літературних джерел [19-21] показав, що коливання в технологічній системі (ТС) виникають в результаті дії динамічних сил. Залежно від природи коливань в технологічній системі їх розділяють на:

1. Вільні коливання (власні коливання) системи виникають внаслідок ударного впливу зовнішньої сили. Як правило ці коливання досить швидко згасають через розсіювання енергії у ТС.

2. Вимушені коливання (першого роду), збуджувані періодично діючою зовнішньою силою, не пов'язаною з процесом зрізання припуску. Ці коливання можуть виникати внаслідок дисбалансу приводу верстата або під дією якогось зовнішнього динамічного навантаження. Коливання цього виду зазвичай не досягають резонансних частот ТС.

3. Вимушені коливання (другого роду), збуджувані під час процесу різання. Процес різання має властиву йому періодичність, яка призводить до появи вимушених коливань (наприклад, процес утворення переривчастої елементної стружки або періодичне врізання зубів довбача). Коливання цього виду також зазвичай не досягають резонансних частот ТС.

4. Автоколивання, явище, при якому коливальний рух, виникає і підтримується в процесі різання джерелами енергії, які не мають коливальних властивостей. Автоколивання – це незгасаючі коливання системи, які самі є джерелом цих коливань, причому амплітуда і період цих коливань визначаються властивостями самої системи і не залежать від зовнішньої збуджуючої сили [22-24]. Навіть для добре відрегульованих верстатів, що мають високу жорсткість, при певних умовах роботи в процесі різання можуть виникнути автоколивання, які обмежують допустимі режими різання, знижують якість виробів, а часом призводять до передчасного зношування та руйнуванню ріжучого інструменту (РІ). На відміну від вимушених коливань, частота автоколивань зазвичай залишається постійною в широкому діапазоні швидкостей різання, що є найбільш характерною ознакою, за якою можна відрізнити вимушені коливання від автоколивань [25-27]. Причиною появи автоколивань можуть бути явища наклепу, явища наросту, змінна швидкості руху стружки, змінна товщини шару, що врізається і інші фактори. Для усунення автоколивань необхідно змінити властивості самої системи. Таким чином, при довбанні пакету зі змінною твердістю матеріалу можуть виникати як вимушені, так і автоколивання. Коливання при різанні металів довгий час

вважалися змушеними коливаннями. Це трактування вперше спростував в Н.А. Дроздов [28]. У своїх роботах він встановив, що частота коливань в ТС практично залишається незмінною в широкому діапазоні швидкостей різання. На підставі чого він прийшов до висновку, що коливання які породжуються процесом різання слід вважати автоколиваннями. Вивченню коливань, і в тому числі автоколивань ТС при різанні металів присвячено ряд фундаментальних досліджень, а також ряд робіт багатьох вчених. Одним з основних параметрів вібрації є віброприскорення. За його миттєвою величиною можна оцінити характер вібраційних процесів, що відбуваються при обробці, а також величину навантаження на основні механізми верстата. Але за відсутністю оснащення, і насамперед датчиків для реєстрації віброприскорення не розглядалося дослідниками, особливо при зубодовбання. Тому однією із задач розгляду питанні про підвищення ефективності зубодовбання біметалевих дисків і була розгляд та реєстрація та аналіз віброприскорення.

Для дослідження процесу довбання зубчатого вінця в біметалевих зубчастих дисках з фрикційними покриттями використали верстат моделі TOS OHO 50. Основна сила різання при зубодовбанні направлена вздовж осі штоделя верстату. Для оцінки величини навантаження вузлів верстату використали акселерометри моделі 7290A-2 та розмістили і закріпили їх на штоселі та на столі верстата. Схема розміщення акселерометрів на верстаті подана на рисунку 2.7.

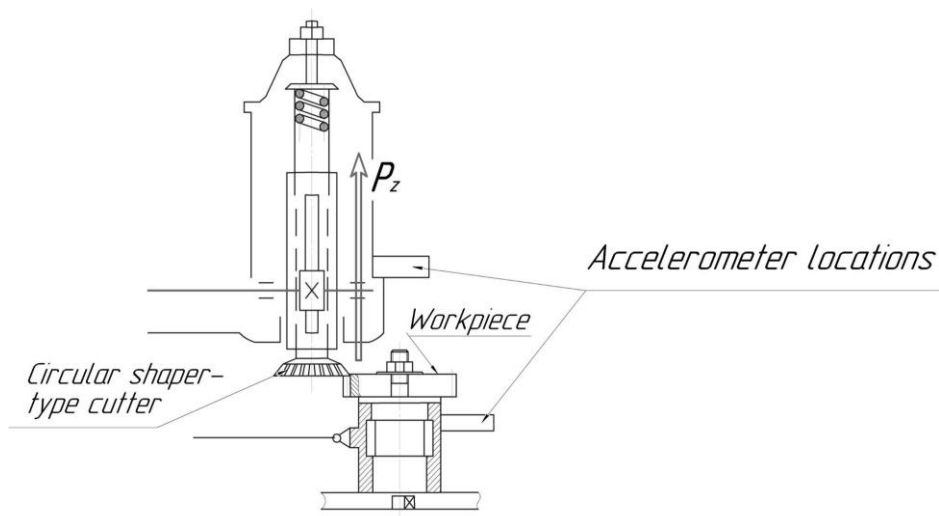


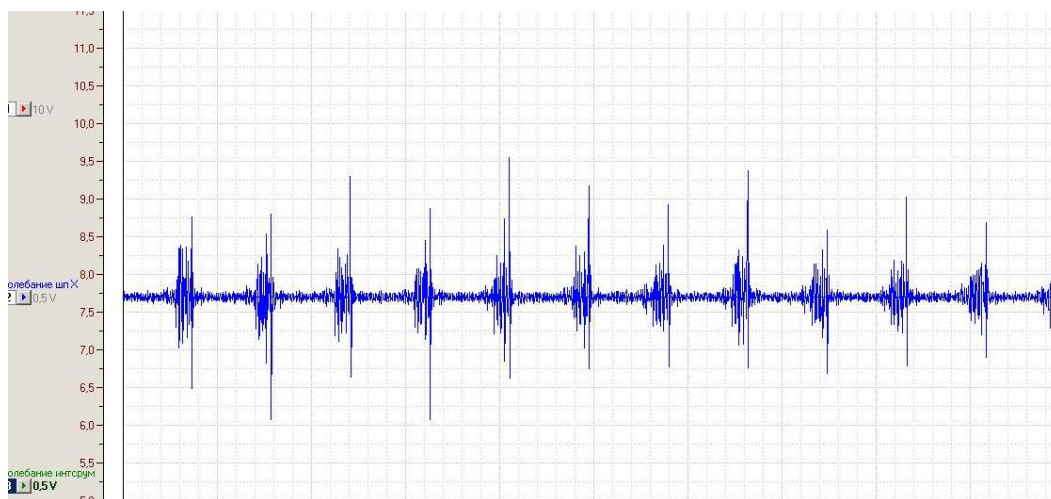
Рисунок 2.7 – Схема розміщення акселерометрів на зубодовбальному верстаті

Для реєстрації віброприскорення використовували Система збору інформації «National instruments mod. NI-9234», яка призначена для віброакустичних досліджень. Система в реальному часі зчитує дані з датчиків та передає їх на персональний комп'ютер, який виконує запис та обробку даних. за програмою. NI 9234 - це чотириканальний модуль збору динамічних сигналів для високої точності вимірювання з датчиків ІЕРЕ. NI 9234 забезпечує динамічний діапазон величиною 102 дБ і включає в себе вбудовану електроніку п'єзоелектричного (ІЕРЕ) кондиціонування сигналу при постійному струмі 2 мА для акселерометрів і мікрофонів. Одночасно можна отримати чотири вхідні канали зі швидкістю до 51,2 кс/с. Крім того, модуль містить вбудовані фільтри згладжування, які автоматично налаштовується на частоту вибірки. Сумісний з одномодульним USB носієм NI CompactDAQ і CompactRIO, NI 9234 використовують для широкого спектру мобільних або портативних програм, таких як моніторинг стану промислових машин, випробування на шум, вібрацію та жорсткість.

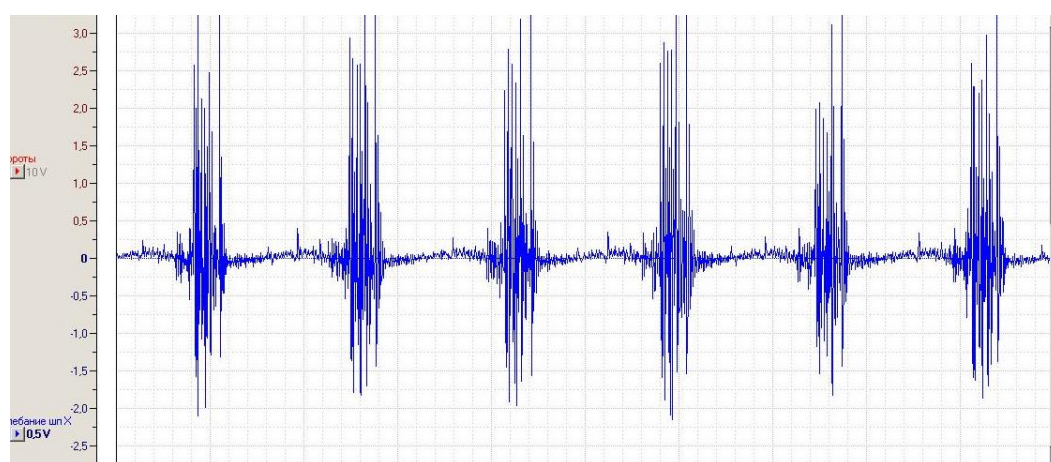
Результати експериментальних досліджень

Для експериментальної обробки партії деталей вибрані наступні режими різання: кількість подвійних рухів за хвилину – 56, 71, 90, 112, 140, 180, 224, колова подача – 0.16, 0.2, 0.25, 0.31, 0,4.мм/подв.рух/хв. За результатами експериментальної обробки визначили період стійкості інструмента за наступним критерієм – фаска зношення по задній поверхні не більше 0,3мм, яка перевірялася мікроскопом з ціною поділки окуляра 0,1мм за повний оберт деталі. Також визначено амплітуди коливань штоселя і стола з пристроєм для затискання пакету деталей. Результати досліджень у вигляді записів амплітуд віброприскорення штоселя для різних значень кількості подвійних рухів подані на рис.2. 8 (а-в).

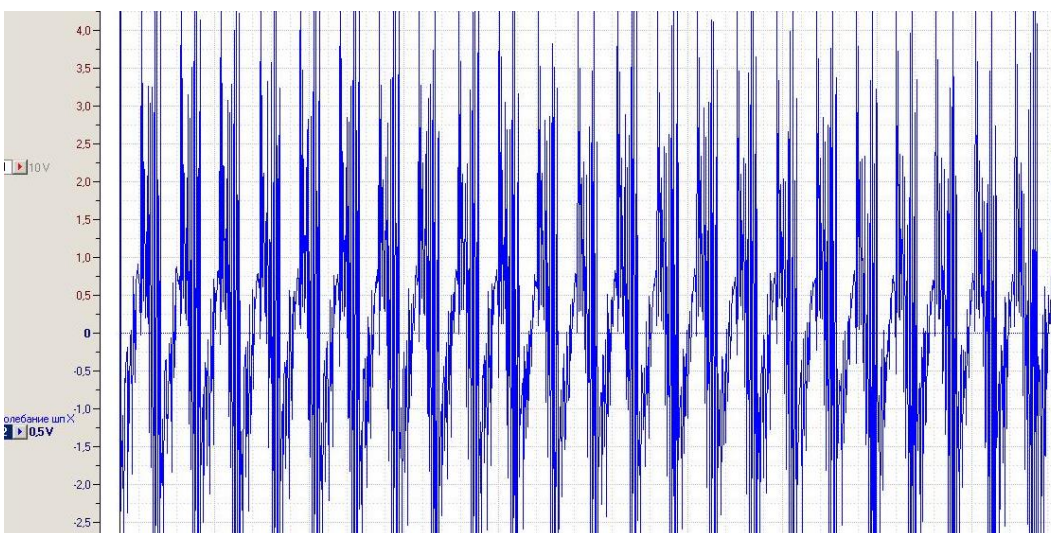
Аналіз амплітуд коливання штоселя у залежності від кількості подвійних рухів./хв. подані у табл.2.1.



а)



б)



в)

Рисунок 2.8 – Експериментальні дані віброприскорення штоселя:
 а – при 56 подв.рух/хв.; б– при 112 подв.рух/хв.; в – при 224 подв.рух/хв.

Таблиця 2.1 – Значення амплітуд коливань штося в залежності від кількості подвійних. рухів/хв.

Кількість подвійних рухів, хв ⁻¹	Амплітуда коливань віброприскорення штося, м/с ²
56	3,53
71	2,97
90	1,5
112	1,07
140	3,09

За результатами експериментальних даних встановлено, що мінімальна амплітуда коливань штося спостерігається при 112 подвійних рухах за хвилину. При збільшенні кількості подвійних рухів процес обробки відбувається з ознаками автоколивального руху, про що свідчить хвилястість обробленої поверхні пакету деталей.

Експеримент з дослідження стійкості інструменту показує, що головним фактором, який впливає на стійкість є швидкість різання, яка залежить від кількості подвійних рухів за хвилину.. Колова подача практично не впливає на стійкість, проте є невелике збільшення фаски зношування при мінімальних і максимальних значеннях колової подачі.

В табл.2.2 подані результати дослідження стійкості довбика.

Таким чином, найефективнішим режимом обробки з точки зору найвищої стійкості інструменту та найменшого значення амплітуди вібрації штося, що є одним з найвизначніших факторів працеспроможності та довговічності верстату є 112 подвійних ходів за хвилину. Оскільки стійкість інструменту практично не залежить від кругової подачі, окрім мінімального і максимального її значень, доцільним є можливість обрати значення 0,25 або 0,31 мм/подв.рух з точки зору отримання максимальної продуктивності оброблення, та зниження собівартості.

Таблиця 2.2 – Стійкість інструменту в залежності від колової подачі обробки в кількості повних обертів деталі з максимально допустимою фаскою зношення 0,3мм.

Кількість подвійних рухів, хв^{-1}	Колова подача, мм/подв.рух/хв.				
	0,16	0,2	0,25	0,31	0,4
56	2	2	2	2	2
71	2	2	2	2	2
90	3	3	3	3	3
112	4	4	6	5	5
140	2	2	3	3	2
180	менше 1	менше 1	менше 1	менше 1	менше 1
224	менше 1	менше 1	менше 1	менше 1	менше 1

Підвищення вібростійкості процесу зубодовбання можливе за рахунок збільшення маси рухомих частин, що призведе до збільшення сили інерції, як сили, що може протидіяти нерівномірній силі різання, а також це призведе до збільшення резонансної частоти, що забезпечить можливість збільшення числа подвійних рухів штоселя без появи автоколивальних процесів [29].

2.3. Аналіз шляїв вдосконалення конструкцій інструментів з механічним кріпленням різальних елементів (багатогранних пластин та вставок з багатогранними пластинами)

Широке використання оброблюваних матеріалів з поліпшеними властивостями, підвищені вимоги до якості оброблюваних поверхонь та посилення глобальної конкуренції серед промислових компаній потребують скорочення прямих виробничих витрат [30]. У той же час ринок потребує більшої кількості різновидів продукції, а отже, обладнання та процеси повинні бути більш гнучкими для задоволення потреб та зниження витрат на виготовлення. При цьому значна

увага приділяється розробці та виготовленню різального інструменту як елемента технологічного обладнання.

У сучасному інструментальному виробництві переважно застосовуються механічно закріплені вставки [31, 32]. Форма вставки, правильне встановлення її в корпусі інструменту впливають на якість та продуктивність обробки, стабільність інструменту [33, 34]. Використання вставок дозволяє створювати змінні різальні кромки зі спеціальними властивостями, скорочуючи витрати на відновлення інструменту. У той же час, проектування та виготовлення корпусу таких інструментів має свої складності, пов'язані з необхідністю створення їх 3D-моделей, розробкою програм управління, обробкою та контролем.

Роботи зі створення основних видів інструментів зі вставками проводяться в наукових лабораторіях багатьох компаній [35–38]. Вони використовують стандартні та створюють нові форми вставок, досліджують способи кріплення.

Для забезпечення гнучкості виробництва необхідна гнучкість різних конструкцій інструментів. Незважаючи на широке використання сучасних CAD/CAM систем, значна частина інтелектуальних ресурсів все ще витрачається на адаптацію стандартних рішень до конкретної конструкції різального інструменту. На жаль, практично немає наукових праць, спрямованих на розробку CAD/CAM систем спеціального різального інструменту з індексованими вставками. Тому з точки зору підвищення гнучкості сучасного виробництва робота є надзвичайно актуальною.

Огляд літератури. Оптимальна якість оброблюваної поверхні та максимальна продуктивність процесу залежать від правильного вибору параметрів різання. Найважливіший з них – геометрія вставки. На практиці та аналітично (метод скінчених елементів) [28] встановлено, що геометрія індексованої вставки в статичній системі координат впливає на температуру в зоні різання та на зношення самої вставки.

Геометрія леза в статичній системі координат формується на основі попередньо вибраної індексованої вставки. Вставка обертається навколо локальних осей для досягнення бажаного положення в глобальній системі координат,

пов'язаної з корпусом інструменту [39]. Запропоновано формули для дискретного геометричного аналізу інструментів з індексованими вставками [40]. Їх використання дає змогу визначити геометрію змінних вставок у статичній системі координат і тим самим вдосконалити конструкцію інструментів, оскільки геометричні параметри лез впливають на якість обробки та стабільність інструменту [41], звивання та подрібнення стружки [42].

Нажаль у теперішній час ще не існує чітких алгоритмів визначення положень у просторі базових поверхонь на корпусі інструмента, з якими вставка контактує при фіксації. Ні стандарти, ні виробники вставок не дають таких рекомендацій [23–25, 32]. Це можна пояснити наявністю великої кількості вимог при впровадженні конкретного процесу різання. Тому визначення положення вставки та її геометрії під час різання залишається важливим завданням [43]. Відомі схеми дії сил при кріпленні вставок: С, S, P, M – реалізуються різними механізмами. При проектуванні осьового інструменту досить поширеним і надійним [44] кріпильним механізмом є гвинт, який реалізує схему S.

2.4. Моделювання положень змінних багатограних пластин на корпусі різального інструмента

Особливістю використання багатограних непереточуваних пластин для оснащення складених інструментів є те, що їх геометричні параметри жорстко пов'язані. Оптимізація одного з цих параметрів у статичній системі координат може призвести до недопустимих значень інших.

Кожна вставка має свою форму та геометрію у інструментальній системі координат [45]. Щоб оснастити інструмент індексованими вставками, необхідно вибрати з каталогу виробника вставку, геометрія якої наближена до геометрії леза в статичній системі координат. Тому перший крок при побудові складеного інструменту – прив'язати інструментальну систему координат до його корпусу та орієнтувати в ньому індексовану вставку (рис. 2.9).

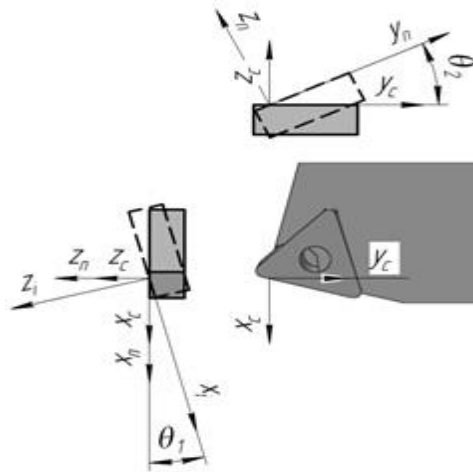


Рисунок 2.9 – Система координат для визначення кутів θ_1 і θ_2

Залежно від умов контакту поверхні деталі і інструменту (точковий чи лінійний) формується корпус інструменту і відповідно розміщується вибрана вставка. Через те, що вставка базується по зовнішнім поверхням, відповідні базові поверхні на корпусі інструменту мають форму вставки.

Потім потрібно повернути індексовану вставку в фронтальній і профільній площинах на кути θ_1 і θ_2 , щоб створити необхідні кути в статичній системі координат.

Для аналітичних досліджень геометрії вставки використовують три системи координат: статичну (ССК) (або глобальну) – $x_c y_c z_c$, перехідну (ПСК) – $x_n y_n z_n$, інструментальну (ІСК) – $x_i y_i z_i$.

У системі $x_i y_i z_i$ задають вихідні параметри вставки, а перехід із цієї системи через $x_n y_n z_n$ до $x_c y_c z_c$ дозволяє визначити положення індексованої вставки після обертання на кути θ_1 і θ_2 , щоб забезпечити необхідну геометрію леза у статичній системі координат. При обертанні на кут θ_1 система $x_i y_i z_i$ обертається, а системи $x_n y_n z_n$ і $x_c y_c z_c$ нерухомі (до обертання всі системи збігаються) [40, 41].

Для визначення статичних кутів λ_c та φ_c проведемо в інструментальній системі координат (рис. 2.10) одиничний вектор, що виходить із деякої точки A різальної кромки і дотичний до різальної кромки [30, 35].

Тому вплив кутів повороту θ_1 та θ_2 на кінцеве значення статичних кутів обраної індексованої вставки (з відомою геометрією в інструментальній системі координат) можна проаналізувати за допомогою графіків (рис. 2.11).

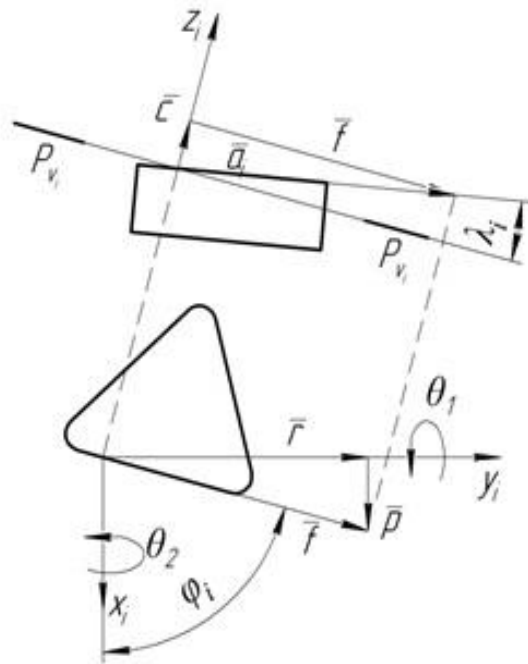


Рисунок 2.10 -Визначення координат вектора, дотичного до головної різальної кромки в ІСК

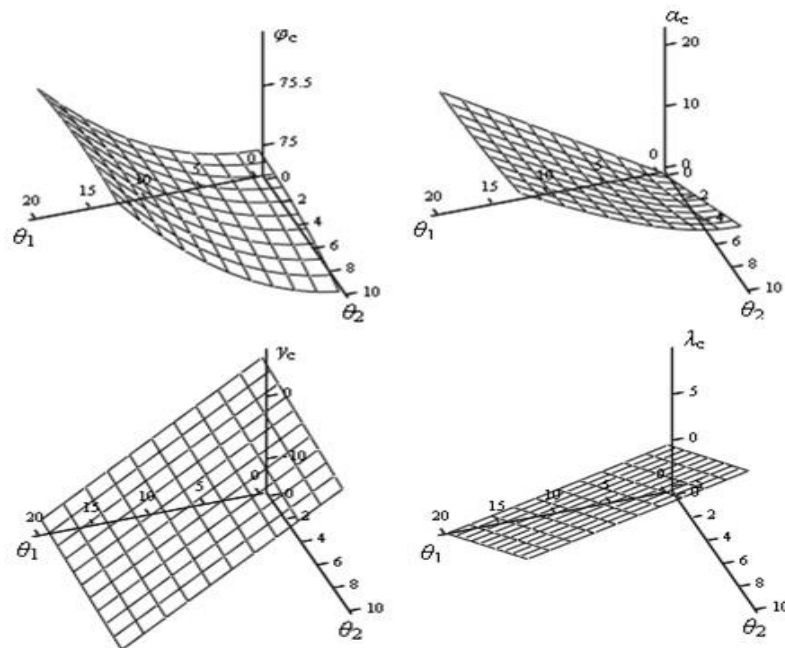


Рисунок 2.11 – Графіки залежності геометричних параметрів леза від кутів встановлення багатогранної непереточуваної пластини в корпусі інструмента

2.5. Аналіз шляхів підвищення ефективності торцевого фрезерування плоских поверхонь деталей із важкооброблюваних матеріалів збірними торцевими фрезами

Обробка плоских поверхонь заготовок торцевими фрезами дозволяє забезпечувати високі показники продуктивності та якості. Тому подальше вдосконалення конструкцій фрез є досить актуальним. Зокрема підвищення ефективності торцевого фрезерування інструментом, що містить ріжучі вставки з п'ятигранними пластинами, може йти шляхом модернізації вузлів кріплення ріжучих вставок.

Одним із найефективніших варіантів оброблення відносно «широких» поверхонь деталей із важкооброблюваних матеріалів у теперішній час є застосування збірних конструкцій фрез з механічним кріпленням багатогранних змінних пластин, основні конструктивні параметри яких нормуються існуючими стандартами [43].

Фрези з п'ятигранними змінними пластинами мають низку позитивних якостей. Наприклад, геометрія пластин забезпечують «м'яке» врізання в метал, що обробляється, є більша кількість змінних граней (у порівнянні з трьох- і чотиригранними пластинами). Існуючі фрези з п'ятигранними твердосплавними пластинами (ГОСТ 22085-76, ГОСТ 26595-85) мають недоліки, наприклад, малу кількість ріжучих ножів (вставок), що веде до зниження продуктивності фрезерування, а також неможливості здійснення точного налаштування положення ріжучої кромки, що є важливим для чистового фрезерування. Не завжди забезпечується і надійність кріплення ріжучих елементів, особливо під час роботи з вібраціями та «на удар».

Для підвищення надійності кріплення різальних ножів у корпусі інструменту прагнуть забезпечити збіг напрямку дії сили затискача ріжучого ножа з напрямком дії головної складової сили різання P_z . Так, ріжучі ножі, що містять державку, зазвичай закріплюють у цьому напрямку клинами або торцями гвинтів [32, с.37].

2.6. Застосування конічних гвинтів для кріплення ріжучих вставок із п'ятигранними пластинами у збірних торцевих фрезах

На сьогоднішній день розроблено велику кількість конструкцій збірних торцевих фрез, що містять циліндричні ріжучі вставки. Зазначені фрези можуть мати ріжучі елементи типу пластин різної форми, у тому числі і п'ятигранні [33]. Для кріплення ріжучих вставок та здійснення можливості регулювання величини їхнього «осьового вильоту» щодо корпусу інструменту використовують гвинти з конічною робочою частиною [34]. Налаштувальні переміщення вздовж отвору корпусу фрези та закріплення застосованої тут циліндричної ріжучої вставки проводять шляхом почергового входження конічних ділянок двох гвинтів у відповідні радіальні отвори ріжучої вставки (рис. 2.12).

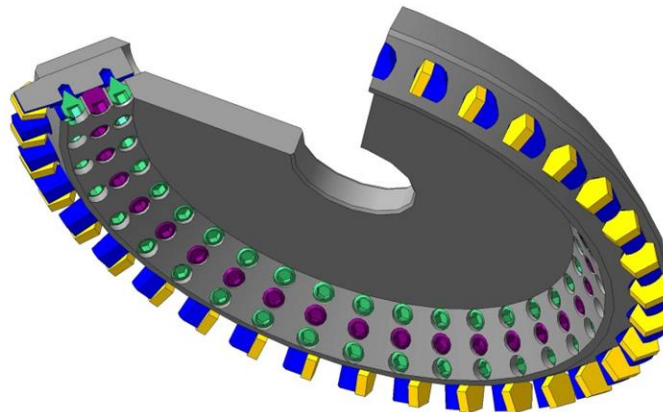


Рисунок 2.12 – Регульована торцева фреза, що містить ріжучі вставки із п'ятигранними пластинами

Осі зазначених радіальних отворів вставки виконані зі зміщенням у протилежних напрямках щодо осей відповідних їм гвинтів з конічними поверхнями, що контактують.

Запропоновані також інші конструкції збірної регульованої торцевої фрези, що дозволяє підвищити жорсткість і надійність інструменту (рис.2.14 та 2.15).

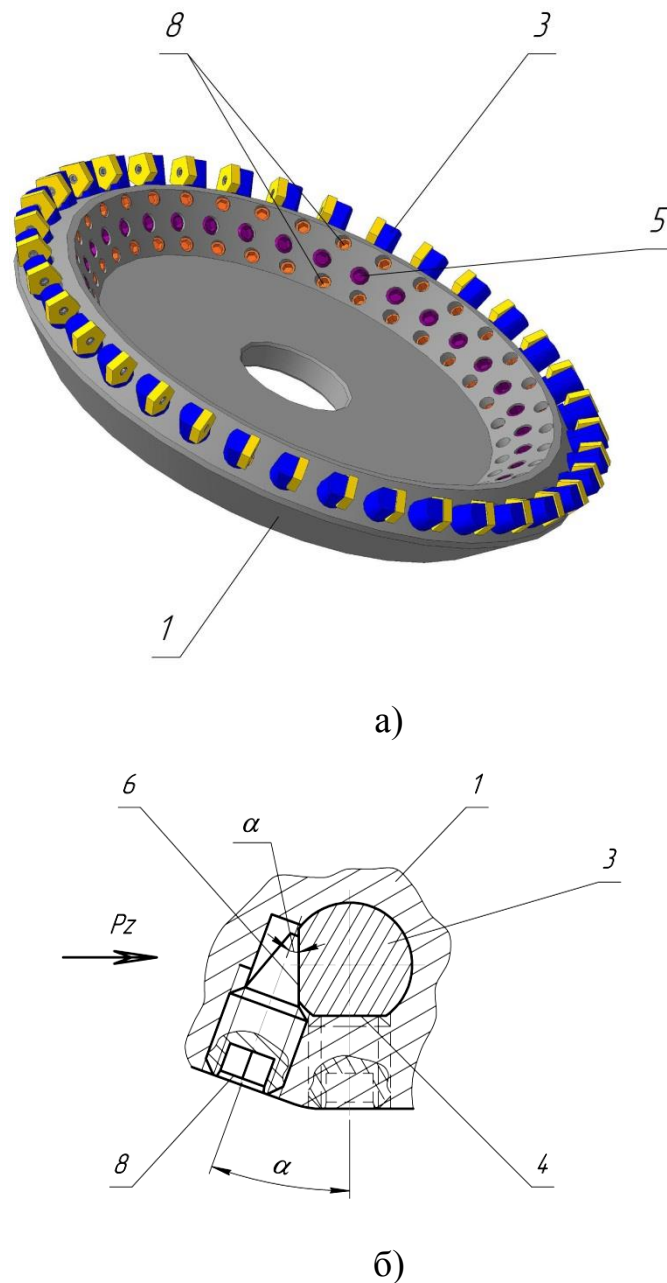


Рисунок 2.14 – Торцева фреза з п'ятигранними ріжучими пластинами (а)
та вузол кріплення ріжучої вставки (б)

Торцева фреза містить корпус 1, в циліндричних отворах якого 2 встановлені ріжучі вставки 3. Ріжуча вставка 3 закріплена по напрямній лисці 4 гвинтом 5 з плоскою торцевою контактною поверхнею. Гвинти 5 розташовані в різьбових отворах корпусу 1. Лиска 6 розташована з боку передньої поверхні 7 різальної частини ріжучої вставки 3, площина лиски 6 виконана перпендикулярною до площини напрямної лиски 4. Лиска 6 призначена для контакту з конічними поверхнями двох додаткових гвинтів 8. Осі двох додаткових гвинтів 8 розміщені в

площині, нахиленої щодо площини лиски b на кут α , що дорівнює куту утворюючої конічної поверхні додаткових гвинтів [35, 36].

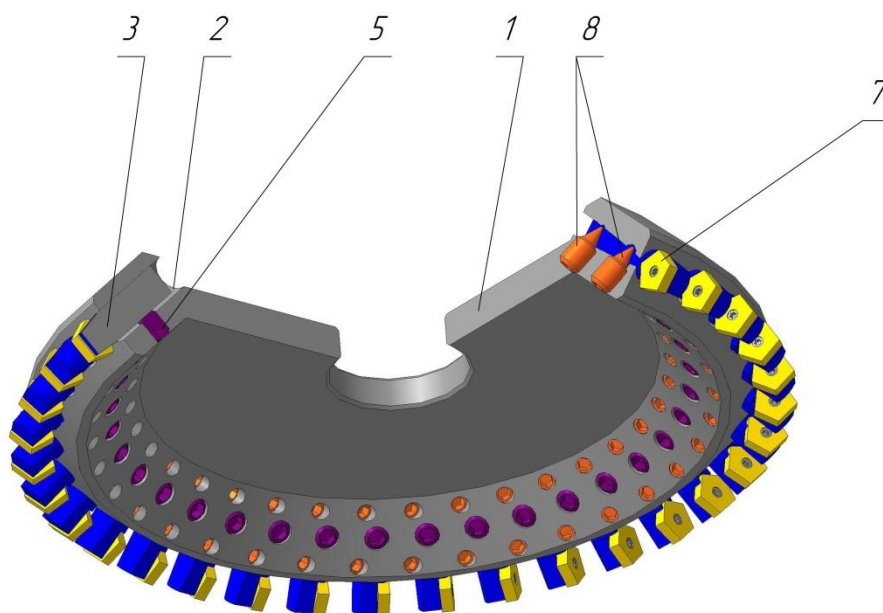


Рисунок 2.15 – Розріз торцевої фрези

При складанні торцевої фрези ріжучу вставку 3 встановлюють зовнішньою циліндричною поверхнею в отвір 2 корпусу 1. Закріплення ріжучої вставки 3 в корпусі 1 здійснюють за допомогою гвинта 5 з плоскою торцевою контактуючою поверхнею і двох додаткових гвинтів 8 з конічними контактуючими поверхнями. Гвинти 8 закріплюють ріжучу вставку 3 з боку передньої поверхні 7 різальної частини ріжучої вставки 3 у напрямку дії головної складової сили різання P_z , що виникає при фрезеруванні.

Проведене моделювання деформацій, напружень і переміщень торцевої фрези та ріжучої вставки в «Solidworks» показало наявність високої жорсткості розглянутої конструкції: максимальні деформації від розрахункових сил різання не перевищують допустимих значень (рис. 2.16).

Таким чином, були розглянуті питання, пов'язані із застосуванням у збірних торцевих фрезах конічних гвинтів для закріплення ріжучих вставок із п'ятигранними пластинами. Зазначені фрези в порівнянні з існуючими дозволяють

мінімізувати торцеве биття ріжучих елементів, а також підвищити надійність та жорсткість всього інструменту загалом.

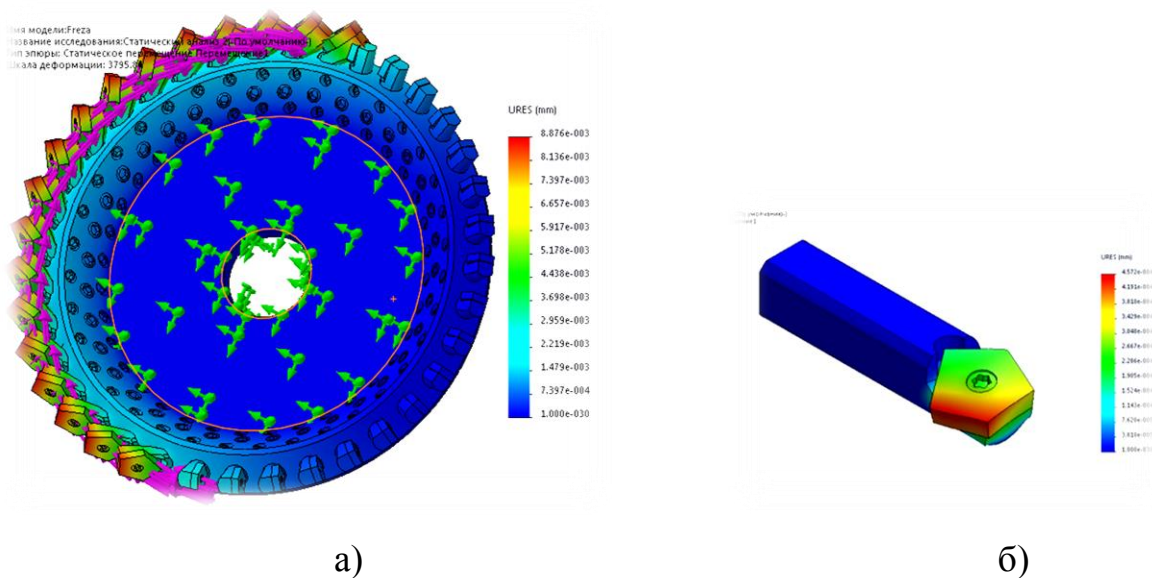


Рисунок 2.16 – Моделювання в «Solidworks» деформацій торцевої фрези (а) та ріжучої вставки (б)

2.7. Аналіз способів регулювання положення ріжучих вставок у збірних торцевих фрезах

Значна кількість деталей мають плоскі поверхні. Для обробки площин заготовок часто використовують торцеві фрези. У деяких конструкціях збірних торцевих фрез різальними елементами є ріжучі вставки, які мають циліндричну або іншу форму.

Ріжучі вставки містять кріпильну частину, а також різальні елементи, що здійснюють процес різання при фрезеруванні. Від точності розташування різальних кромки даних елементів залежить продуктивність та якість обробки поверхонь заготовок. Існує два основних підходи у забезпеченні точності положення ріжучих вставок у збірних торцевих фрезах:

- збірні фрези виконують нерегульованими, тобто ріжучі вставки під час складання встановлюються в конкретне положення, що забезпечує необхідну точність розташування різальних кромки корпусу інструмента;

- збірні фрези виконують регульованими, тобто. ріжучі вставки мають можливість настроювальних переміщень щодо корпусу інструмента.

Регулювання положення ріжучих вставок дозволяє підвищити точність налаштування фрези, чим мінімізується величина торцевого та радіального биття різальних елементів.

Забезпечення можливості регулювання ріжучих вставок розглянуто численною кількістю дослідників. Наприклад, у публікації [37] наведено інформацію про фрези, що дозволяють змінювати положення різального елемента щодо корпусу інструмента.

Можливість регулювання передбачена в збірній торцевій фрезі з циліндричними ріжучими вставками, оснащеними надтвердими матеріалами [45, с. 345]. Ріжучі вставки закріплені по лискам гвинтами, які встановлені в різьбових отворах корпусу фрези. У кожній ріжучій вставці є радіальний отвір, вісь якого перпендикулярна до осі вставки. При цьому напроти радіального отвору вставки в корпусі фрези виконано відповідний отвір, призначений для взаємодії із зовнішнім важелем для регулювання осьового положення вставки щодо корпусу фрези. Недоліком цього рішення є те, що здійснення процесу регулювання величини «осьового вильоту» ріжучої вставки можливе лише з одного боку корпусу фрези, що не завжди є зручним для обслуговуючого персоналу [39].

Застосування гвинта для регулювання осьового положення ріжучої вставки розглянуто у технічному рішенні [40]. При цьому кожен із чорнових ріжучих елементів утримується спеціальним конусом і регулюється в осьовому напрямку мікрометричним гвинтом щодо корпусу вузла демпфування.

У роботі [46] досліджено торцеві фрези з регулюванням ріжучих ножів, оснащених полікристалічними надтвердими матеріалами. Схема встановлення та регулювання спеціальних «картриджів» з конічними та циліндричними різальними елементами включає наявність гнізда циліндричної форми в корпусі фрези, а також застосування стопорних гвинтів та затискних гвинтів у різьбових втулках.

Для підвищення точності устанавлення циліндричної ріжучої вставки шляхом врівноваження осьових сил і стабілізації сил закріплення, у технічному

рішенні [47] запропоновано використання регулювально-затискних гвинтів та пробки з наскрізним пазом. Це дозволяє здійснювати орієнтацію різальних кромок шляхом повороту ріжучої вставки навколо осі, регулювання положення в осьовому напрямку, а також закріплення вставки.

Можливість регулювання ріжучих вставок за діаметром фрези, а також кута установлення пластин в корпусі, розглянуті в дослідженні [48]. Автором встановлено вплив конструктивних параметрів вузлів кріплення ріжучих вставок та регулювальних елементів проєктованих фрез на точність розташування різальної кромки щодо осі фрези – до регулювання ріжучих вставок на заданий розмір та в процесі регулювання, що дозволяє забезпечити фрезерування мірних пазів із заданою точністю. Це дозволяє також здійснювати обробку за один прохід пазів різної ширини та профілю, підвищити продуктивність фрезерування, скоротити частку витрат на інструмент у вартості деталі. Спроектвана для обробки пазів збірна торце-кінцева фреза [49] з різальними елементами із надтвердих матеріалів забезпечує можливість регулювання в радіальному напрямку за допомогою ексцентрикової втулки. При цьому також враховано можливість повороту ріжучої вставки навколо поздовжньої осі і осьового зміщення щодо поздовжньої осі дискового корпусу фрези.

Виходячи з розглянутих досліджень можна зробити висновок, що наявність регулювання різальних елементів у різних напрямках сприяє підвищенню точності налаштування фрези та покращенню якості обробленої поверхні. Тому розробка технічних рішень, що дозволяють регулювати положення ріжучої вставки в корпусі збірного інструмента, є дуже актуальним завданням.

Таким чином, метою роботи є пошук шляхів реалізації регулювання ріжучих вставок у збірних торцевих фрезах

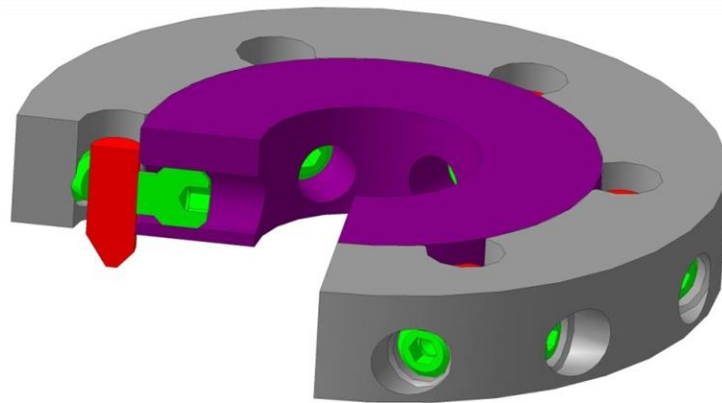
Насамперед слід розуміти, що наявність торцевого биття різальних кромок впливає на якість фрезерування: оброблену поверхню при цьому формують тільки різальні кромки, що найбільш виступають в осьовому напрямку, а решта – або «прогулюють», або при великих подачах (що характерно для фрез із надтвердих матеріалів) погіршують мікро- і макрогеометрію одержуваної площини. Підвищене

радіальне биття різальних кромок призводить до нерівномірності навантаження на ріжучі ножі, що тягне за собою швидке зношування найбільш виступаючих у радіальному напрямку різальних кромок, а також погіршення динаміки процесу різання. Всі ці негативні наслідки підвищених величин биття можуть бути компенсовані можливістю додаткового регулювання положення різальних кромок. Крім того, часто під час досліджень потрібно забезпечити нерівномірний крок розташування ріжучих вставок або зробити ступінчасту схему зняття припуску. Це можна виконати шляхом проектування (промальовування, розрахунків) точного розташування встановлювальних гнізд-отворів під ріжучі вставки в корпусах фрез. Однак це можна забезпечити і шляхом надання ріжучій вставці можливостей в досить широкому діапазоні (кілька міліметрів) змінювати своє осьове, радіальне та кутове положення щодо корпусу фрези.

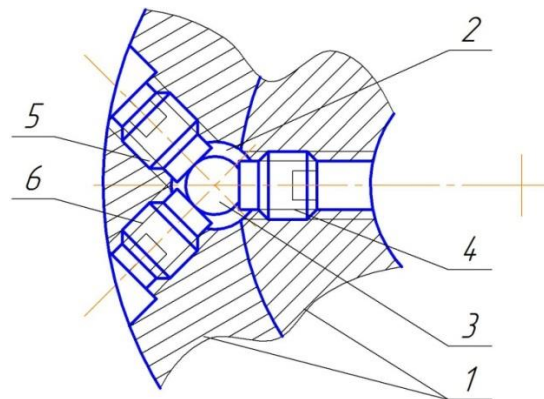
Одним з таких технічних рішень, що дозволяє реалізувати вищезгадані можливості, є конструкція збірної торцевої регульованої фрези (рис. 2.17).

Торцева фреза містить корпус 1, в отворах якого розташовані циліндричні ріжучі вставки 3 з плоскими лисками, по яких вставки 3 закріплені за допомогою кріпильних гвинтів 4 (рис. 2.17). Вставка 3 встановлена циліндричною поверхнею на плоскі торці опорних гвинтів 5 і 6, осі яких у проекції на площину, перпендикулярну осі вставки, розташовані з різних сторін від осі гвинта 4. При складанні фрези в корпус 1 вкручуються гвинти 4 - 6, що виходять своїми торцями в отвір 2. Діаметр зазначеного отвору 2 виконують конструктивно в залежності від вимог до величини регулювання положення ріжучої вставки 3 (діаметр отвору 2 більше діаметра циліндричної частини ріжучої вставки 3). Вставку 3 встановлюють зовнішньою циліндричною поверхнею на торці гвинтів 5 і 6 та закріплюють гвинтом 4 по плоскій лисці. Для здійснення регулювання положення вставки 3 переміщують гвинти 5 і 6, а також гвинт кріплення 4, обертаючи їх навколо своєї осі. Якщо необхідно ще й забезпечити можливість встановлювального обертання ріжучої вставки 3 навколо своєї осі (змінювати при налаштуванні кут повороту різальних кромок), то лиску на циліндричній частині вставки 3 не виконують. Однак в цьому випадку знижується надійність кріплення ріжучої вставки, оскільки

сили тертя утримуватимуть вставку від повороту або осьового зміщення тільки по малих (лінійних) поверхнях контакту вставки з торцями кріпильних гвинтів. Така схема є прийнятною лише за невеликих сил різання, наприклад, для чистових фрез, оснащених надтвердими матеріалами, що працюють з малими глибинами різання.



а)



б)

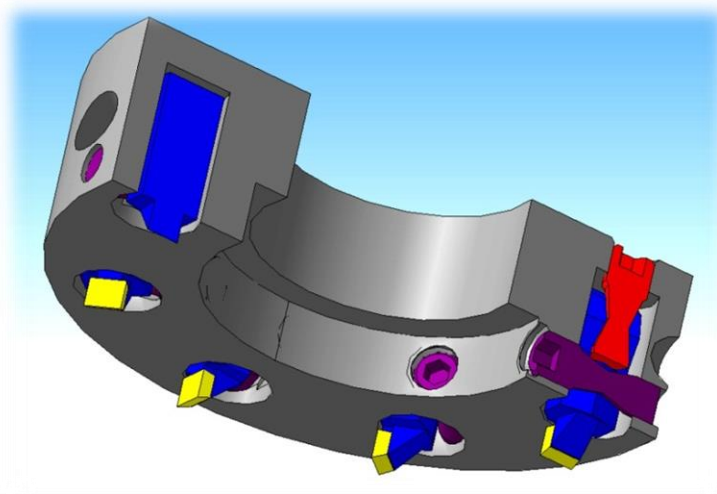
Рисунок 2.17 – Торцева регульована фреза [45]: 3D-модель фрези з вирізаною чвертю (а) та розріз вузла кріплення ріжучої вставки фрези (б)

Таким чином, можливість зміни положення ріжучої вставки щодо корпусу інструмента в будь-якому напрямку, перпендикулярному осі отвору під вставку (а також вздовж осі зазначеного отвору), дозволяє не тільки підвищувати точність налаштування, зменшуючи биття різальних кромek, але й розбивати крок вставок у корпусі, роблячи його рівномірним чи нерівномірним залежно від умов роботи фрези.

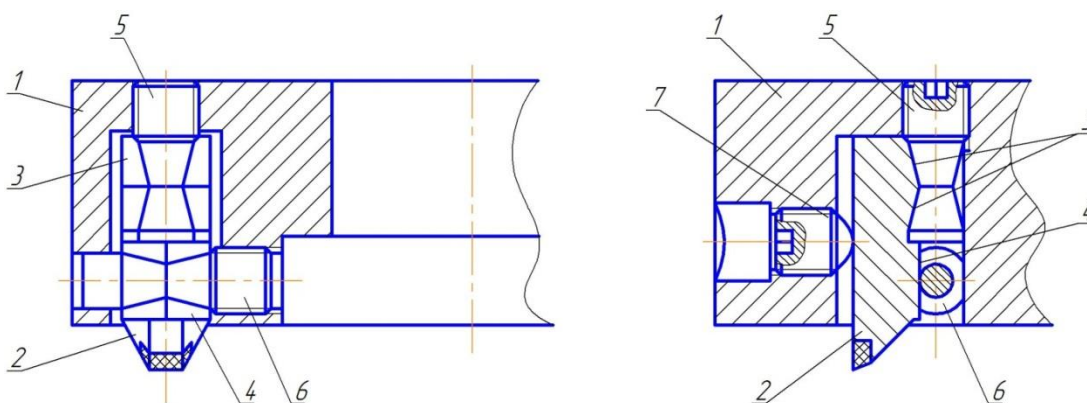
Іншим технічним рішенням, що дозволяє здійснювати регулювання в широкому діапазоні положення ріжучої вставки в корпусі фрези, є конструкція інструмента [45]. Розглянута торцева фреза містить корпус 1, в якому встановлена ріжуча вставка 2 з V-подібними поверхнями 3 до різальної та хвостової частини (рис. 2.18). На ріжучій вставці виконані додаткові V-подібні поверхні 4, повернені на 90° щодо перших і розташовані з тієї ж сторони ріжучої вставки. Ріжуча вставка 2 V-подібними поверхнями 3 і 4 встановлена на конічні поверхні гвинтів 5 і 6 і затиснута кріпильним гвинтом 7.

Складання даної торцевої регульованої фрези здійснюють наступним чином. У корпус 1 фрези вкручують гвинти 5 і 6, а також кріпильний гвинт 7. Потім встановлюють ріжучу вставку 2 з V-подібними поверхнями 3 і 4 на конічну поверхню гвинта 5 та на конічну поверхню гвинта 6, після чого вставку 2 затискають кріпильним гвинтом 7. Оскільки вектор сили закріплення від гвинта 7 проходить між V-подібними поверхнями 3 і 4, то вставка 2 надійно притискається до обох гвинтів 5 і 6, чим забезпечується надійна фіксація вставки 2 в корпусі 1 фрези. Для здійснення регулювання положення ріжучої вставки 2 щодо корпусу 1 перед закріпленням вставки 2 обертають гвинти 5 і 6, чим викликають налаштування вставки 2 в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Техніко-економічна ефективність запропонованої конструкції торцевої регульованої фрези полягає у можливості регулювання положення ріжучої вставки щодо корпусу фрези як в осьовому, так і в радіальному напрямках, чим підвищується точність налаштування фрези. Наявність двох V-подібних поверхонь, розташованих під кутом 90° один до одного, не дозволяє вставці після її закріплення здійснювати будь-які переміщення щодо корпусу інструмента в процесі роботи фрези, чим підвищується надійність інструмента.



а)



б)

Рисунок 2.18 – Торцева регульована фреза згідно [45]:

3D-модель фрези (а) та розрізи фрези (б)

Відповідно до статистичної інформації посилання на дане технічне рішення мають два патенти іноземних авторів:

- патент RU2493942C2 (власник патенту: ISCAR LTD (Ізраїль); автор: Amir Satran (Ізраїль);

- патент RU2443512C2 (власник патенту: KENNAMETAL INC. (США); автор: Jurgen Pushmann-Frenken (Німеччина).

Ще одним технічним пристроєм, який є логічним удосконаленням згаданого вище [38, с. 345], є конструкція збірної торцевої фрези (рис. 2.19). Ця розробка дещо спрощує конструкцію корпусу інструмента при збереженні можливості здійснення регулювання осьового положення вставки щодо фрези. Це стає

МОЖЛИВИМ ЗАВДЯКИ ВИКОНАННЮ В ГВИНТІ КРІПЛЕННЯ НАСКРІЗНОГО ОТВОРУ ДЛЯ СПИРАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ВАЖЕЛЯ.

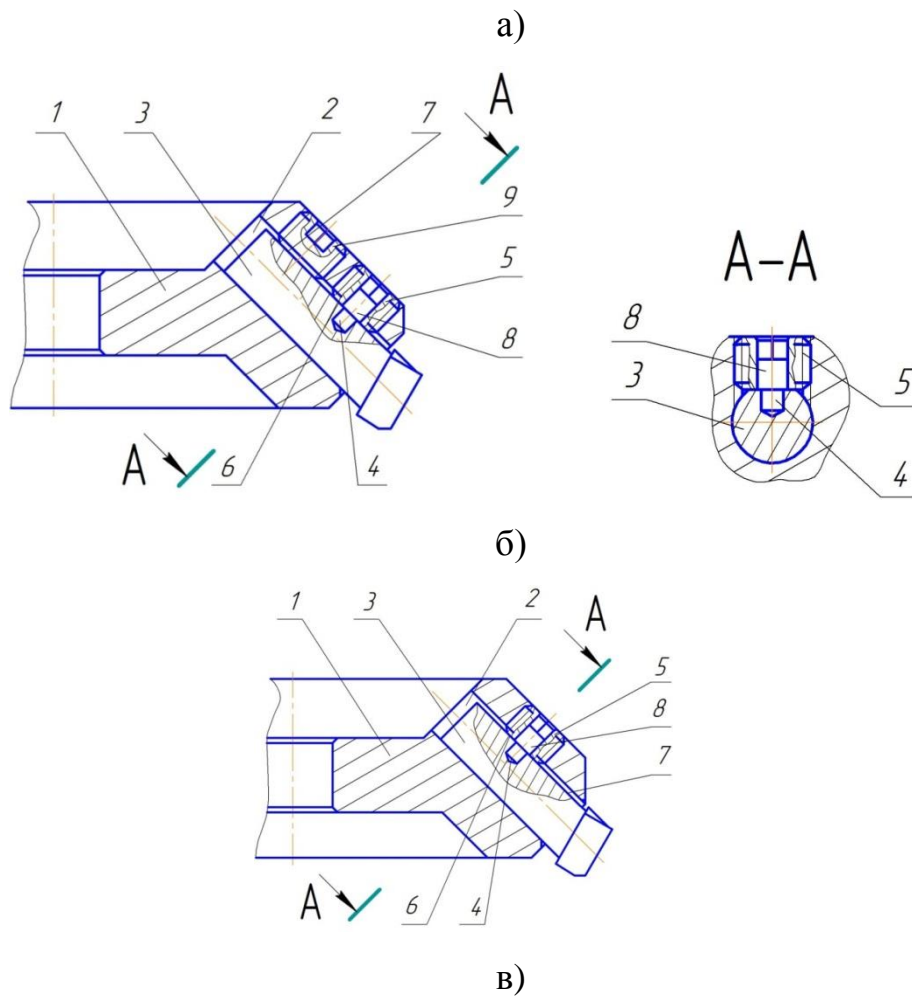
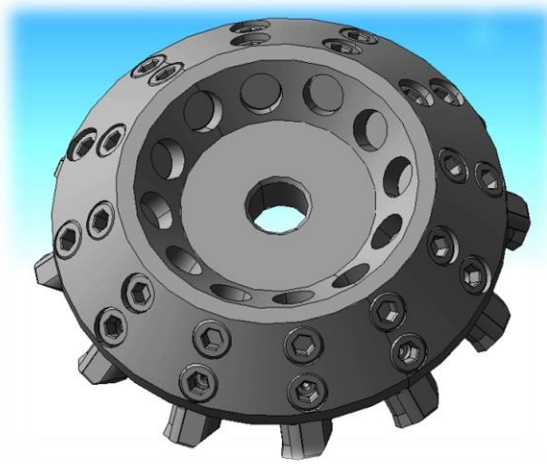


Рисунок 2.19 – Торцева фреза з наскрізним отвором на кріпильному гвинті [45]:
3D-модель фрези (а) та розрізи фрези (б, в)

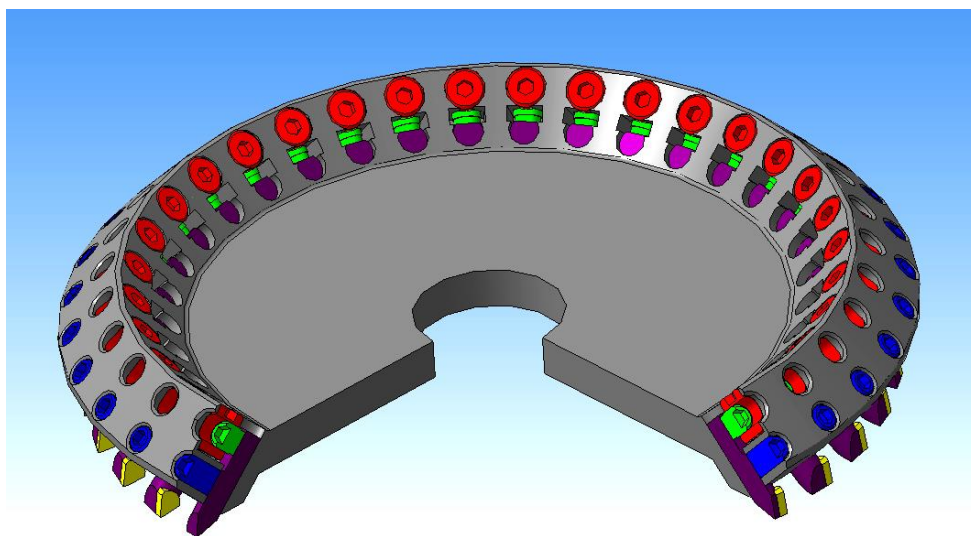
Запропонована торцева фреза містить корпус 1, в отворах 2 якого встановлені циліндричні ріжучі вставки 3 з радіальними отворами 4, осі яких перпендикулярні осям ріжучих вставок. Кожна вставка 3 закріплена гвинтом 5 шляхом контакту торцевої поверхні 6 гвинта 5 по плоскій бічній лисці 7 на зовнішній поверхні вставки 3. Гвинт 5 містить наскрізний отвір 8, виконаний уздовж його осі, і діаметр якого відповідає діаметру радіального отвору 4 ріжучої вставки 3. З метою підвищення надійності вставка 3 може бути закріплена додатковим гвинтом 9.

Осьове положення ріжучої вставки 3 щодо корпусу 1 регулюють шляхом введення зовнішнього важеля (не показаний) через наскрізний отвір 8 в гвинті 5 в радіальний отвір 4 ріжучої вставки 3. Закріплення вставки 3 здійснюють за допомогою гвинтів 5 і 9 по плоскій бічній лисці 7.

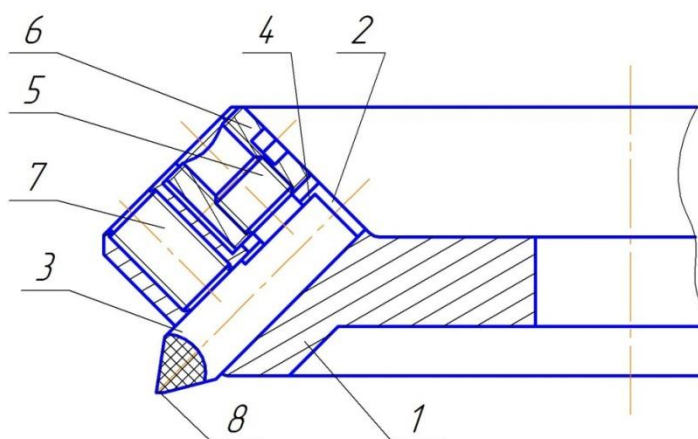
Наявність радіального отвору в кріпильному гвинті, призначеного для спірання зовнішнього важеля під час регулювання осьового положення вставки, дозволяє відмовитися від необхідності виготовлення такого ж отвору в корпусі інструмента. Оскільки корпус торцевої фрези технологічно і конструктивно є більш складним, ніж гвинт, відсутність зайвих отворів в корпусі фрези значно зменшує трудомісткість його проектування і виготовлення.

Таким чином, для циліндричних ріжучих вставок торцевих фрез регулювання положення різальних кромки може здійснюватися в осьовому напрямку (для зменшення торцевого биття), в радіальному напрямку (для зменшення радіального биття), а також обертанням вставки навколо власної осі (для зміни кутів різання і положення зачистної різальної кромки). Для повороту ріжучої вставки навколо своєї осі з метою регулювання положення зачистної різальної кромки, наприклад, в технічному рішенні [56], використано регулювальний гвинт, розташований в різьбовій втулці. Даний регулювальний гвинт призначений для взаємодії з лискою ріжучої вставки, при цьому контакт торця гвинта з поверхнею лиски у всіх положеннях буде точковий, і тільки в двох позиціях – по площині. Кріпильний гвинт зі сферичним торцем також контактує з поверхнею ріжучої вставки в точці, тому в підсумку, через переважно точкові контакти, надійність закріплення вставки буде невисокою. Цих недоліків позбавлена конструкція торцевої регульованої

фрези згідно [52], де контакт регульовального гвинта завжди здійснюється по площині, а кріпильного гвинта – по лінії, тобто надійність закріплення ріжучої вставки істотно вище. Наприклад, торцева регульована фреза (рис. 2.20) дозволяє робити настроювання положення ріжучої вставки як шляхом осьового переміщення вставки, так і її кутового повороту.



а)



б)

Рисунок 2.20 – Торцева регульована фреза згідно [52]:
3D-модель фрези з вирізаною чвертю (а) та розріз вузла кріплення ріжучої вставки фрези (б)

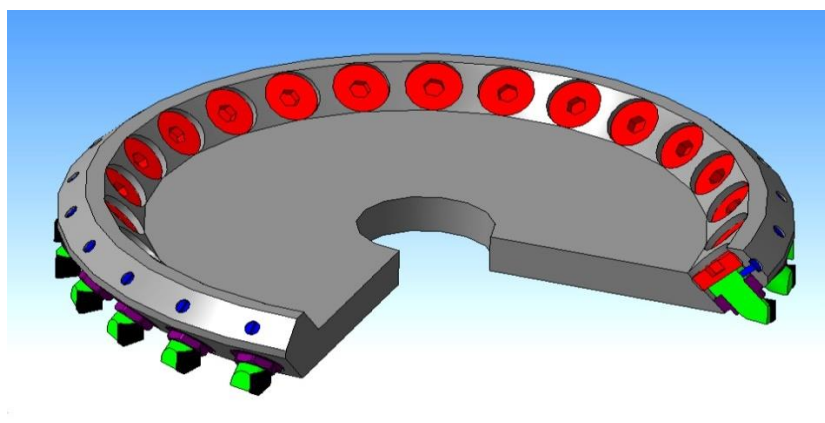
Фреза містить корпус 1, в отворах 2 якого встановлено ріжучі вставки 3 з плоскою лискою 4, виконаної у вставці на ділянці взаємодії з допоміжним регулювальним гвинтом 5. Зазначений регулювальний гвинт 5 розташований в різьбій втулці 6 перпендикулярно до її осі, а сама втулка – в отворі корпусу, паралельному отвору під ріжучу вставку. Кріплення вставки здійснюється гвинтом 7. Регулювання положення зачистної фаски 8 ріжучої вставки здійснюється шляхом повертання вставки навколо своєї осі. При цьому різьбову втулку 6 обертають, домагаючись паралельності площині лиски 4 вставки і площини торця регулювального гвинта 5. Після цього вставку затискають за допомогою регулювального гвинта 5 і остаточно фіксують кріпильним гвинтом 7. Таким чином, у запропонованій конструкції збірної торцевої регульованою фрези підвищено надійність інструмента за рахунок забезпечення площинного контакту регулювального гвинта з лискою ріжучої вставки.

Регулювання положення ріжучої вставки щодо корпусу інструмента передбачено також в технічному рішенні [52] (рис. 2.21).

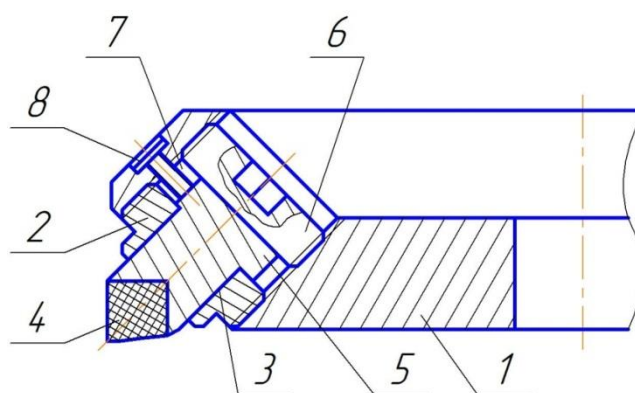
Дана торцева фреза складається наступним чином. У корпус 1 фрези вкручують гвинт 2 і встановлюють напрямний штифт 8. У центральний отвір 3 гвинта 2 вставляється по посадці з мінімальним зазором ріжуча вставка 4 так, щоб штифт 8 потрапив в паз 7 кільцевого буртика 5 і торець останнього ліг на торцеву поверхню гвинта 2. Потім вкручують гвинт 6, який притискає буртик 5 до гвинта 2, що забезпечує фіксацію вставки 4. Для здійснення осьового регулювання вставки 4 здійснюють обертання розкріплених гвинтів 2 і 6, після чого їх знову фіксують. При необхідності регулювання положення вставки 4 шляхом її обертання навколо власної осі штифт 8 в конструкції фрези не використовують.

Крім можливостей регулювання, ця торцева фреза має і інші переваги: введення в інструмент опорних гвинтів з отворами для розміщення ріжучих вставок дозволяє зменшити осьовий габарит вставки, який визначається висотою самих гвинтів. Виконання буртиків на вставках для взаємодії з торцями опорних гвинтів також сприяє зменшенню осьових розмірів вставки: висота буртика незначна в порівнянні із загальною висотою вставки. Оскільки після осьового регулювального

переміщення вставки остання закріплюється по кільцевому буртику і бокова поверхня вставки в закріпленні участі не приймає, це дозволяє мати осьову довжину вставки значно меншу, ніж у відомих фрезах (наприклад, відповідно до [47, 56]), чим підвищується компактність вузла кріплення ріжучої вставки і розширюються технологічні можливості фрези.



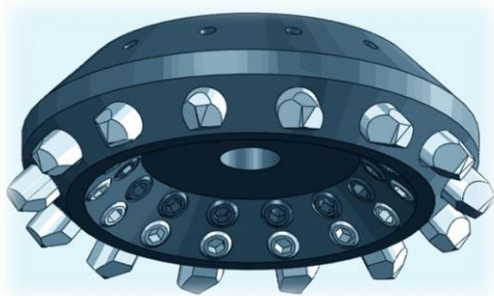
а)



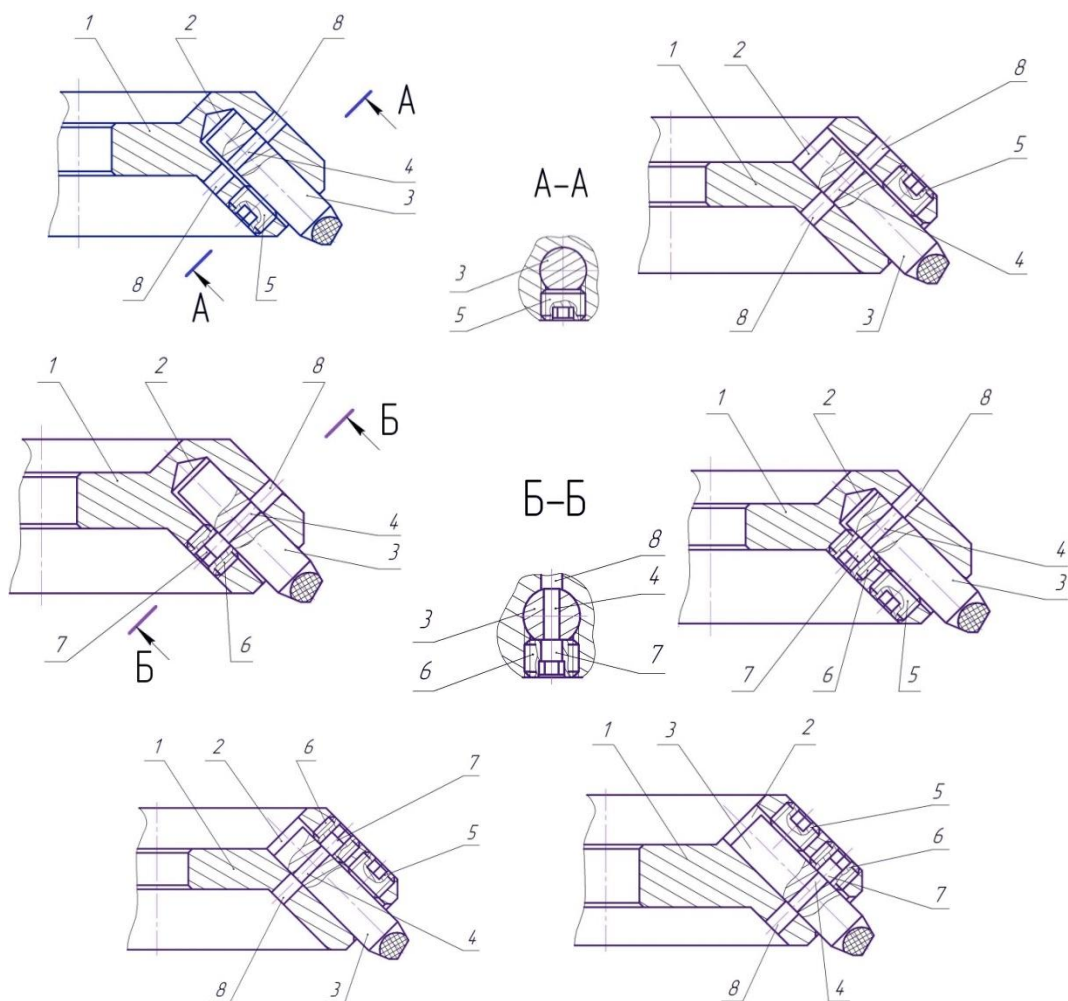
б)

Рисунок 2.21 – Торцева фреза згідно з [52]: 3D-модель фрези з вирізаною чвертю (а) та розріз вузла кріплення ріжучої вставки фрези (б)

На рис. 2.22 показано 3D-модель запропонованої фрези (а) і розрізи різних варіантів виконання інструменту (б).



a)



б)

Рисунок 2.22 – Ріжучий інструмент згідно з [56]: 3D-модель торцевої збірної фрези (а) та розрізи різних варіантів виконання фрези (б)

Така регульована торцева фреза складається наступним чином. Ріжучу вставку 3 встановлюють циліндричною поверхнею в отвір 2 корпусу 1 інструмента. Закріплення вставки 3 здійснюють за допомогою гвинта 5, або гвинта 6 (якщо

кріпильний гвинт один), або обома гвинтами 5 і 6 одночасно (якщо кріпильних гвинтів два).

Осьове положення ріжучої вставки 3 щодо корпусу 1 регулюють шляхом введення зовнішнього важеля (не показаний) через наскрізний отвір 8 в корпусі 1 (або через отвір 7 в гвинті 6) в радіальний отвір 4 в ріжучій вставці 3. При цьому зовнішній регулювальний важіль може бути введений в контакт з отвором 4 ріжучої вставки 3 з будь-якого боку корпусу 1 в залежності від зручності роботи.

Запропоновані технічні рішення, завдяки удосконаленню вузла кріплення ріжучої вставки, дозволяють зробити його зручнішим для регулювання положення вставки [56].

Висновки до розділу 2

1. В роботі визначено фактори, що обмежують можливість обробки біметалічних дисків з фрикційними покриттями на зубодовбальних верстатах, а саме: жорсткість верстата, маса рухомих частин верстата, різниця твердості основи диска та фрикційного шару, стійкість зуборізного довбача, та гранична швидкість різання.

2. Враховуючи технічні можливості наявного обладнання визначено ефективний за критерієм максимальної продуктивності і стійкості інструменту режим оброблення: 112 подвійних ходів, максимальна кількість дисків в пакеті 9 (товщина диску 6мм), колова подача 0,31мм/подв.рух, кількість проходів -1.

4. Доказано, що для збільшення вібростійкості процесу зубодовбання необхідно забезпечити максимально можливу швидкість різання а також масу рухомих частин для збільшення сили інерції, яка може компенсувати коливання сили різання внаслідок різної твердості в пакеті деталей.

5. Запропонована методика *моделювання положень змінних багатогранних пластин на корпусі різального інструмента* дозволяє визначити положення базових поверхонь на корпусі інструменту для розміщення вибраної вставки. Це забезпечує оптимізацію геометричних параметрів його лез у статичній системі координат.

6. Використовуючи математичну модель розміщення змінних багатогранних пластин на корпусі різального інструмента (формули (5 – 7, 9)) можна досягати максимального наближення до оптимальних значень геометричних параметрів лез при проектуванні складеного інструмента з використанням індексованих вставок.

7. З метою забезпечення регулювання положення ріжучої вставки щодо корпусу інструмента запропоновано конструкцію збірної торцевої фрези, в якій вставка встановлена зовнішньою поверхнею на плоскі торці трьох гвинтів.

8. Для забезпечення регулювання положення ріжучої вставки в осьовому та радіальному напрямках запропонована конструкція збірної торцевої фрези, що містить ріжучу вставку з двома V-подібними поверхнями, розташованими під кутом 90° один до одного. При цьому вставка встановлена на конічні поверхні двох гвинтів і затиснута гвинтом.

9. В роботі запропоновано конструкцію збірної торцевої фрези, в якій для забезпечення регулювання положення ріжучої вставки, здійснюється контакт по площині регулювального гвинта з лискою ріжучої вставки. Зазначений площинний контакт сприяє підвищенню надійності роботи не тільки вставки, але й інструменту в цілому.

10. Запропоновано у збірній торцевій фрезі використовувати опорні гвинти з отворами для розміщення ріжучих вставок, що дозволяє забезпечити можливість регулювання положення ріжучих вставок, зменшити осьові габарити вузла кріплення ріжучої вставки, а також розширити технологічні можливості фрези.

3 ПОЛПШЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА ОСНАЩЕННЯ ГНУЧКИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

3.1 Переналагоджувані верстатні пристрої

Перспективні технічні рішення переналагоджуваних верстатних пристроїв для оброблення деталей типу тіл обертання та плоских деталей на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах

Переналагоджувані верстатні пристрої (ВП) вже давно успішно використовуються на машинобудівних підприємствах провідних країн Світу. Проте вони не є стандартизованими, як наприклад лещата та токарні патрони, поворотні столи, ділильні головки і т.д., та виготовляються під певну номенклатуру деталей чи виробів, що виготовляються на конкретному підприємстві.

Особливістю даних ВП є те, що вони за рахунок можливості руху установлювально-затискних елементів здатні виконувати базування та закріплення заготовок схожих за конструктивними особливостями у певному діапазоні розмірів. Це дозволяє суттєво скоротити номенклатуру спеціальних ВП, а також відмовитись від використання універсально-збірних пристроїв, які мають велику кількість елементів, потребують довготривалого налагодження та як правило мають недостатню жорсткість для оброблення з інтенсивними режимами різання, що сьогодні допускають сучасні металорізальні верстати та прогресивні різальні інструменти.

Тому науковцями Сумського державного університету в рамках виконання держбюджетних науково-дослідних робіт та під час виконання госпдоговірної діяльності були розроблені різні конструкції гнучких переналагоджуваних ВП для базування та закріплення деталей різних класів, таких як тіла обертання, корпусні деталі, плоскі деталі та деталі складної геометричної форми (важелі, шатуни, вилки, кронштейни і т.д.) на свердлильно-фрезерно-розточувальних операціях.

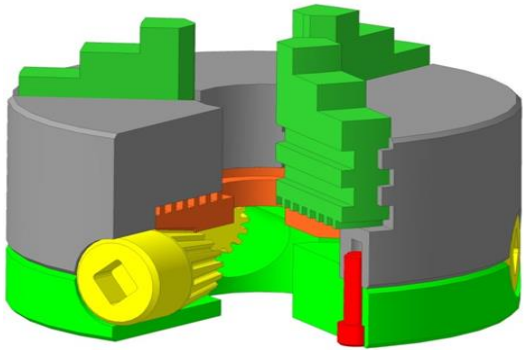
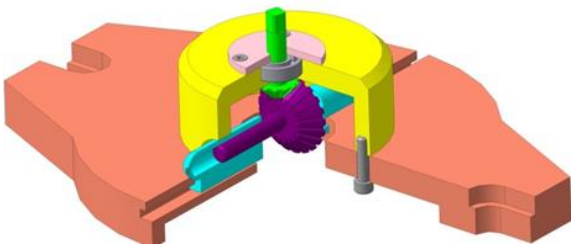
У процесі розроблення використовувались методи параметричної оптимізації та чисельне моделювання. Деякі конструкції впроваджені у виробництво. Усі

конструкції захищені патентами України на корисну модель. Приклади конструкцій та короткий опис їх службового призначення представлені в табл. 3.1.

Чисельні дослідження розроблених конструкцій ВП проводяться із застосуванням засобів скінченноелементного аналізу у програмному комплексі ANSYS, що відображається у наукових роботах студентів кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, які є призерами та переможцями відповідних Всеукраїнських конкурсів студентських наукових робіт.

Працездатність деяких конструкцій також підтверджується як експериментальними дослідженнями, так і засобами імітаційного моделювання. Працездатність деяких конструкцій також підтверджується як експериментальними дослідженнями, так і засобами імітаційного моделювання.

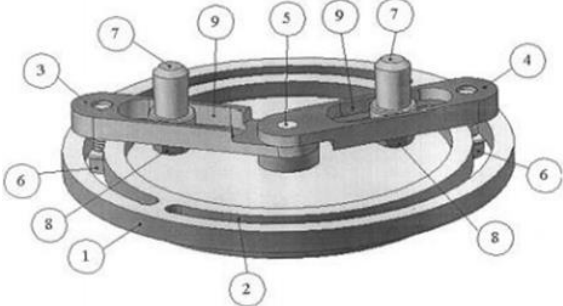
Таблиця 3.1 – Розроблені конструкції гнучких ВП, що захищені патентами України

Назва ВП та номер патенту	3D – модель конструкції ВП	Призначення ВП
Патрон трикулачковий самоцентруючий Патент № 113350		Установлення деталей типу тіл обертання, що потребують надійного закріплення з мінімальними похибками за зовнішніми та внутрішніми циліндричними поверхнями на токарних, фрезерних та свердлильних верстатах
Переналаджуваний базуючий модуль Патент № 105296		Базування деталей типу тіл обертання за внутрішніми циліндричними поверхнями на фрезерних та свердлильних верстатах

Продовження табл. 3.1

Назва ВП та номер патенту	3D – модель конструкції ВП	Призначення ВП
Переналагоджуваний базуючий модуль Патент № 95074		Базування деталей типу тіл обертання за внутрішніми циліндричними поверхнями на фрезерних та свердильних верстатах
Переналагоджувальний базуючий модуль Патент № 113147		Базування деталей за площиною на фрезерних та свердильних верстатах
Переналагоджуваний базуючий модуль Патент № 96399		Базування деталей за площиною на фрезерних та свердильних верстатах
Переналагоджуваний базуючий модуль Патент № 59745		Базування деталей за трьома площинами на фрезерних та свердильних верстатах
Переналагоджуваний базуючий модуль Патент № 67918		Базування деталей за площиною та двома отворами на фрезерних та свердильних верстатах

Закінчення табл. 3.1

Назва ВП та номер патенту	3D – модель конструкції ВП	Призначення ВП
Переналагоджуваний базуючий модуль Патент № 60130		Базування деталей за площиною та двома отворами на фрезерних та свердильних верстатах

Працездатність деяких конструкцій також підтверджується як експериментальними дослідженнями, так і засобами імітаційного моделювання.

Особливості проектування верстатних пристроїв для установлення деталей складної форми.

Широкі технологічні можливості сучасних верстатів із ЧПК обумовлені їх високою гнучкістю, підвищеною жорсткістю, потужністю і точністю обробки для їх ефективного використання вимагають застосування відповідного продуктивного різального інструменту та прогресивних ВП. У зв'язку з цим ВП для обробки деталей повинні забезпечувати необхідну точність розмірів, форми, та взаємного розташування поверхонь деталі, можливість швидкого переналагодження для випуску деталей іншого типорозміру того ж або подібного класу за рахунок наявності засобів механізації та автоматизації, що дозволить скоротити витрати допоміжного часу і, в результаті, зменшити собівартість виробу. Також до важливих показників слід віднести максимальне використання потужності обладнання, доступність до оброблюваних поверхонь заготовки та мінімізація або виключення похибки установлення, що у сукупності дозволить зменшити витрати основного часу та допоміжного часу, а в результаті – зменшити собівартість виробу. Серед основних характеристик ВП суттєве значення мають економічні показники, тобто необхідно прагнути до максимальної ефективності ВП при його мінімальній собівартості.

Основні вимоги до ВП були розглянуті у наукових працях, де були представлені як такі, що продиктовані зростанням технологічних можливостей обладнання, де вимоги були умовно розділені на 6 основних груп, та загальні технічні вимоги згідно з ГОСТ 31.0151.01-90. У роботі систематизовано та узагальнено вимоги до ВП, що висуваються у сучасних виробничих умовах, та зведено до табл. 3.2.

Проте найбільш вагомий внесок, при виборі певної конструкції ВП вносять вимоги: фізичні, точнісні та умови надійності закріплення. Як і в багатьох проектних ситуаціях має місце протиріччя між основними вимогами, що наведені в табл. 3.2. Наприклад ВП, що має велику масу може мати гарну стійкість, але бути не вигідним з економічної та експлуатаційної точок зору. Тому такі питання повинні вирішуватись оптимізаційними розрахунками, при яких враховувались би всі критерії з табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні вимоги до ВП та їх характеристика

Вимоги	Характеристика
Фізичні	1. Можливість встановлення заготовок з габаритними розмірами та масою, що відповідають технічній характеристиці. 2. Максимальна інструментальна доступність до оброблюваних поверхонь заготовки.
Точнісні	1. Похибка установлення у ВП повинна бути меншою за допуски на оброблювані поверхні. 2. Точність переналагодження установлювальних та затискних елементів ВП повинна бути вища, ніж точність оброблюваних деталей. 3. Точність виготовлення елементів ВП повинна бути на 1–2 квалітети вища, ніж точність деталей, що виготовляються у ньому.
Гнучкість	1. Забезпечення можливості обробки деталей у межах технічної характеристики верстата, тобто швидке переналагодження для випуску деталей іншого типорозміру того ж або подібного класу. 2. Час на переналагодження установлювальних та затискних елементів ВП при переході до обробки деталей іншого типорозміру має відповідати заданим виробничим умовам.

Закінчення табл. 3.2

Вимоги	Характеристика
Надійність закріплена	<ol style="list-style-type: none"> 1. ВП повинні забезпечувати стабільність заготовки у процесі обробки (тобто збереження рівноваги під час навантажень, що діють на заготовку у процесі різання). 2. ВП повинен гарантувати достатню жорсткість при мінімальних силах закріплення, щоб не викликати деформації заготовки. 3. Сила закріплення повинна бути достатньою для умови не відривання та не зміщення.
Економічна доступність	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вартість ВП не повинна перевищувати допустиму частку у повній собівартості обробки деталі, а також має відповідати заданим виробничим умовам. 2. Високий рівень уніфікації деталей і складальних одиниць, який забезпечує зниження вартості ВП.
Продуктивність	<ol style="list-style-type: none"> 1. Швидкодія затискного механізму механізованого/автоматизованого ВП не повинна перевищувати встановлених рівнів (в основному стосується ВП з механізованим або автоматизованим приводом). 2. Можливість реалізації багатомісної обробки заготовок. 3. Можливість одночасного закріплення максимальної кількості заготовок.
Запобігання зіткнень	<ol style="list-style-type: none"> 1. Конструкція ВП не повинна призводити до зіткнень інструменту з частинами ВП. 2. Конструкція ВП не повинна призводити до зіткнень заготовки з частинами ВП (окрім базуючих та затискних елементів). 3. Конструкція ВП не повинна призводити до зіткнень одних елементів ВП з іншими (окрім зазначених місць контакту при складанні компонування ВП).
Зручність експлуатації	<ol style="list-style-type: none"> 1. Маса ВП не повинна перевищувати встановлених рівнів для робітників/промислових роботів-завантажувачів. 2. Простота установа ВП на верстаті. 3. Єдність базових елементів ВП для можливості їх установа на різних верстатах при багатомісній обробці. 4. Мінімальний час та простота складання компонувань ВП. 5. Попередження похибки установа заготовки через можливі потрапляння стружки на робочі поверхні установавальних та затискних елементів. 6. ВП повинні забезпечувати безперешкодне видалення стружки із робочої зони ВП.

При виборі системи ВП необхідно враховувати наведені вимоги до ВП, що пов'язані з підвищенням ступеня гнучкості й рівня уніфікації елементів ВП, скороченням витрат часу, викликаних переналагодженням ВП при переході до обробки деталей іншого типорозміру. Це можливо за умови створення такої системи ВП, яка дозволить поєднати переваги збірних та переналагоджуваних ВП,

забезпечивши підвищення ефективності застосування верстатів із ЧПК в умовах багатомономенклатурного виробництва. У зв'язку з цим для установалення деталей складної форми доцільним є використання системи універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв (УЗПП), в основу якої покладено агрегатно-модульний принцип побудови компонувань та можливість переналагодження елементів, зокрема автоматизованого.

Система УЗПП призначена для базування та закріплення деталей при обробці на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах із ЧПК в умовах багатомономенклатурного виробництва. Для скорочення витрат часу при формуванні компонувань ВП використовуються переважно не окремі деталі, як, наприклад, у системах універсально-збірних пристроїв (УЗП), універсально-збірних механізованих пристроїв (УЗПМ), збірно-розбірних пристроїв (ЗРП), універсально-збірного переналагоджуваного оснащення (УЗПО), а функціональні модулі, до складу яких входять деталі та складальні одиниці, що мають однакове функціональне призначення.

Кожний модуль складається з елементів, які переналагоджуються у межах заданих технічних характеристик за рахунок відповідних механізмів регулювання. Крім того, скорочення кількості стиків унаслідок модульної структури, у свою чергу, підвищує жорсткість компонувань ВП та точність обробки заготовок на відміну від УЗП та УЗПМ, де використовується сітка Т-подібних пазів на базовій плиті, що суттєво знижує жорсткість ВП в цілому. Типова структура системи УЗПП складається базової плити, на яку встановлюються функціональні (базуючі та затискні) модулі, які оснащені механізмами регулювання.

Основною перевагою системи УЗПП над іншими є те, що вона зібрала у собі всі переваги кожної з систем ВП та відповідно перевершує кожен з них за технічними характеристиками при обробці деталей на сучасних свердлильно-фрезерно-розточувальних багатоцільових верстатах із ЧПК. Аспекти гнучкості при конструкторсько-технологічному забезпеченні.

У попередньому розділі виконано аналіз та систематизацію видів гнучкості, проте для розуміння взаємозв'язку між ними та впливу на технологічну систему

взагалі виявлено взаємозв'язок між ними та елементами технологічної системи. Як видно зі схеми, ВП безпосередньо впливають на машинну та тактичну гнучкість, що в свою чергу впливають на гнучкість більш високого рівня – конструктивну та організаційну.

Гнучкість сучасних верстатів і різальних інструментів знаходиться на достатньо високому рівні та резерви до її збільшення у даних складових невеликі, тим паче безпосередньо впливати на ці складові технологічної системи немає можливості, на відміну від ВП. Найважливішим чинником підвищення машинної гнучкості є модульний принцип конструювання технічних систем і стандартизація оснастки.

Для підвищення ефективності конструкторських робіт із конструювання гнучких ВП на основі літературного огляду у рамках проведеного дослідження запропоновано класифікацію ВП за рівнем переналадження та ступенем гнучкості (рис. 3.1 та табл. 3.3).

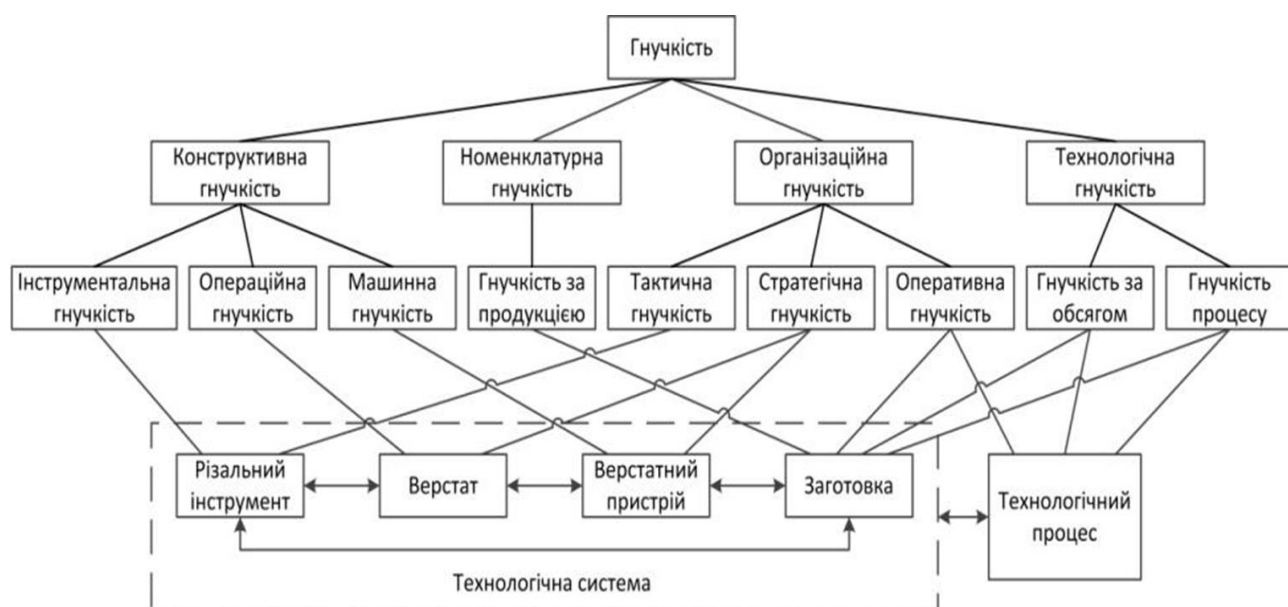


Рисунок 3.1 – Взаємозв'язок між видами гнучкості та елементами технологічної системи

Таблиця 3.3 – Класифікація ВП за рівнями переналагодження

№	Рівень переналагодження	Позначення	Величина ступеня гнучкості	Зміст операції переналагодження
1	Непереналагоджувані	Н.П.	$G < 0,1$	Для переходу на інший вид виробу необхідно здійснити перекомпонування ВП
2	Малопереналагоджувані	М.П.	$0,1 < G < 0,2$	Існує можливість переходу на інший типорозмір виробу в малому діапазоні розмірів за рахунок заміни основних функціональних елементів ВП
3	Частково переналагоджувані I рівня	Ч.П.I	$0,2 < G < 0,4$	Переналагодження можливе за рахунок заміни деяких функціональних елементів ВП із подальшим підналагодженням
4	Частково переналагоджувані II рівня	Ч.П.II	$0,4 < G < 0,6$	Переналагодження можливе для деталей, схожих за конструктивно-технологічними характеристиками, шляхом регулювання установлювально-затискних елементів або заміни спеціальних налагоджень ВП

Закінчення табл. 3.3

№	Рівень переналагодження	Позначення	Величина ступеня гнучкості	Зміст операції переналагодження
5	Частково переналагоджувані III рівня	Ч.П.ІІІ	$0,6 < G < 0,8$	Переналагодження можливе для деталей, схожих за конструктивно-технологічними характеристиками, шляхом регулювання установлювально-затискних елементів або переналагоджуваних налагоджень ВП
6	Переналагоджувані	П.	$0,8 < G < 0,9$	Механізоване переналагодження установлювальних і затискних елементів ВП
7	Автоматично переналагоджувані	А.П.	$0,9 < G < 1$	Автоматизоване переналагодження установлювальних і затискних елементів ВП

Діапазони величини ступеня гнучкості та їх кількість були вибрані на основі кривої нормального розподілу. Згідно з даними таблиці приблизно 60% ВП належать до частковопереналагоджуваних (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Розподіл ВП за рівнем переналагодження

Для можливості оцінки зміни гнучкості технічних систем в цілому необхідно визначити, вплив якої складової є найбільшим.

Для визначення змінної, що чинить найбільший вплив на величину ступеня гнучкості ВП, проведені розрахунки та побудовані графіки залежності ступеня гнучкості при варіюванні однієї змінної у формулі (3.1) та при константних значеннях інших змінних (рис. 3.3). Значення змінних норм часу були взяті з технологічного процесу виготовлення реальної деталі.

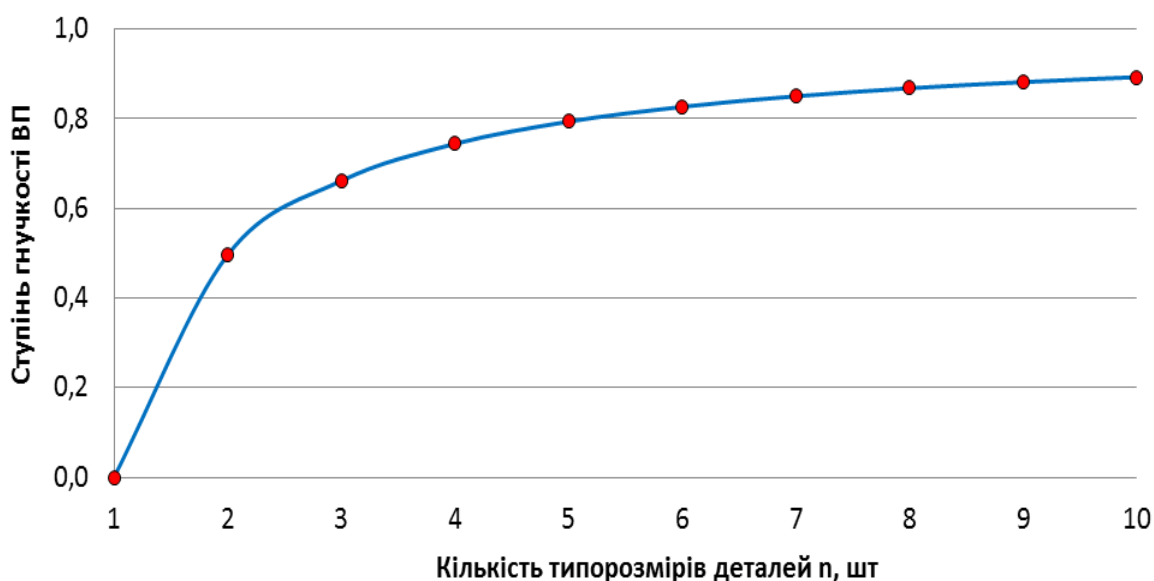


Рисунок 3.3 – Залежність ступеня гнучкості від кількості типорозмірів деталей у ВП при значеннях $N = \text{const}$, $t_{\text{пер}} = \text{const}$, $T_{\text{ум}} = \text{const}$

Дослідження складових цільової функції визначення ступеня гнучкості дозволило встановити, що найбільший вплив на величину ступеня гнучкості чинить кількість типорозмірів деталей, що можуть бути встановлені у ВП. При цьому суттєве зростання спостерігається при кількості типорозмірів від 2 до 6.

Основним напрямком підвищення ефективності обробки заготовок у багатомономенклатурному виробництві є автоматизація виробничих процесів. Підвищення автоматизації відбувається за рахунок використання верстатів із ЧПК та швидкого переналагоджування при переході до обробки заготовок іншого

типорозміру або конфігурації в межах технічних характеристик переналагоджуваних модулів.

Виконання умов до проектування ВП, що розглядалися у другому розділі, породжує наступні залежності та протиріччя:

- висока точність ВП залежить від його жорсткості;
- висока жорсткість ВП забезпечується за рахунок збільшення розмірів усіх елементів ВП;

- збільшення розмірів ВП призводить до збільшення металомісткості ВП, а це є неприпустимим, адже спричиняє зростання собівартості ВП, і як результат – збільшення собівартості деталей, які у ньому виготовляються. Також надмірна металомісткість ВП викликає потребу застосування підйомних механізмів при транспортуванні та встановленні на верстаті, а також верстатів з більшою вантажопідйомністю робочого стола, що також негативно впливає на собівартість кінцевого продукту, знижуючи його конкурентоспроможність.

Для вирішення вищевказаних протиріч можуть бути застосовані методи оптимізації. Проблема зниження металомісткості та відповідно маси конструкцій існувала завжди, проте зараз вона стала ще більш актуальною. Інженери-проектувальники за допомогою складних математичних розрахунків визначали оптимальні розміри елементів ВП, але даний підхід мав досить великі похибки через те, що для спрощення розрахунків та економії часу деталі складної геометричної форми розкладалися на простіші складові, що розраховувалися окремо. У результаті цього для деталей машинобудування приймали коефіцієнт запасу міцності 2–2,5, а це, у свою чергу, збільшує металомісткість у стільки ж разів. Термін служби ВП визначається або терміном його роботи до капітального ремонту, або періодом випуску деталей, що у ньому обробляються, а це, як правило, не більше 5 років. Тому ВП із завищеною металомісткістю є економічно не вигідними, адже морально застарівають, не відпрацювавши свій запланований термін роботи.

Сучасні комп'ютерні технології дозволяють конструкторам технологічної оснастки застосовувати автоматизовані засоби оптимізації, які забезпечують

швидкий та точний розрахунок спроектованих конструкцій на міцність, аналіз напружено-деформованого стану (НДС), визначення власних частот та власних амплітуд коливань ВП. Точність розрахунків та їх продуктивність при використанні комп'ютерних програм безсумнівно набагато вища, ніж при традиційному підході.

Тому на основі розробленого технічного рішення [57] запропоновано методику проведення та виявлення резервів оптимізації ВП за критерієм мінімізації маси ВП при забезпеченні достатньої його жорсткості.

Оптимізаційні розрахунки ВП за допомогою комп'ютерних програм запропоновано здійснювати за розробленим алгоритмом (рис. 3.4), який дозволяє визначити оптимальні розміри та конфігурацію ВП.

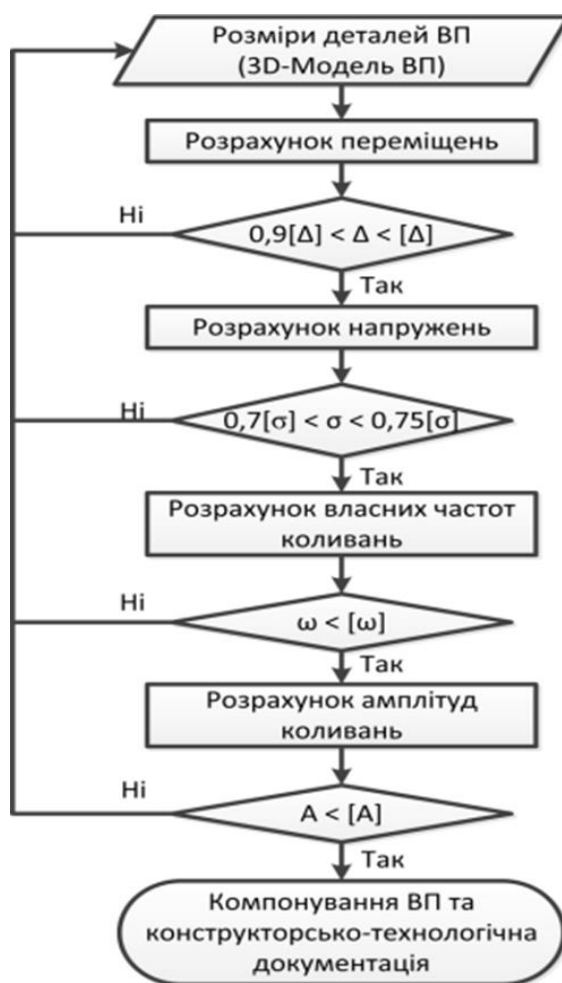


Рисунок 3.4 – Алгоритм параметричної оптимізації конструкції ВП

Розміри та металомісткість ВП можуть бути зменшені (при виконанні перш за все умови досягнення необхідної точності) за рахунок проведення наступних заходів при проектуванні:

- зменшення довжини вильотів консольних частин елементів ВП;
- використання у конструкціях ребер жорсткості, що розташовані у протилежному напрямку дії сили. При цьому можна уникнути необхідності збільшувати перетин деталі, що піддається навантаженням;
- проектування деталей з карманами та пустотілих конструкцій або хоча б при можливості мінімізувати товщину стінок;
- використання матеріалів з високою межею міцності;
- використання композиційних матеріалів;
- спрощення конструкції;
- зменшення кількості стиків.

Обмеженнями при проведенні оптимізації є:

- конструктивні особливості деталі, що вимагає застосування ВП ускладненої конструкції;
- ціна матеріалів, що мають високу межу міцності та складність їх механічної обробки;
- недостатнє поширення композиційних матеріалів у машинобудуванні та їх ціна;
- обмежені технологічні можливості обладнання на конкретному підприємстві.

Як і в багатьох проектних ситуаціях має місце протиріччя між основними вимогами. Наприклад ВП, що має велику масу може мати гарну стійкість, але бути не вигідним з економічної та експлуатаційної точок зору. Тому такі питання повинні вирішуватись оптимізаційними розрахунками. Для цього необхідно математично записати цільові функції (3.2) та технічні обмеження (3.3) для конкретної задачі, а саме досягнення мінімальної металомісткості ВП при дотриманні ним точнісних параметрів при обробці деталі.

Таким чином згідно алгоритму, обмеження будуть виражені величиною допустимих напружень $[\sigma]$, що обмежується межею міцності/текучості матеріалу, тому фактичні напруження σ повинні знаходитись у межах $(0,7-0,75)[\sigma]$, що відповідає коефіцієнту запасу міцності 1,3–1,4, значення яких обґрунтовані наявністю точних розрахункових моделей. Також вузький діапазон відхилень еквівалентних напружень забезпечує принцип рівномірності конструкції. Величина фактичних деформацій Δ_f повинна знаходитись у межах $(0,9-1)[\Delta]$. Допустиме значення деформації $[\Delta]$ визначається допуском на обробку і якщо $\Delta < 0,9 [\Delta]$, то є резерв для зменшення розмірів елементів ВП, адже допуски на обробку в цьому випадку будуть гарантовано витримані. Якщо $\Delta > [\Delta]$, то необхідно збільшувати розміри елементів ВП, або здійснювати його перекомпонування.

Аналіз конструкції ВП для багатокординатної обробки деталей типу важелів різних типорозмірів виконується на основі запропонованого технічного рішення [57].

За вихідними даними – креслення деталі «Важіль» та характеристикою запропонованого ВП, що вказана у, а саме можливість встановлення важелів з габаритами більшими у 1,6 рази за базову деталь, будуюмо важелі з мінімальними та максимальними габаритними розмірами (рис. 3.5 а, б) для даного типорозміру ВП.

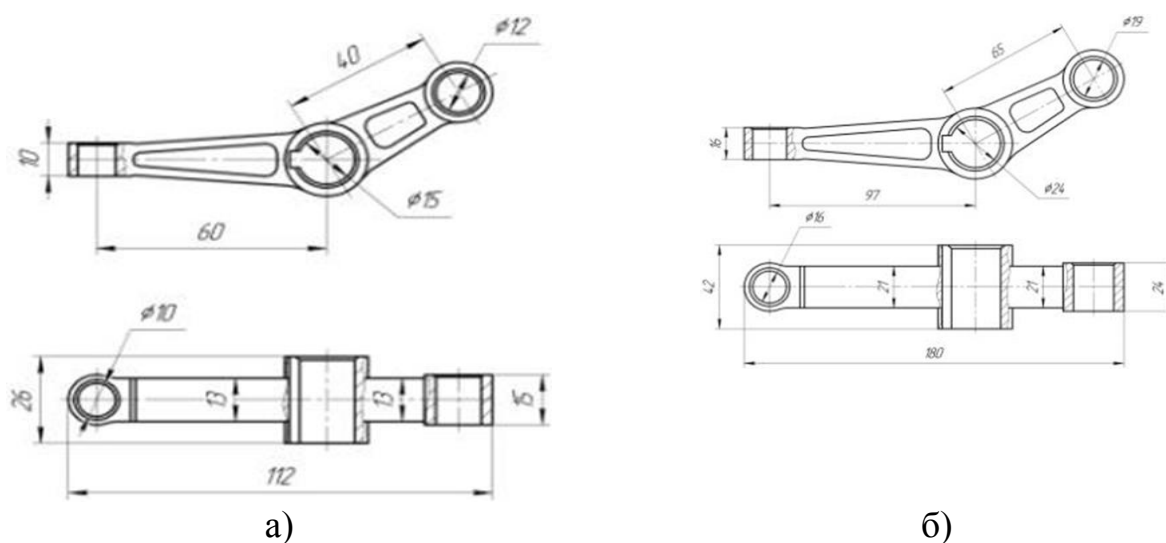
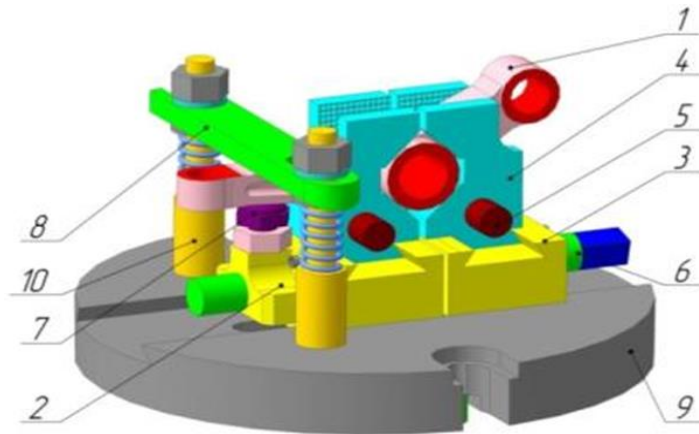


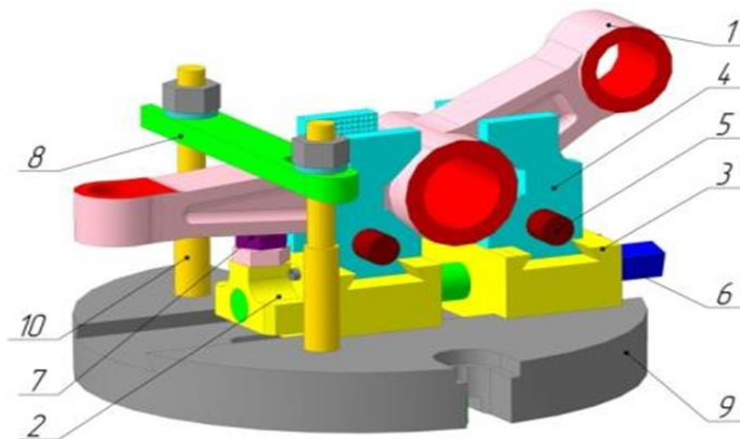
Рисунок 3.5 – Ескізи важелів з граничними розмірами у межах групи:

а) найменший типорозмір; б) найбільший типорозмір

Важелі з мінімальним та максимальним типорозмірами, що встановлені у ВП запропонованої конструкції зображені на рис 3.6.



а)



б)

Рисунок 3.6 – Переналаджуваний установлювальний-затискний модуль для обробки деталей типу важелів: а) з мінімальним типорозміром; б) з максимальним типорозміром: 1 – важіль; 2 – повзун нерухомий; 3 – повзун рухомий; 4 – призма; 5 – гвинт поперечний; 6 – гвинт поздовжній; 7 – упор; 8 – прихоплювач; 9 – плита; 10 – шпилька

Під час здійснення аналізу виконано деталювання ВП згідно з рис. 3.6 та розглянуто можливість зміни розмірів кожної з деталей окремо. При цьому враховано необхідність зміни приєднувальних розмірів інших деталей, що контактують з аналізованою. Як зазначено раніше, запропонований ВП дозволяє

встановлювати та обробляти важелі різних типорозмірів у певному діапазоні, що складає одну розмірну групу.

Згідно з рис. 3.6 виконувався детальний аналіз можливості зміни розмірів всіх деталей, спираючись при цьому на розміри стандартних деталей, що присутні у компонуванні ВП, та складена таблиця результатів оптимізаційного аналізу ВП.

3.2 Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану системи «верстатний пристрій – заготовка»

У підрозділі за результатами оптимізаційного аналізу розроблено конструкторсько-технологічну документацію для запропонованого ВП (додаток К), за якою виготовлено дослідний зразок запропонованого ВП для виконання досліджень НДС, визначення частот власних коливань та виконання механічної обробки деталі «Важіль». Також для проведення експериментальної частини досліджень розроблено та виготовлено ВП спеціальної конструкції (рис. 3.7), який складається з плити 1, оправки 2 Ø15g6, що відповідає номінальному розміру отвору центральної бобишки важеля, двох опор 3, та упора 4.

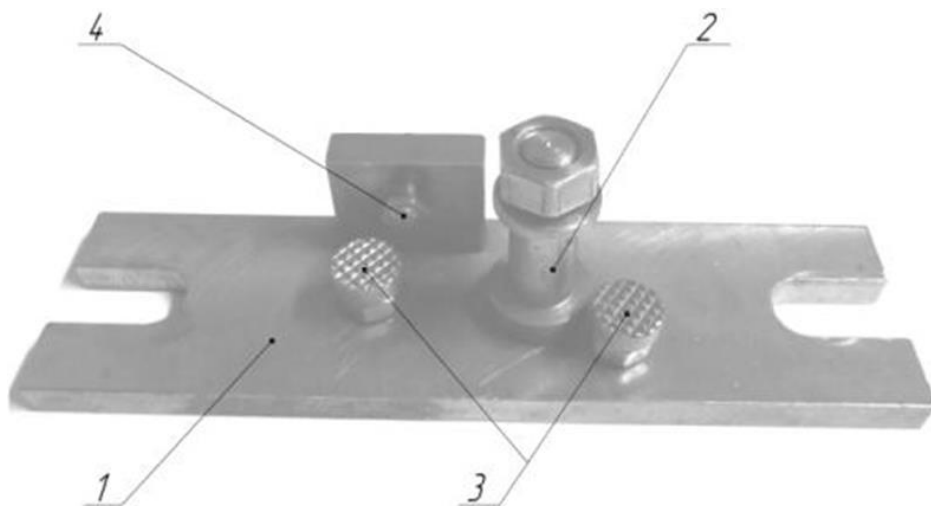


Рисунок 3.7 – Дослідний зразок спеціального ВП для обробки деталей типу важелів

Для перевірки адекватності результатів моделювання, шляхом співставлення їх з результатами натурних експериментів виконано експериментальні дослідження НДС запропонованого та спеціального ВП типового ТП.

Експериментальні дослідження НДС ВП передбачає прикладання навантажень до місць оброблюваних поверхонь деталі та вимірювання величини переміщень у точці прикладання навантаження. Для цього на базі матеріально-технічного забезпечення кафедри розроблено експериментальну установку з вимірювання величини переміщень під дією навантаження. Принципова схема вимірювання сил та переміщень представлена на рис. 3.8, а схеми вимірювання переміщень у вертикальній та горизонтальній площинах на рис. 3.6 та 3.7 відповідно.

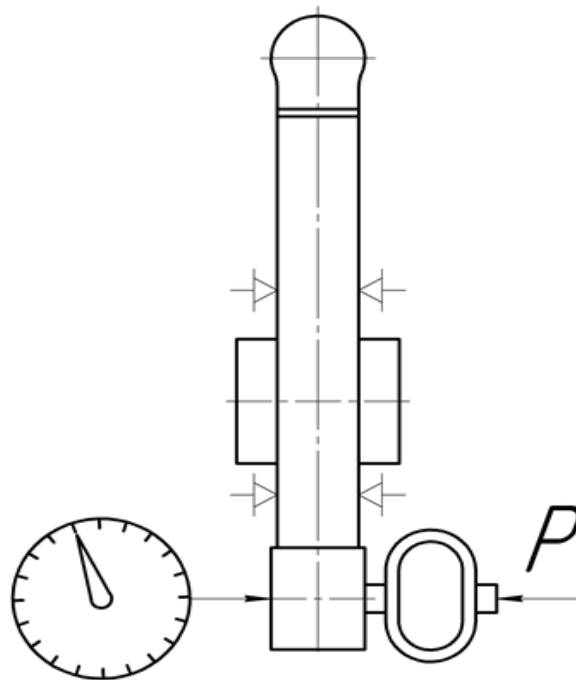


Рисунок 3.8 – Принципова схема дослідження напружено-деформованого стану

Відповідно до схем вимірювання переміщень за базову частину установки було використано горизонтально-фрезерний верстат моделі 6P83 та вертикально фрезерний верстат моделі 6P12. На експериментальних установках (рис. 3.9, 3.10) закріплення ВП 1 на столі верстата 5 виконувалось за допомогою кріпильних елементів 4. Сили прикладались через оправку 6, встановлену у шпинделі

верстата, що під час переміщення стола діє на тарований динамометр 3 моделі Mohr & FEDERHAFF MANNHEIM. Динамометр представляє собою таровану пружинну скобу, жорсткість якої відома. Величина сили вимірюється за допомогою визначення величини деформації пружинної скоби, що фіксується індикатором годинникового типу моделі МІГ1 ГОСТ 9696-82. Ціна поділки індикатора 0,001 мм відповідає величині сили 6 Н.

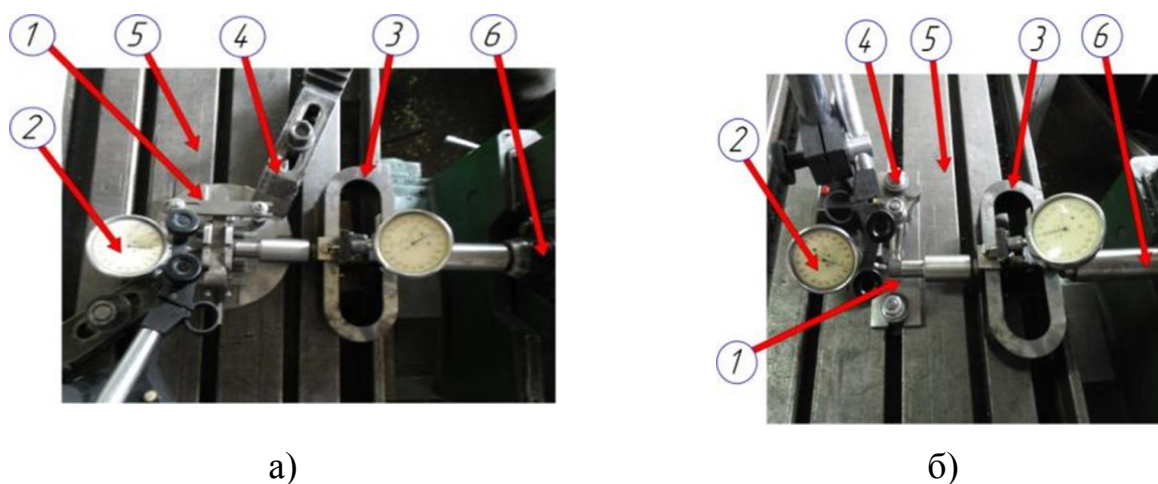


Рисунок 3.9 – Установка для вимірювання сил та переміщень у горизонтальній площині для ВП: а) запропонованого; б) спеціального

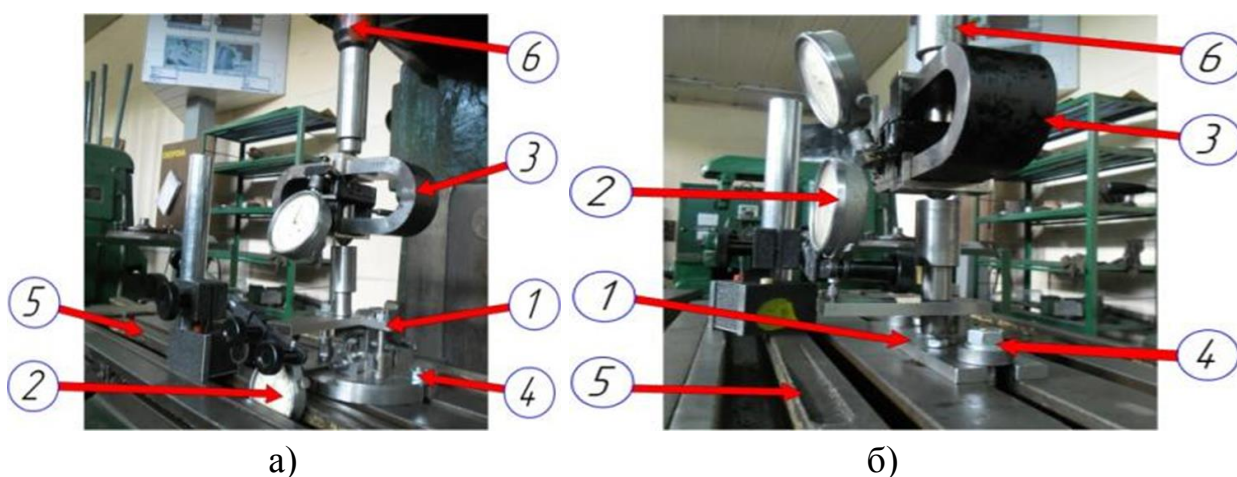


Рисунок 3.10 – Установка для вимірювання сил та переміщень у вертикальній площині для ВП: а) запропонованого; б) спеціального

Вимірювання величини переміщень елементів ВП здійснювалось за допомогою індикатора 2 моделі МІГ1 ГОСТ 9696-82. Розрахункові величини навантажень були взяті для обробки важеля зі сталі 40ХН ГОСТ 4543-71, як найбільші, що можуть зустрітись при обробці. При обробці чавуна СЧ20 та алюмінієвого сплаву АС9 навантаження, що виникатимуть при обробці, будуть суттєво меншими у силу фізико-механічних властивостей даних матеріалів, тому і перевірка НДС для даних умов не виконувалась.

Навантаження на оброблювані поверхні важеля у ВП виконувалось у кількості 10 разів на кожну з поверхонь. При цьому у проміжки між навантаженнями відбувалось повне розвантаження, що імітує процес установлення іншої заготовки. У якості заготовок дослідного зразка для виконання натурального експерименту були взяті виливки з чавуна СЧ20 ГОСТ 1412-85. Процес навантаження, що імітує свердління допоміжних отворів бобишок важеля супроводжується консольними навантаженнями (рис. 3.11), що може призвести до перевищення допустимої величини напружень для чавуна при прикладенні сил, що виникають при обробці сталі 40ХН. Тому величини навантажень для цих переходів обробки були взяті, як розрахункові для чавуна.

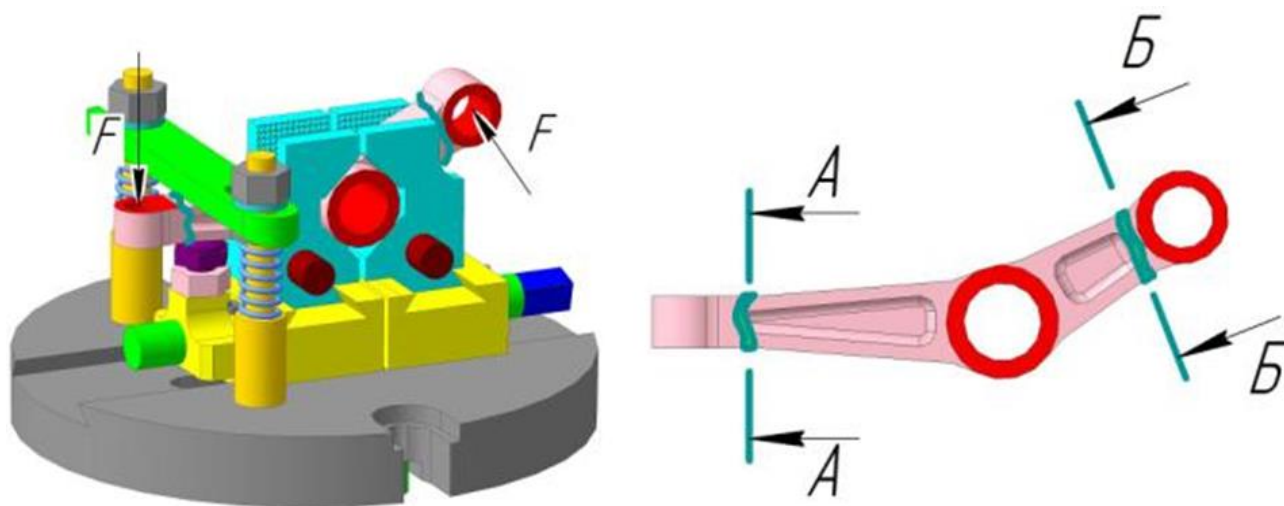


Рисунок 3.11 – Небезпечні перетини у конструкціях важелів при встановленні у ВП

Співставлення експериментальних даних та результатів моделювання для запропонованого та спеціального ВП на найбільш навантажених переходах представлені на графіках (рис. 3.12– 3.14).

Результати статичного експерименту НДС показали, що величини переміщень елементів ВП більші у середньому на 15% ніж значення величин на аналогічних переходах при моделюванні, проте все одно знаходяться в допустимих межах.

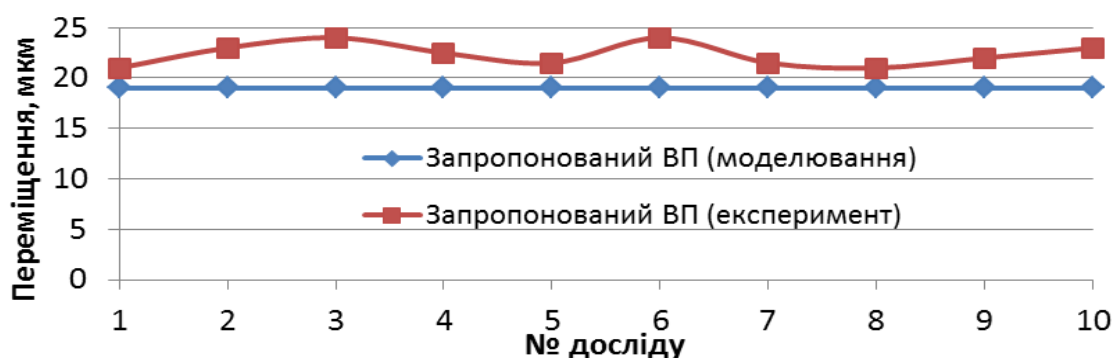


Рисунок 3.12 – Співставлення результатів моделювання та експериментальних даних при свердлінні головного отвору у запропонованому ВП ($P_0 = 5500$ Н, матеріал важеля сталь 40ХН)

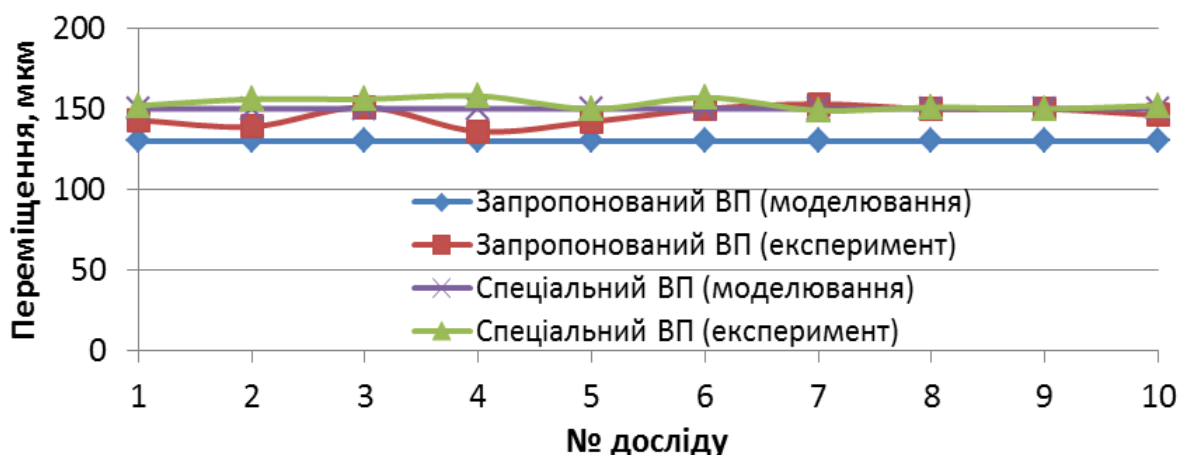


Рисунок 3.13 – Співставлення результатів моделювання та експериментальних даних при свердлінні бобишки допоміжного отвору, що паралельний головному у запропонованому та спеціальному ВП ($P_0 = 3300$ Н, матеріал важеля чавун СЧ20)

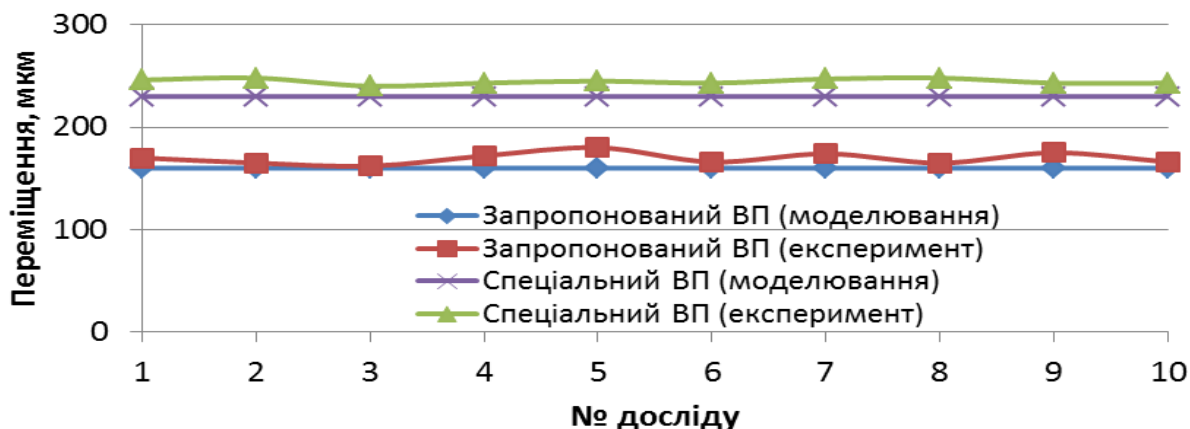


Рисунок 3.14 – Співставлення результатів моделювання та експериментальних даних при свердлінні бобишки допоміжного отвору, що перпендикулярний головному у запропонованому та спеціальному ВП ($P_0 = 2400$ Н, матеріал важеля чавун СЧ20)

Наявність розбіжності між результатами можна пояснити похибками вимірювання величини сили та переміщень, а також реальними властивостями матеріалу деталей ВП, що можуть відрізнятись від довідникових у допустимих межах. При цьому аналогічна ситуація спостерігається і для спеціального ВП типового ТП.

Варто відмітити, що похибка зростає з підвищенням навантаження на елементи як у запропонованому ВП, так і у спеціальному ВП. Отже, виходячи з вищесказаного можна стверджувати, що моделі та граничні умови були задані вірно, тому є сенс провести натурні експерименти із визначення частот власних коливань ВП [58].

Висновки до розділу 3

1. Виконано експериментальні дослідження НДС системи «ВП – заготовка» які показали, що величини переміщень елементів ВП більші у середньому на 15% ніж значення величин на аналогічних переходах при моделюванні. Проте значення реальних переміщень також не виходять за величину допусків, що задані на кресленні.

2. Виконані експериментальні дослідження частот власних коливань системи «ВП – заготовка» показали зменшення власних частот реальних конструкцій ВП запропонованого та спеціального ВП на 8% порівняно з результатами моделювання. Реальні частоти власних коливань перевищують режими обробки, отже резонанс не виникне.

3. Виконані дослідження точності механічної обробки важелів у двох системах ВП показали, що усі розміри оброблених деталей знаходяться у межах допусків на обробку, проте точність відносного розміщення поверхонь деталі, що оброблена у запропонованому ВП вища у середньому на 0,02 мм, що пояснюється відсутністю похибки установа у запропонованому ВП. Шорсткість поверхонь оброблених важелів також знаходиться у межах, що задані кресленням.

4 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ЯКОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА МЕТОДІВ ВИКЛАДАННЯ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

4.1 Технологічне оснащення в комплектах технологічної документації при проектуванні технологічних процесів в курсових проектах та кваліфікаційних роботах здобувачів вищої освіти

Один з етапів оформлення технологічних процесів механічної обробки деталей – це наведення позначення обладнання та технологічного оснащення (верстатних пристосувань, ріжучого, допоміжного та вимірювального інструментів), яке включає, в тому числі, код продукції.

В радянські часи для визначення цього коду використовували вищі класифікаційні угруповання (ВКГ) Загальносоюзного класифікатору промислової та сільськогосподарської продукції (ОКП), наприклад:

391215 Свердло 2300-6901 ГОСТ 886:2008.

В міжнародній спільноті для класифікації продукції використовуються:

- з 1990 р. класифікатор NACE / КДЕС (Statistical Classification of Economic Activities in the European Community / Статистична класифікація економічної діяльності в Європейській спільноті), який визначає вид економічної діяльності (перші чотири структурні одиниці коду);

- з 1993 р. класифікатор CPA / КПЕС (Statistical Classification of Products by Activity in the European Economic Community / Статистична класифікація продукції за видами діяльності в Європейській економічній спільноті), який гармонізований з класифікатором NACE / КДЕС і визначає вже шість структурних одиниць коду продукції;

- з 1993 р. класифікатор PRODCOM / ПРОДКОМ (List of PRODUcts of the European COMMunity / Перелік продукції Європейської спільноти), який щорічно оновлюється. Ця статистична класифікація більш деталізує код продукції до восьми знаків коду продукції;

- з 2000 р. для країн СНД Модельний статистичний класифікатор продукції товарів та послуг (СКП), який відповідає статистичній класифікації PRODCOM та деталізує продукцію до дев'яти знаків коду.

З метою переходу України на міжнародну систему обліку та статистики з 01.01.1999 р. в Україні набрав чинності Державний класифікатор продукції та послуг ДК 016-97 (ДКПП), який повністю гармонізований з європейськими класифікаціями NACE / КДЕС та CPA / КПЕС, але має більш глибоку деталізацію класифікаційних угруповань продукції та послуг.

Окрім класифікатора ДКПП в Україні з 2003 р. існує Номенклатура продукції промисловості (НПП).

У 2008 році з метою підвищення деталізації відбулося корегування міжнародної класифікації видів економічної діяльності (кількість секцій було збільшено з 17 до 21, розділів – з 62 до 88, класів – з 514 до 615). Введені в дію нові версії класифікаторів NACE (Rev. 2), CPA / КПЕС 2008, PRODCOM / ПРОДКОМ та СКП-2.

За міжнародною класифікацією структура коду продукції:

XX.XX.XX.XXX

У відповідності до змін у міжнародній класифікації продукції в Україні з 01.01.2012 р. набув чинності оновлений Державний класифікатор продукції та послуг ДК 016:2010 (ДКПП).

З 2014 р. Україна вийшла з переліку країн СНД, які користуються Модельним статистичним класифікатором продукції товарів та послуг (СКП-2).

У 2012 р. в Україні запроваджена нова версія Номенклатура продукції промисловості (НПП), з 01.01.2021 р. – набуває чинності Основна номенклатура продукції (ОНП).

Початковими даними для створення ієрархічної системи пошуку був документ Adobe Acrobat (файл pdf).

Ієрархічна система пошуку будувалася в документі Microsoft Excel шляхом структурування його (групування рядків).

Першим етапом роботи було скорочення документа Adobe Acrobat шляхом видалення окремих сторінок (були залишені тільки розділи 25 та 28).

За допомогою інструменту Adobe Acrobat «Кадрування сторінок» проведено видалення колонки «Код УКТЗЕД» (альтернативою цього процесу є видалення цієї колонки у створеному документі Microsoft Excel).

Далі було здійснене перетворення документа Adobe Acrobat в документі Microsoft Excel шляхом використання програмного продукту ABBYY Fine Reader (можливе просте копіювання інформації).

Редагування створеного документа Microsoft Excel полягала у виправленні інформації (окремі коди сприймалися Microsoft Excel як дата) та видалення зайвих рядків.

Для всього тексту проведено відключення режиму «Перенос тексту», встановлений однаковий розмір шрифту та однакова висота рядків.

Основним етапом роботи було створення ієрархії за ознаками «Розділ», «Група», «Клас», «Категорія», «Підкатегорія», «Позиція» та «Тип» шляхом використання режиму Microsoft Excel «Вставка клітинок».

За допомогою режиму Microsoft Excel «Групування» у вкладці «Дані» проведено створення ієрархічної структури файлу.

У створеній ієрархічній системі при оформленні позначення обладнання та технологічного оснащення технологічних процесів механічної обробки деталей найчастіше використовується клас 25.73 «Інструменти», клас 28.41 «Машини та верстати для обробляння металу» та категорія 28.49.2 «Пристрої для кріплення інструментів».

Оскільки використання класифікатора ОКП в Україні припинено, кодування продукції необхідно проводити за класифікатором ДКПП. Запропонована ієрархічна система дозволяє це зробити.

Нормативні документи (стандарти) для технологічного оснащення

Один з етапів розробки технологічних процесів механічної обробки деталей – це визначення стандартного позначення технологічного оснащення (верстатних пристосувань, ріжучого, допоміжного та вимірювального інструментів). Фрагмент однієї з карт технологічної документації наведений на рис. 4.1:

ГОСТ 3.1404-85 (разреш 1)																			
Дубль																			
Взам.																			
ГМД																			
СумГУ.01.1.40.XXXXX										7	1								
Позаб.																			
Проверит																			
СумДУ						Н13.38.171.02		Н13.38.171.00СБ		СумГУ.50.1.40.00001									
Корпус																			
М01	Сталь 20 ГОСТ 1050 2013																		
М02	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н.раз:	К/М	Код загот.	Прокатки размеры			д	М2							
	08 7010	кг	28		56,32	0,46	Полоска	ф285 x 130			1	56,32							
А	Цех	Э.	И/	Опер.	Код. наименования процесса				Обозначение документа										
Б	Код. наименования оборудования				СМ	Т.р.ф.	Р	У	К	К/М	ВН	О.Т.	К.ст.	Т.р.	Т.ст.				
В																			
А03	XX	XX	010	4212	Радиально-сверлильная			ИОТ № XXX-XX, СумГУ.20.1.40.00001											
С04	38	1217	3804	мод.2А554			3	18355	312	1Р	1	1	1	94	23,6	32,69			
С05	Установить заготовку, вывернуть и закрепить											8,8							
Т05	39 6100 XXXX Призма специальная; 39 6100 XXXX Прихват 7011-0164 ГОСТ 12940-67;																		
07	39 6100 XXXX Опора 7030-1130 ГОСТ1557-67; 39 6100 XXXX Болт 7002-2601 ГОСТ 13152-67;																		
08	39 6100 XXXX Гайка 7003-0306 ГОСТ 8918-89; 39 2651 XXXX Ключ 7811-0041 С 1 Х9 ГОСТ2839-80																		
С09	1. Сверлить отверстие сквозное ф18Н14(+0,43), выдерживая размер 47(+0,31)											0,57	0,66						
Т10	39 1221 XXXX Сверло 2301-0061 ГОСТ 10903-77; 39 2831 XXXX Втулка 6100-0223 ГОСТ 13598-85																		
Р11												1	18	45	9	1	0,4	200	11,3
С12	2. Проверить размеры											0,24							
Т13	39 3311 XXXX Штангенциркуль ШЦ-Т-1-125-0,1ГОСТ 166-89																		
14																			
15																			
КТП	Карта технологического процесса											1							

Рисунок 4.1 – Фрагмент однієї з карт (КТП) технологічної документації

До 1992 р. основним джерелом цієї інформації були державні стандарти ГОСТ колишнього СРСР. По ріжучим інструментам: це 41 стандарт для свердл, 24 – для зенкерів, 38 – для розгорток, 95 – для фрез, 28 – для мітчиків, 53 – для різців тощо.

У 1992 році члени СНД уклали угоду, якою визнали діючі стандарти «ГОСТ» СРСР, як міждержавні (зі збереженням аббревіатури «ГОСТ»).

Наприкінці 2007 року з метою приведення міждержавних стандартів у відповідність до «Угоди про технічні бар'єри у торгівлі Світової організації торгівлі» Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики своїм наказом міждержавні стандарти виду "конструкції та розміри" замінив в Україні на національні стандарти ДСТУ ГОСТ з наданням їм чинності з 1 липня 2008 р.

При цьому:

1) перевидання стандарту не передбачалося (тобто зміст прийнятого національного стандарту ДСТУ ГОСТ повністю відповідає змісту відповідного міждержавного стандарту ГОСТ);

2) розроблені підтвержувальні повідомлення, які були розташовані на обкладинках відповідних стандартів шляхом їх наклеювання. Наприклад, для ГОСТ по штангенциркулям на титульній сторінці вклеювалося відповідне повідомлення (див. рис. 4.2);

3) крім того, із стандартів була вилучена фраза "Несоблюдение стандарта преследуется по закону" (вимоги прийнятих національних стандартів тепер вважаються добровільними).

Протягом наступних років інші окремі міждержавні стандарти ГОСТ також були прийняті як національні ДСТУ ГОСТ.

Таким чином ГОСТи перетворювалися в ДСТУ ГОСТ

Деякі міждержавні стандарти (*так, наприклад, ГОСТ 28320-89*) залишилися діючими в Україні (*ГОСТ 28320:2017 (ISO 3438:2013)*).

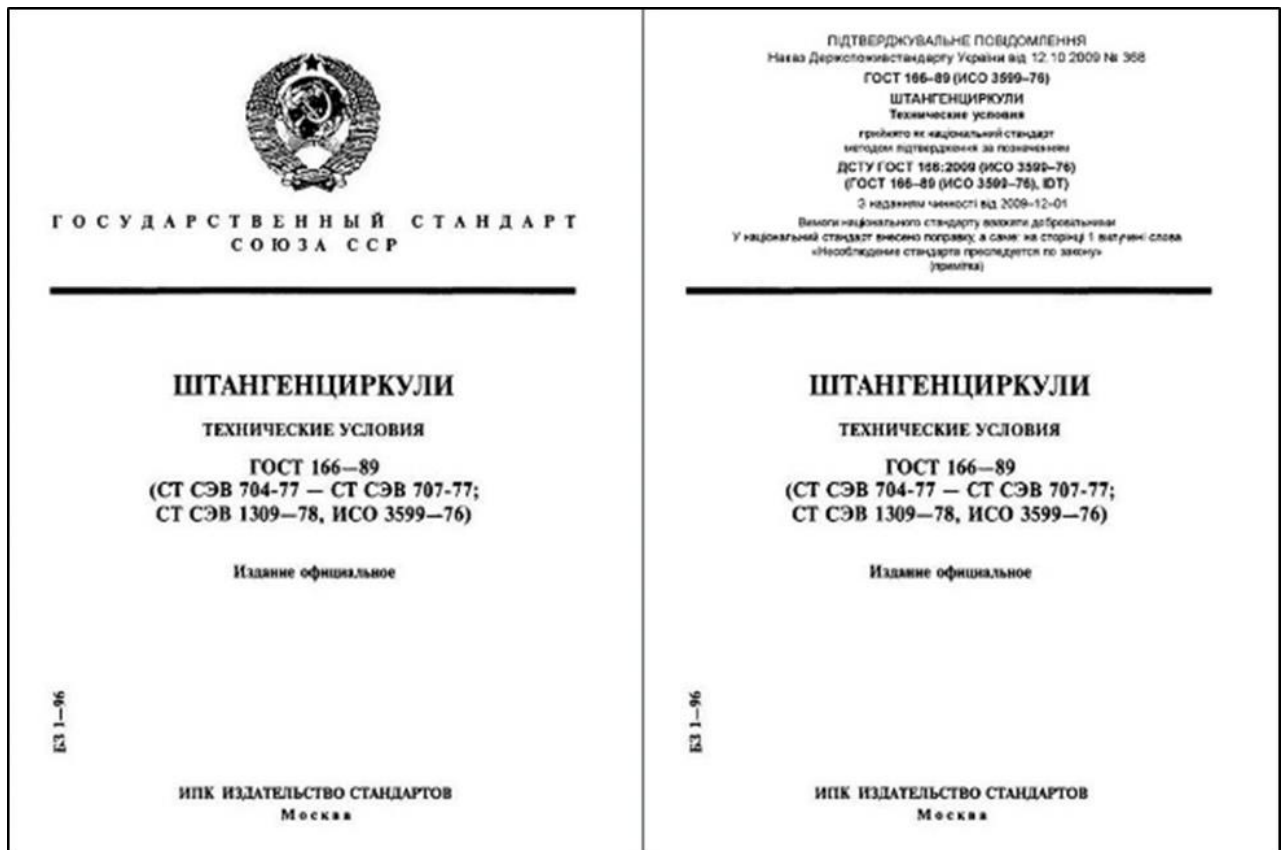


Рисунок 4.2 – Приклад стандарту ДСТУ ГОСТ

Наприкінці 2015 року на виконання «Програми діяльності Кабінету Міністрів України» (в частині припинення дії на території України стандартів колишнього СРСР) Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») своїми наказами з 01.01.2018 року:

- скасував чинність усіх національних стандартів ДСТУ ГОСТ (наказ від 14.12.2015 р., № 182);

- скасував чинність окремих міждержавних стандартів ГОСТ (наказ від 14.12.2015 р. за № 183).

Для де яких стандартів термін скасування чинності з 01.01.2018 р. був перенесений на 01.01.2019 р., на 01.01.2020 р. тощо.

Оскільки Україна є членом ISO та IEC (з 1993 року), одним з пріоритетів розвитку національної системи стандартизації стало зближення та гармонізація з цими міжнародними системами.

Своїми наказами ДП «УкрНДНЦ» проводить прийняття національних стандартів **ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT)**, гармонізованих з європейськими та міжнародними стандартами методом підтвердження з наданням їм чинності з 1 січня 2019 року.

При цьому для нормативних документів ДСТУ ISO, прийнятих методом підтвердження, передбачено лише оприлюднення підтверджувального повідомлення (див. рис. 4.3) і не передбачено перекладу або офіційного видання нормативного документа (*ДСТУ 1.7:2015 «Національна стандартизація. Правила та методи прийняття міжнародних і регіональних нормативних документів»*).

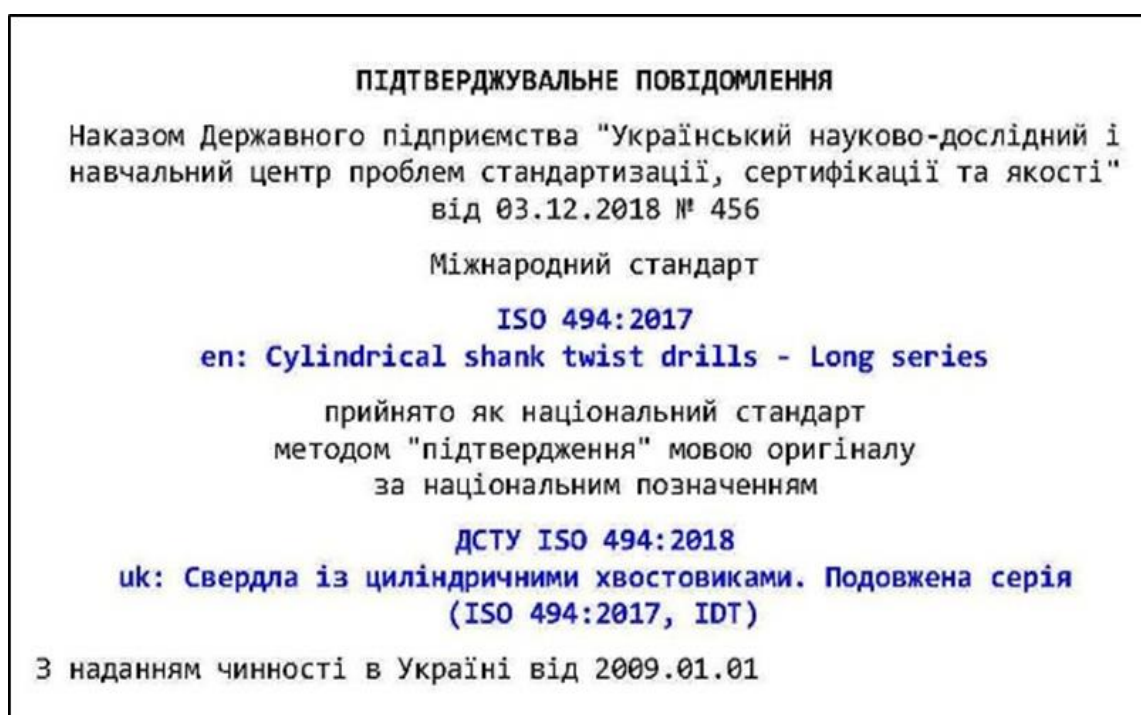
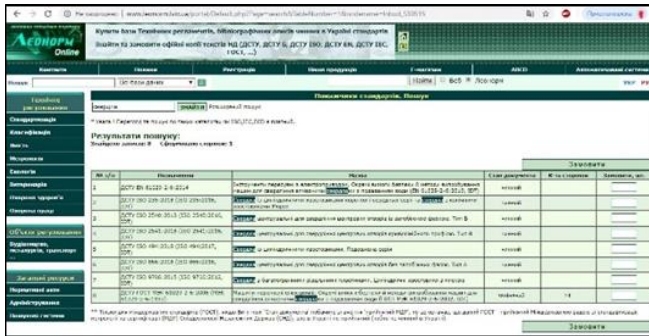


Рисунок 4.3 – Приклад підтверджувального повідомлення для ДСТУ ISO 494:2018

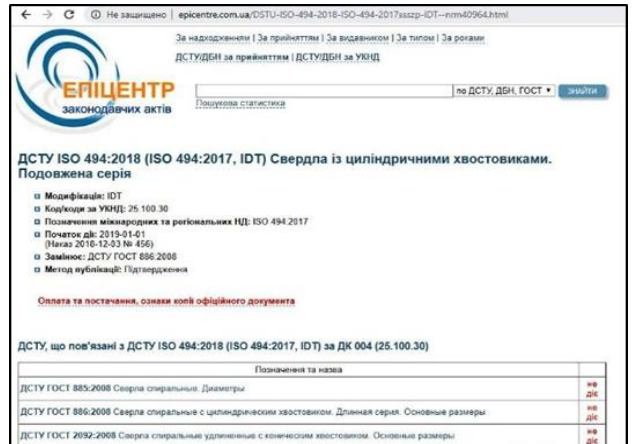
В роботі використовувалися:

- інформаційні бази серверу нормативних документів в сфері технічного регулювання в Україні «ЛЕОНОРМ» (рисунок 4.4а),

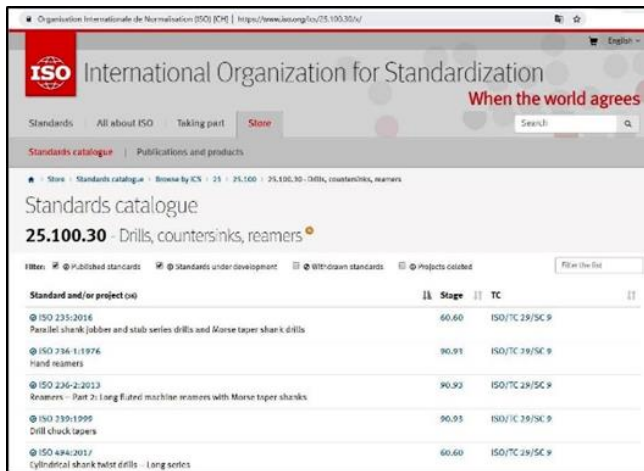
- база законодавчих актів України «ЕПІЦЕНТР» (рисунок 4.4б),
- база «Міжнародної організації по стандартизації» (рисунок 4.4в)
- сайт ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (рисунок 4.4г) тощо.



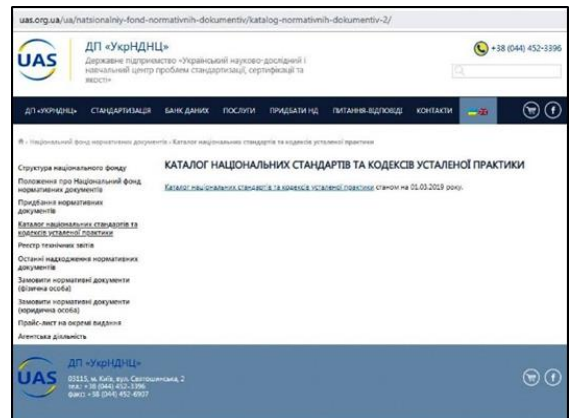
а) <http://www.leonorm.lviv.ua>



б) <http://epicentre.com.ua/>



в) <https://www.iso.org>



г) <http://uas.org.ua>

Рисунок 4.4 – Приклади інформаційних баз нормативних документів

Чинними на поточний час в Україні є:

- міждержавні стандарти **ГОСТ XXXXX:XXXX** (рис. 4.5а);
- міждержавні стандарти **ГОСТ XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, MOD)** (рис. 4.5б), як модифіковані міжнародні стандарти **ISO** (позначка **MOD**). Номер

ГОСТ та номер ISO відрізняються. Інформація щодо модифікації стандарту ISO зазвичай наводиться в стандарті у додатках до стандарту;



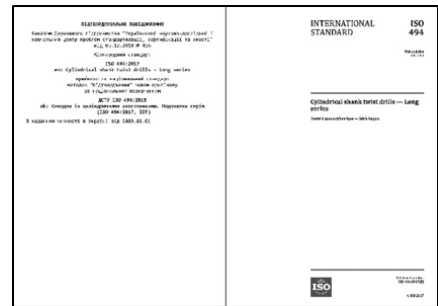
а) ГОСТ XXXXX:XXXX



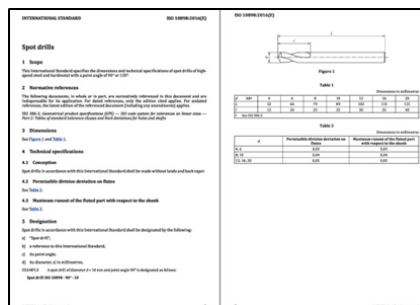
б) ГОСТ XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, MOD)



в) ГОСТ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT)



г) ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT)



д) ISO XXXXX:XXXX

Рисунок 4.5 – Стандарти, які на поточний час чинні в Україні

- міждержавні стандарти **ГОСТ XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, MOD)** (рис. 4.5б), як модифіковані міжнародні стандарти **ISO** (позначка **MOD**). Номер **ГОСТ** та номер **ISO** відрізняються. Інформація щодо модифікації стандарту **ISO** зазвичай наводиться в стандарті у додатках до стандарту;

- державні стандарти **ГОСТ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT)** (рис. 4.5в), які повністю ідентичні з міжнародними стандартами **ISO** (позначка **IDT**). Номер **ГОСТ ISO** та номер **ISO** однакові, роки прийняття можуть бути різними.

- національні стандарти: **ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT)** (рис. 4.5г), які повністю ідентичні з міжнародними стандартами **ISO** (позначка **IDT**) та прийняті методом підтвердження мовою оригіналу. Передбачено лише оприлюднення підтверджувального повідомлення і не передбачено перекладу або офіційного видання нормативного документа. Номер **ДСТУ ISO** та номер **ISO** однакові, роки прийняття можуть бути різними.

- міжнародні стандарти: **ISO XXXXX:XXXX** (оскільки Україна є членом **ISO**) (рис. 4.5д), які містять титульний аркуш з оборотом (сторінки I та II), аркуші зі змістом (сторінка III) та передмовою (сторінка IV) та змістовну частину (сторінки 1, 2, ...).

Кількісний аналіз чинних на поточний час в Україні стандартів по ріжучим інструментам показав наступне:

- кількість стандартів по свердлам – 20 (табл. 4.1), з них:

ГОСТ XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, MOD) - 1,
ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT) - 6,
ISO XXXXX:XXXX - 13.

- кількість стандартів по зенкерам – 6, з них:

ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT) - 1,
ISO XXXXX:XXXX - 5.

- кількість стандартів по розгорткам – 13, з них:

ГОСТ XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, MOD) - 2;
ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT) - 1;
ISO XXXXX:XXXX - 10.

Таблиця 4.1 – Стандарти по свердлам

№ з/п	Позначення стандарту	25.100.30 Свердла (Drills). Назва стандарту
1	ГОСТ 28320-2017 (ISO 3438:2013, MOD)	Сверла спиральные ступенчатые для отверстий под метрическую резьбу. Размеры
1	ДСТУ ISO 235:2018 (ISO 235:2016, IDT) ISO 235:2016	Сверла із циліндричними хвостовниками короткої і середньої серії та свердла з конічними хвостовниками Морзе Parallel shank jobber and stub series drills and Morse taper shank drills
2	ДСТУ ISO 494:2018 (ISO 494:2017, IDT) ISO 494:2017	Свердла із циліндричними хвостовниками. Подовжена серія Cylindrical shank twist drills - Long series
3	ДСТУ ISO 866:2018 (ISO 866:2016, IDT) ISO 866:2016	Свердла центрувальні для свердління центрових отворів без запобіжних фасок. Тип А Centre drills for centre holes without protecting chamfers - Type A
4	ДСТУ ISO 2540:2018 (ISO 2540:2016, IDT) ISO 2540:2016	Свердла центрувальні для свердління центрових отворів із запобіжною фаскою. Тип В Centre drills for centre holes with protecting chamfer - Type B
5	ДСТУ ISO 2541:2018 (ISO 2541:2016, IDT) ISO 2541:2016	Свердла центрувальні для свердління центрових отворів криволінійного профілю. Тип R Centre drills for centre holes with radius form - Type R
6	ДСТУ ISO 9766:2015 (ISO 9766:2012, IDT) ISO 9766:2012	Свердла з багатогранними різальними пластинами. Циліндричні хвостовники з лізкою Drills with indexable inserts - Cylindrical shanks with a parallel flat
1	ISO 239:1999	Drill chuck tapers
2	ISO 2306:1972	Drills for use prior to tapping screw threads
3	ISO 3291:2016	Extra-long Morse taper shank twist drills
4	ISO 3292:2016	Extra-long parallel shank twist drills
5	ISO 3314:1975	Shell drills with taper bore (taper bore 1 : 30 (included)) with slot drive
6	ISO 3438:2013	Subland twist drills for holes prior to tapping screw threads
7	ISO 5419:1982	Twist drills - Terms, definitions and types
8	ISO 5468:2017	Rotary and rotary impact masonry drill bits with hardmetal tips - Dimensions
9	ISO 7079:2016	Core drills with parallel shanks and with Morse taper shanks
10	ISO 10887:1999	Key type three-jaw drill chucks - Specification
11	ISO 10888:1999	Keyless type three-jaw drill chucks - Specification
12	ISO 10898:2016	Spot drills
13	ISO 10899:1996	High-speed steel two-flute twist drills - Technical specifications

- кількість стандартів по мітчикам – 8, з них:

ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT) - 1;

ISO XXXXX:XXXX - 7.

- кількість стандартів по фрезам – 26, з них:

ГОСТ XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, MOD) - 10;

ГОСТ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT) - 2;

ДСТУ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT) - 4;

ISO XXXXX:XXXX - 10.

- кількість стандартів по різцям – 6, з них:

ГОСТ XXXXX:XXXX - 1;

ГОСТ XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, MOD) - 1;

ГОСТ ISO XXXXX:XXXX (ISO XXXXX:XXXX, IDT) - 1;

ISO XXXXX:XXXX - 3.

За роз'ясненнями Міністерства економічного розвитку і торгівлі України з питань застосування стандартів (у тому числі у зв'язку зі скасуванням у 2015 році міждержавних стандартів ГОСТ):

1) скасовані національним органом стандартизації ГОСТи не мають статусу нормативного документу, а являють собою звичайний "текст";

2) виробники можуть застосовувати скасовані ГОСТ у своїй господарській діяльності та для своїх професійних потреб як звичайні інструкції, правила тощо, *але не можуть робити посилання на такі ГОСТи,*

3) якщо підприємства застосовують положення скасованих ГОСТів: можливе розроблення:

- галузевих стандартів (ГСТУ),
- стандартів підприємств (СПП),
- технічних умов (ТУУ)
- стандартних технічних умов (СТТУ)

Виходячи з вищесказаного, для позначення технологічного оснащення в навчальному процесі використовуються:

- 1) державні стандарти ДСТУ ISO,
- 2) міждержавні стандарти ГОСТ
- 3) та (оскільки діючих на даний час таких нормативних документів, як ГСТУ, СПП та ТТУ по технологічному оснащенню немає) *стандарти умовного підприємства (СПП*).*

Приклад позначення технологічного оснащення для скасованих ГОСТів СРСР, скасованих галузевих стандартів ОСТ СРСР, скасованих технічних умов ТУ СРСР, скасованих машинобудівних нормалей МН СРСР тощо наведений на рис. 4.6.



Рисунок 4.6 – Приклади позначення технологічного оснащення для скасованих стандартів

4.2 Використання власних мобільних пристроїв студентів у навчальному процесі

На сьогоднішній день існуючі методи вимірювання температури різання, що використовуються при проведенні лабораторних робіт з базових інженерних дисциплін, зокрема «Теорії різання», «Технології оброблення матеріалів різанням», «Експериментальні методи дослідження технологічних процесів» є морально застарілими та не точними. Існуючі методики проведення лабораторних робіт по вимірюванню температури різання виглядають вкрай архаїчно, не інтегрують студента у процес навчання, а обробка результатів вимірювання стає випробуванням у спостережливості та наполегливості своєю монотонністю.

У відповідь на ці виклики колективом науково-педагогічних працівників та студентів Сумського державного університету було розроблено та виготовлено бездротовий пристрій для вимірювання температурного градієнту у різальному

інструменті в процесі механічної обробки, а також мобільних додаток (WICUTEM), що дозволяє автоматизувати процес отримання результатів вимірювання, підвищить їх точність та достовірність (рис.4.7). Поєднання методу штучної термопари з електронною компенсацією холодного спаю та Bluetooth інтерфейсу забезпечує надійне вимірювання та стабільну бездротову передачу результатів з наступними технічними характеристиками (табл. 4.2).

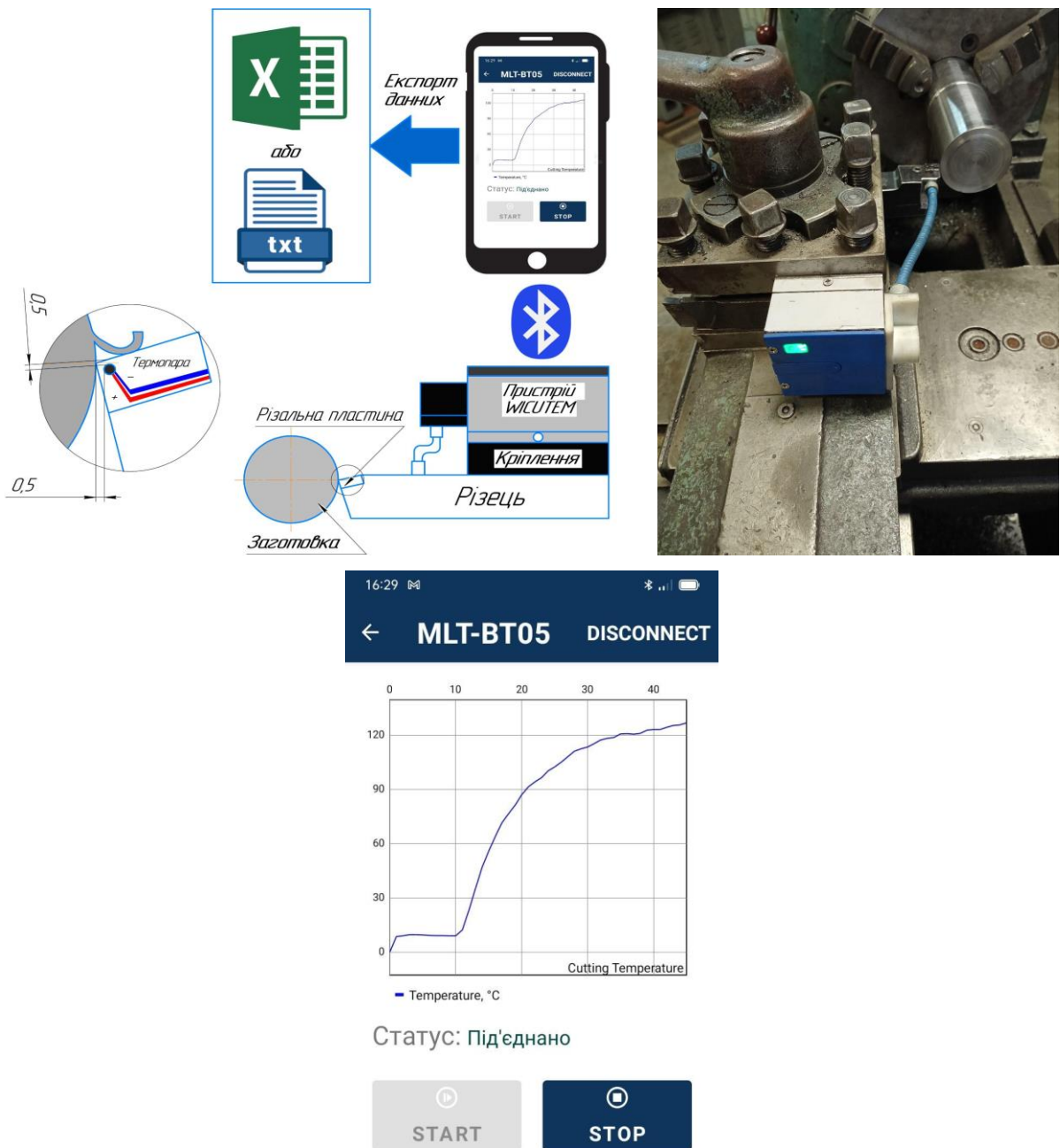


Рисунок 4.7 - Експериментальна установка для бездротового вимірювання температури у процесі токарної обробки

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики пристрою

Назва пристрою	Параметри	Одиниці вимірювання
Бездротовий пристрій WICUTEM	Діапазон вимірювання	0 °С до +1036 °С
	Тип датчика	Термопара (Хромель-Алюмель)
	Розмір спаю термопари	0,5 - 1,2 mm
	Частота вимірювання	200 Гц
	Радіус дії передавача	до 3 м
	Робоча частота передачі сигналу	2,4 ГГц
	Умови роботи та герметичність: Температура: Клас захисту: NEMA рейтинг:	+ 15...+45 °С IP 55 5
	Час роботи батареї	2 години
	Опорна напруга	3,5 В
Пристрій для бездротової зарядки	Напруга живлення	220 В
	Вихідна напруга	5 В
	Час зарядки	3 години

Спеціально розроблений додаток WICUTEM *для мобільних телефонів на операційній системі Android, який можна завантажити з Google Play, візуалізує отримані дані у режимі реального часу, долучає студентів до процесу отримання експериментальних результатів з використанням власних мобільних пристроїв та дозволяє імпортувати дані у файл у форматі xlsx, та txt. для їх подальшого опрацювання у програмі MS EXCEL на персональному комп'ютері або мобільному пристрої.

Комбінація контактного магнітного вмикача та високочастотної бездротової зарядки пристрою забезпечила його повну герметичність, що дозволяє використовувати його при точінні зі замащувально – охолоджуючими технічними середовищами.

Використана у пристрої сума технічних рішень робить студента активним учасником лабораторної роботи або наукового дослідження, суттєво полегшує процес отримання та обробки експериментальних даних, надихає на перевірку наукових гіпотез та проведення власних експериментальних досліджень у рамках дипломного проектування.

У порівнянні з існуючими аналогами, зокрема пристроями UVTC-1, UVTC – 2 від компанії OMEGA, перевагою WICUTEM є вимірювання з високою частотою опитування сенсора (термопари) від 5 до 50 мс та тривалістю вимірювання 1650 с, що доцільно при вимірюванні температури швидкоплинних процесів, в тому числі процесу різання матеріалів.

В той же час бездротові пристрої від компанії OMEGA забезпечують частоту опитування сенсора від 1 с, та обмежені у часі вимірювання до 120 с., що у випадку вимірювання температури у процесі різання неминуче призведе до втрати значної частини результатів.

Пристрій має компактні розміри і може бути швидко змонтований на будь-якому токарному верстаті, в тому числі і студентом. У базову комплектацію пристрою входять: пристрій WICUTEM у алюмінієвому корпусі, пристрій для бездротової підзарядки, USB дріт, мережевий зарядний пристрій, магнітна плита з титанового сплаву для кріплення пристрою на верстаті, комплект гвинтів з нержавіючої сталі для кріплення, захисні кожухи для термопари, три комплекти термопар хромель-алюмель, пін адаптер, магнітний вмикач, коробка для зберігання та транспортування. Базова комплектація пристрою може бути розширена комплектом державки прохідного різця з механічним кріпленням твердосплавної неперемотуваної пластини, з необхідними технологічними отворами, та трьома комплектами збірок твердосплавних різальних пластин з вбудованою термопарою.

Таким чином бездротовий пристрій WICUTEM, може стати гарним рішенням для апаратного забезпечення проведення лабораторних робіт по вивченню впливу температури різання на стійкість різального інструмента при токарній обробці, дослідженні впливу режимів різання на температуру різання та зношування

різального інструменту у курсах професійної підготовки студентів закладів вищої освіти, закладів перед вищої технічної освіти та професійно – технічних училищ.

4.3 Особливості проектування мобільного додатка SSUQUESTIONNAIRE-M для контролю знань студентів інженерних спеціальностей

Додаток є розвитком лінійки програм SSUquestionnaire, орієнтованих на застосування засобів комп'ютерної техніки для оцінювання ступеня сформованості знань, умінь і навичок, що складають навчальні компетенції студентів, майбутніх інженерів. Основною відмінністю новоствореного додатка є те, що він адаптований до тестового контролю знань на мобільних пристроях з операційною системою Android (версії 4.0 і вище). У процесі розроблення функціоналу додатка враховувалась специфіка мобільних систем, що надала можливість полегшити введення даних, необхідних для тестування: залучені оптичний сенсор мобільного пристрою (камера) для зчитування QR-коду (Quick Response Code) із зашифрованою інформацією про правильні відповіді і сенсорний екран для вибору відповідей на питання тестового завдання за допомогою тапів (торкань екрана пальцем).

У виборі концепції проектування програми були враховані деякі особливості інженерної освіти, пов'язані, насамперед із тим, що студенти у своїй повсякденній навчальній діяльності постійно стикаються з необхідністю поглибленої роботи з графічними матеріалами. Дуже часто вихідні дані для виконання навчальних завдань задаються у вигляді різного роду креслень, схем, моделей, графіків або будь-яких інших подібних елементів. Крім того, нерідко такий вид матеріалу є не тільки початком проектування, але і його кінцевим результатом, представленим у вигляді набору креслень машин, механізмів або їх окремих вузлів. Тому важливо, щоб під час контрольних заходів у студентів також був доступ до графічної інформації про об'єкт, аналогічний тієї, що використовувалася на етапі навчання. В іншому випадку студент не зможе в повному обсязі ознайомитися зі змістом тестових завдань і правильно сформулювати свою відповідь.

Під час вивчення дисциплін інженерного профілю графічні ілюстрації часто виконані як зображення великих розмірів. Наприклад, згідно з прийнятим в Україні стандартом, у машинобудуванні графічні дані можуть оформлятися у вигляді креслень формату А0 (841 мм x 1189 мм) і більше. Розглянути таке зображення на екрані смартфона з розміром діагоналі 3,5"-4" (88,9-101,6 мм), навіть 6"-7" (152,4-177,8 мм) і зрозуміти зміст тестового завдання студенту може бути досить складно (рис. 4.8). І тоді неправильна відповідь студента буде пов'язана не за браком відповідних знань контрольованого навчального матеріалу, а з тим, що він не зміг зрозуміти завдання тесту.

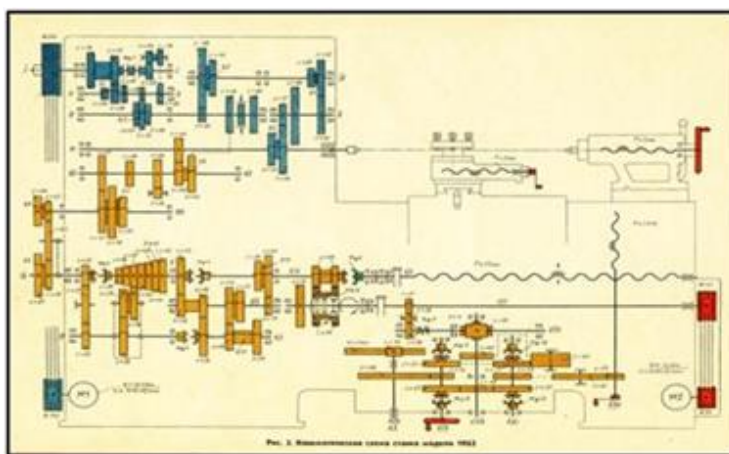


Рисунок 4.8 – Зменшене зображення кінематичної схеми металорізального верстата на екрані смартфона (початковий розмір схеми 210 мм × 297 мм)

Крім того, файли, що містять графічні елементи, як правило, мають значні розміри. Наприклад, файл, зображений на рисунку 4.8, спочатку надрукований на аркуші формату А4, після сканування з роздільною здатністю 150 dpi і збереження в одному з форматів *.jpg або *.png (найбільш поширені формати піксельної графіки, які використовуються в мобільних додатках) буде мати розмір понад 4 Мб. Якщо завантажити в пам'ять смартфона або планшета кілька подібних файлів, то зростають вимоги до ресурсів мобільного пристрою, що не завжди допустимо, оскільки такі високотехнологічні пристрої можуть бракувати у студентів і це стане

критичним для проведення контрольних заходів. Зменшення розмірів файлів через/внаслідок зниження роздільної здатності зображення призводить до недостатньої наочності й неможливості збільшити масштаб, щоб розглянути дрібні деталі.

Але, навіть у разі відмови від зменшення роздільної здатності і збереженні його якості на рівні, що не перешкоджає збільшенню розглянутого зображення, невеликий розмір екрану мобільного пристрою може стати причиною поганого сприйняття вихідних даних тесту. Наприклад, на рис. 4.9 показаний збільшений фрагмент кінематичної схеми металорізального верстата.

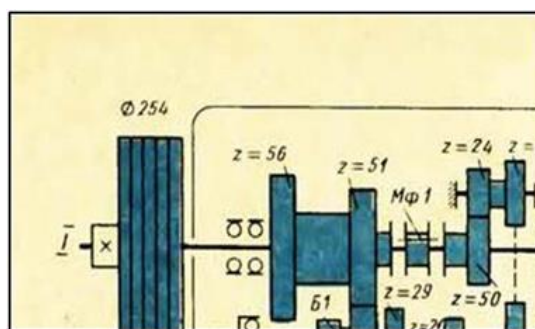


Рисунок 4.9 – Збільшений фрагмент зображення кінематичної схеми металорізального верстата на екрані смартфона

Масштаб зображення у цьому випадку дає змогу побачити всі необхідні деталі, включно з числовими характеристиками елементів схеми. Однак, щоб побачити інші ділянки схеми студенту необхідно або змінити масштаб графічного елемента, або постійно пересувати його, роблячи видимими одні фрагменти і приховуючи інші. Зміна масштабу, постійний перехід від частини зображення до зображення в цілому й назад, його «гортання» ускладнює розуміння того, що ж представлено на екрані, а в здебільшого робить цілісне сприйняття проблемним.

Дані дослідження MOVR показують, що смартфони з великими розмірами екрану починають домінувати на ринку мобільних пристроїв. Відзначається, що частка продажів смартфонів з діагоналлю екрану від 5,5 до 6 дюймів зростає з 7,5%

у 2015 р. до 43,3% у 2017, і понад 59% від обсягу інтернет-трафіку припадає на пристрої з екраном, розмір якого більш ніж 5". Одночасно з цим смартфони з великою діагоналлю екрану (фаблети) менш популярні – за цим показником вони близькі до планшетів і у використанні не дуже зручні. Згідно з даними цього ж дослідження сегмент ринку фаблетів з розміром діагоналі екрану 7,1" становив у 2017 р. менше 1%. Саме те, що екрани з діагоналлю 5,5"- 6" у дослідженні віднесені до великих підтверджує відсутність тенденцій до масового використання фаблетів з «величезними» екранами.

Наші спостереження підтверджують наведені цифри – студенти, як і всі інші власники мобільних пристроїв, не часто користуються фаблетами і майже ніхто з них не приносить на заняття планшети. Можна впевнено прогнозувати, що без адаптації відомих на сьогодні мобільних технологій до специфіки інженерної освіти буде складно проводити тестовий контроль на смартфонах або навіть на планшетах із їхніми порівняно не великими екранами. Якщо не будуть знайдені принципово нові технічні рішення, то складно очікувати поширення мобільних пристроїв з розміром екрану, недостатнім для зручного перегляду на них графічних ілюстрацій великого розміру – таких, які необхідні для успішного засвоєння навчального матеріалу студентами, майбутніми інженерами.

З урахуванням зазначеної специфіки було прийнято рішення під час проектування мобільного додатка SSUquestionnaire-m відмовитися від виведення зображень на екран мобільних пристроїв. Натомість запропоновано графічні елементи, які включаються у тестові завдання, роздруковувати на аркушах формату А4, а якщо цього недостатньо, то на аркушах більшого формату і за наявності технічної можливості – виводити на проекційний екран або екран телевізора. Проте, якщо розмір зображень прийнятний, то, щоб не погіршувати читабельність завдання, рекомендується не виривати їх з контексту і друкувати разом з іншим змістом завдання (рисунок 4.10).

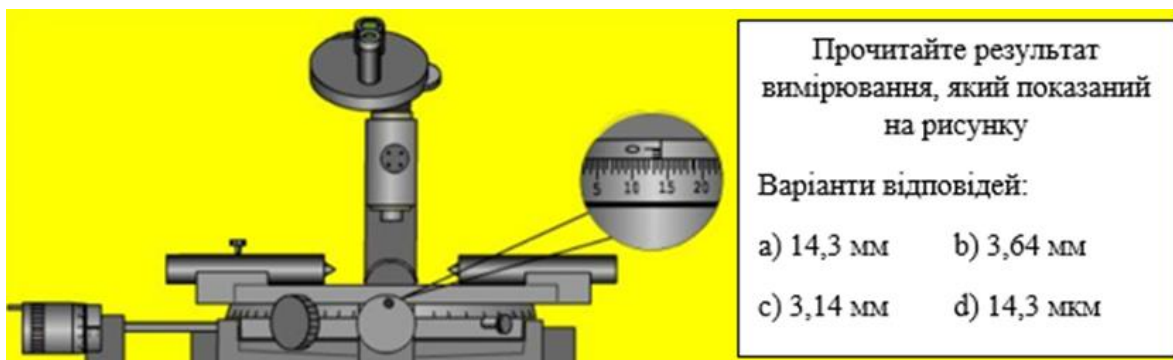


Рисунок 4.10 – Приклад тестового завдання з графічним зображенням

Ще однією особливістю, яку, на думку авторів, потрібно враховувати в процесі створення мобільних додатків для тестового контролю з дисциплін інженерного профілю, є необхідність виконання практичних занять, як правило, у спеціалізованих навчальних лабораторіях або виробничих приміщеннях. Це пов'язано з тим, що частина компетенцій, які мають бути сформовані в студентів інженерних спеціальностей, є вміння управляти технічними об'єктами різного ступеня складності. Якщо складність об'єктів не надає можливості змодельовати роботу з ними за допомогою фізичних або електронних моделей, то для набуття відповідних компетенцій заняття проводяться поза навчальних аудиторій – там, де є необхідні умови для навчання студентів.

Не виключено, що під час проведення занять у спеціалізованих приміщеннях забезпечити надійний доступ до мережі мобільного зв'язку буде технічно складно, наприклад, через перешкоди, спричинені роботою лабораторного або промислового обладнання. Є ймовірність, що буде потрібно прийняття додаткових заходів, зокрема, щоб зробити такий доступ для студентів безкоштовним. Як наслідок, за неспроможністю підключення до мобільної мережі, здійснити контроль на мобільних пристроях стане можливим, якщо тільки заняття з вивчення навчального матеріалу й контроль отриманих знань відокремити за часом і проводити в різних приміщеннях: власне практичні заняття – у навчальній лабораторії або на виробництві, контрольні заходи – у навчальній аудиторії з доступом до мережі через операторів мобільного зв'язку або з використанням

технології бездротової мережі Wi-Fi. Якщо це недоцільно або не реалізовується, то мобільні додатки повинні надавати змогу проводити тестування без підключення до мобільної мережі.


Для виконання цієї умови мобільний додаток SSUquestionnaire-m спроектовано так, щоб після його установки на планшет або смартфон можна було здійснювати всі етапи тестового контролю знань студентів повністю в режимі офлайн.

На рисунку 4.11 показаний фрагмент бланка з тестовими завданнями (у поточній версії програми допускається від 3 до 15 завдань в одному тесті, кількість варіантів тесту – не обмежена).

СИСТЕМА ДОПУСКІВ І ПОСАДОК ГЛАДКИХ ЦИЛІНДРОВИХ З'ЄДНАНЬ

Цифровий код:
23AC1DD1634B12

QR-код



1) Вкажіть правильні параметри посадки

Варіанти відповідей:

- a) $S_{max}=8$ мкм
- b) $N_{max}=11$ мкм
- c) $S_{max}=11$ мкм
- d) $N_{max}=8$ мкм

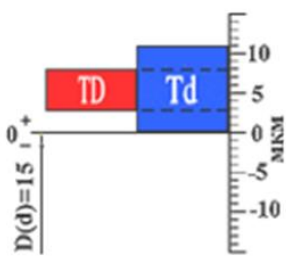


Рисунок 4.11 – Приклад тестового завдання з графічним зображенням

На початку вказані назви теми контрольованого навчального матеріалу і далі наведено цифровий і QR-коди, у яких зашифровані варіанти правильних відповідей (вони необхідні для підведення підсумків контролю). Ще нижче записані тестові завдання й поруч ілюстрації, що пояснюють зміст завдань. Роздруковані бланки роздаються студентам перед початком тестування.

Студенти, після того як отримують бланки із завданнями, можуть ввести необхідні для початку контролю дані з допомогою оптичного сенсора смартфона.

Для цього досить направити сенсор на верхню частину бланка, натиснути на екрані смартфона кнопку «Сканувати» й утримувати зображення QR-коду, що з'явилося на екрані, доти, поки сканер програми не захопить його й не розпізнає. Після цього розпізнаний цифровий код відобразиться у відповідному текстовому полі на екрані смартфона.

За час дослідної експлуатації додатку SSUquestionnaire-m (проводилося з вересня 2018 року по травень 2019 року, залучено 86 студентів інженерних спеціальностей) не було зафіксовано випадків, коли смартфони, якими користуються студенти, не оснащувалися б оптичними сенсорами і з цієї причини їх не можна використовувати для тестового контролю знань. Але, не виключено, що для тестування буде використаний смартфон, який не оснащений технічними характеристиками, необхідними для зчитування QR-коду, або воно пройшло невдало. Тоді студент може задати цифровий код вручну, прочитавши його на бланку завдання й потім вводячи у відповідне поле за допомогою екранної клавіатури.

Після введення цифрового коду вручну або сканування QR-коду для початку контролю досить натиснути кнопку «Продовжити...» в нижній частині на стартовому екрані програми.

Відомо що у 2018 році 88% мобільних пристроїв були продані зі встановленою операційною системою Android, 11,2% – IOS та інші – менше ніж 1%. Тому, цілком імовірно, що студент не зміг би брати участь у проведених контрольних заходах із цієї причини, що додаток SSUquestionnaire-m не сумісний з операційною системою пристрою, з яким він прийшов на заняття (у нашому дослідженні пристроїв з операційною системою Android з версією нижче ніж 4.0 не траплялося, проте були навчальні групи, у яких 1-2 студенти, одиничний випадок – 3 студенти, мали смартфони з IOS). Крім того, особливо, якщо заняття проводиться у навчальній лабораторії або на виробничій базі, у студента може взагалі не виявитися будь-яких технічних пристроїв, щоб брати участь у контрольних заходах.

Одним із рішень у цьому випадку є контроль за сумісною BYOD-GYOD технологією (використовуються пристрої, власники яких є студенти, а кількість, якої не вистачає, видає викладач). Інший варіант – проводити контроль у два етапи: спочатку серед студентів, у яких є необхідні мобільні пристрої, а потім, передати їх студентам, які залишилися, і завершити контроль. Зазначимо, що для тестового контролю знань із дисциплін професійної та практичної підготовки студентів інженерних спеціальностей обидва варіанти незадовільні. За першим варіантом кожному викладачеві необхідно мати додатковий комплект технічних пристроїв, придбання яких не завжди можливо, а за другим нераціонально витратити навчальний час і, крім того, важче забезпечити умови для запобігання списування студентів одне в одного.

Мобільний додаток SSUquestionnaire-m дає можливість відмовитися від проведення тестування за двома небажаними варіантами. Для цього достатньо студентам, у яких немає необхідних для контролю технічних пристроїв, запропонувати записувати відповіді на аркуші паперу. У цьому випадку контроль проводиться за дещо зміненою методикою.

Ті студенти, які мають сумісні мобільні пристрої, виконують тестові завдання за допомогою програми SSUquestionnaire-m. Їм треба позначити правильні відповіді в основному вікні додатка дотиком пальця до відповідного елементу «Checkbox» на екрані. Відповідно до виконання завдань студенти поступово «прокручують» екран мобільного пристрою. Залежно від масштабу відображення, розміру й орієнтації екрану в поле зору зазвичай одночасно потрапляє не більше 4-8 завдань. Для студентів це менш виснажливо, ніж проведення тестового контролю з допомогою карток, шаблонів або спеціальних технічних засобів навчання, коли необхідно шукати відповідність відразу між повним списком завдань і номерами відповідей. Зазначимо, що розміщення на одному бланку тестових завдань та відповідей на них для студентів можливо зручніше, але ускладнює викладачеві автоматизацію підсумовування результатів контролю.

Якщо студент не цілком впевнений у відповіді, то він зможе висловити ступінь свого сумніву, переміщуючи повзунок елемента «SeekBar» у будь-який із

положень від крайнього правого положення («Так», повністю впевнений) до крайнього лівого положення (зовсім не впевнений). Кожен із відповідей після цього буде оброблений із використанням математичного апарату нечіткої логіки. У термінах звичайної логіки знання студента оцінюються з того, чи збігається його відповідь з еталонною (робиться висновок, що відповідь правильна), чи ні (вважається, що відповідь неправильна). Застосування нечіткої логіки забезпечує можливість встановити залежність між зазначеною студентом ступінь збігу відповідей (положення бігунка) з кількістю балів, що проставляється. Це також дає змогу усунути з результатів тестування помилку, пов'язану з необхідністю через нестачу знань домислювати відповідь, щоб залишатися у рамках суворої логіки.

Щоб побачити результати контролю після виконання всіх завдань тесту, студенту необхідно натиснути на кнопку «Показати результат», яка розташована в нижній частині на основному екрані. Після цього результати контролю відобразяться на екрані мобільного пристрою, які студенти мусять показати викладачеві, наприклад, піднімаючи руку з затиснутим пристроєм і розгортаючи його екраном у бік останнього. Далі викладач просто фіксує отриману студентом оцінку й перевіряє відповідність виконаного завдання згідно з поданим варіантом (за останніми чотирма символами цифрового коду, які відображаються на тому ж екрані).

Студенти, які не проходять контроль за допомогою технічних пристроїв, записують свої відповіді на папері, вказуючи навпроти номера питання буквено-цифрову відповідь, де букви – ідентифікатори правильної відповіді (a, b, c, d) і число – ступінь впевненості у відповіді (від 0 – не впевнений до 1 – однозначно «Так» із проміжними значеннями у вигляді десяткового дробу з одним знаком після коми: 0,1; 0,2 ...).

Після завершення загального для всіх контролю, викладач може в тій частині студентів, які виконували завдання на папері, забрати письмові відповіді та перевірити їх правильність на своєму мобільному пристрої. Буде витрачено деякий додатковий час на введення відповідей студентів, проте він незначний, займає

кілька хвилин і, крім того, повністю компенсується можливістю тестового контролю для всієї групи студентів без винятків.

У процесі проєктування, налагодження й дослідної експлуатації мобільного додатка SSUquestionnaire-m авторами постійно здійснювалися спостереження, фокус-групові дискусії та індивідуальні співбесіди з викладачами і студентами. За підсумками роботи фокус-груп і на основі відповідей учасників обговорень була розроблена анкета емпіричного дослідження, спрямованого на вивчення особливостей застосування мобільних технологій для тестового контролю знань студентів інженерних спеціальностей. Анкетування викладачів дисциплін професійної та практичної підготовки студентів, майбутніх інженерів, показало, що 92% з них вважають небажаною демонстрацію графічних зображень на екранах мобільних пристроїв. Студенти тут не такі категоричні, проте під час вивчення навчального матеріалу з графічними ілюстраціями більшість (61%) вважають замість мобільних пристроїв краще використовувати комп'ютери або інші технічні засоби. Щодо забезпеченості навчального процесу доступом до мобільних мереж думки викладачів і студентів збіглися (понад 90% задоволеності висловила кожна цільова аудиторія). Водночас за результатами обговорень були виявлені окремі навчальні аудиторії, де немає будь-якого виду доступу до мобільних мереж. Сумарно за цільовими аудиторіями, які брали участь у тестуванні, використовуючи мобільного додатка SSUquestionnaire-m, у відповідь на питання, чи є доцільним використання мобільних пристроїв для проведення тестового контролю знань, позитивно відповіли 86%.

Дослідна експлуатація додатку SSUquestionnaire-m підтвердила висновок про те, що за наявності адаптованої методики тестового контролю використання мобільних пристроїв для перевірки знань студентів інженерних спеціальностей є виправданим. Є можливість частково врахувати особливості викладання дисциплін професійної та практичної підготовки в технічному ЗВО. На цій основі провести контроль із тестовими завданнями, у яких є графічні ілюстрації різних розмірів, в умовах, коли доступ до мобільного зв'язку неможливий та зі стовідсотковим охопленням усіх присутніх студентів.

4.4 Оцінювання якості викладання дисциплін у середовищі E-learning Сумського державного університету

Стрімкі зміни у політичних, соціально-економічних та культурних реаліях в Україні та світі, сучасні тенденції глобалізації та інтеграції світової спільноти позначаються й на освітній сфері. Модернізація у галузі освіти потребує застосування інноваційних технологій, творчого пошуку нових стратегічних напрямків удосконалення змісту, методів, прийомів і засобів навчання та впровадження їх у навчально-виховний процес вищих навчальних закладів.

На сучасному етапі розвитку системи вищої освіти в Україні вузи починають розробляти системи управління якістю, які відповідають вимогам ДСТУ ISO 9001:2015 (гармонізований із ISO 9001:2015) [59] та охоплюють не тільки організацію самого навчального процесу, а й технічну, матеріальну, методичну та інші бази. У зв'язку з цим гостро постало питання про якість викладання дисциплін, що впливає на активізацію знань студентів та їх позитивну мотивацію.

Крім того, суттєво збільшується роль використання сучасних інформаційних технологій, а саме використання єдиного комп'ютерного навчального середовища. Це дозволяє системно підійти до підвищення рівня надання освітніх послуг у межах вищого навчального закладу.

Тому підвищення якості освітніх послуг шляхом впровадження системи оцінювання процесу викладання дисциплін в єдиному інформаційному просторі є актуальним питанням для ВНЗ.

На сьогодні вища освіта в Україні перебуває на стадії трансформації від радянської до загальноєвропейської моделі, встановленої відповідно до підписаного Україною в 2002 році Болонського договору. Приєднавшись до Болонського процесу, Україна взяла на себе зобов'язання проводити роботу з приведення якості національної освіти у відповідність до європейських стандартів.

Основний акцент при реформуванні вищої школи робиться на необхідність створення внутрішньовузівських систем якості. Одним із головних завдань систем управління якістю згідно з вимогами стандартів ДСТУ ISO 9001:2015, що впроваджуються в сучасних ВНЗ, є наявність оберненого зв'язку та визначення

ступеня задоволеності внутрішніх споживачів – студентів. Якість освіти або отримання на виході необхідного роботодавцям фахівця в першу чергу залежить від якості роботи викладача [60]. Отже, питання контролю та оцінювання якості роботи викладача є однією зі складних і важливих завдань в управлінні якістю освіти. Таке оцінювання необхідне для коригування дій в освітніх процесах ВНЗ та внесення змін до управління організацією, освітні програми і технології навчання, а також при входженні в Болонський процес, де необхідна акредитація окремих дисциплін навчального плану.

Основними засадами створення систем зворотного зв'язку займалися ряд вчених: С. Evans [61]; A. Lizzio and K. Wilson [62]; Ball E. C. [63]; P. Black and D. William [64]; J. Hattie and H. Timperley [65] та ін. Їх дослідження направлені на вивчення впливу цих систем на мотивацію студентів (і таким чином на якість освіти).

Вивчення зворотного зв'язку не є новим і на вітчизняному просторі. Так, наприклад в Херсонському державному університеті під керівництвом професора Співаковського О.В. організована інформаційна система оцінювання задоволеності студентів на базі використання сервісу KSU Feedback [66-67].

Проте не менш важливим етапом оцінювання якості викладання дисциплін є аналізування результатів та прийняття рішень на їх основі.

В Україні з метою забезпечення якості вищої освіти були затверджені ряд нормативних документів, таких як [68, 69]. У них визначені основні шляхи підвищення якості освіти та відповідальні органи.

У Сумському державному університеті також впроваджені ряд нормативних документів: Положення «Про систему контролю якості навчального процесу СумДУ», Положення «Про бюро із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти» та ін. [70–73]. Ці документи регламентують організаційні форми і складові системи контролю якості навчального процесу, моніторингу якості освітньої діяльності та якості вищої освіти в цілому у різних її складових в усьому університеті. Також при університеті створено Раду із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти, яка реалізує політику університету в

сфері забезпечення якості та здійснює моніторинг. Крім того, у Сумському державному університеті разом із провідними ВНЗ України за підтримки Міністерства освіти та науки України з 2015 року виконується проект Європейського Союзу програми Erasmus+ “Quality Assurance system in Ukraine: Development on the Base of ENQA Standards and Guidelines” (QUARE-562013-EPP-1-2015-1-PL-EPPKA2-SBHE-SP).

Але аналіз вимог нормативних документів України та СумДУ показав, що в них не визначені критерії та шляхи оцінювання якості викладання дисциплін, тому автори пропонують розроблення системи та методу оцінювання показників якості викладання.

Слід зазначити, що у наш час освітній процес характеризується впровадженням сучасних інформаційних систем, який полягає в створенні єдиного інформаційного простору [74]. Це значно спрощує обмін інформацією, а також збір необхідних даних. Крім того, інформаційні технології дозволяють створювати великі масиви вихідних даних та аналізувати їх в найкоротший термін.

У СумДУ впроваджена система e-learning [75], яка функціонує в єдиному інформаційному просторі університету та складається з підсистем: накопичення та доступу до навчально-методичних матеріалів; управління навчальним процесом; забезпечення розробки та наповнення навчального контенту; взаємодії учасників навчального процесу та електронний кабінет студента. Усі підсистеми тісно інтегровані між собою і працюють в єдиному комплексі.

Отже розроблення системи оцінювання якості викладання необхідно проводити з урахуванням можливостей та вимог інформаційних систем, що впроваджуються в університеті.

Аналіз вітчизняного досвіду в оцінюванні якості викладання дисциплін дає можливість визначити дві розповсюджених форми контролю: контроль на рівні викладача проводиться з метою вивчення досвіду своїх колег (взаємовідвідування) і анкетування студентів через певні проміжки часу або по закінченні вивчення окремих дисциплін.

Як вже зазначалося, критерії оцінки якості роботи викладача ВНЗ нормативно не визначені. Виходячи з чого, в освітніх установах існують різного роду переліки вимог до педагогічних працівників. Як правило, їх використовують при проходженні процедури конкурсних відборів на заміщення вакантних посад та оцінка таких показників має суб'єктивний характер та є лінгвістичною, наприклад «добре» чи «задовільно».

Для прийняття рішень стосовно якості викладання дисциплін в роботі був запропонований узагальнений показник – «рівень якості». Для обґрунтування рішень необхідно мати можливість оцінити його кількісно. Тому в роботі запропонована система показників якості викладання (рис. 4.12).

Для оцінювання «рівня якості викладання» дисциплін у ВНЗ запропонований комплексний показник якості викладання, який розраховується за формулою [76,77]:



Рисунок 4.12 - Показники якості викладання

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \gamma_i}{9} \cdot 100, \% \quad (4.1)$$

де Q_i – значення одиничного ПЯВ в класифікаційній групі (в балах);

n – кількість показників якості викладання.

Для наочності представлення комплексного показника його значення нормували до еталонного, який має значення 100%. Також використано коефіцієнт перерахунку розмірності 100/9, оскільки максимальне значення одиничного показника якості викладання рівне 9 балам.

Значення одиничних показників якості викладання одержують шляхом опитування експертів: викладачів при взаємовідвідуванні занять або студентів при анкетуванні в електронному кабінеті. Для кількісної (бальної) характеристики одиничних показників якості викладання Q_i використовують шкалу, що наведена в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Бальні характеристики оцінювання одиничних показників якості викладання Q_i згідно з критеріями

Кількість балів для одиничного ПЯВ	Опис відповідності критеріям
9-8	якість проявляється за всіма критеріями
7-6	якість проявляється досить часто, але не за всіма критеріями
5-4	якість проявляється у 50% критеріїв
3-2	якість проявляється рідко і лише за окремими критеріями
1-0	якість відсутня за всіма критеріями

Процес оцінювання рекомендовано здійснювати згідно з алгоритмом, який показаний на рис. 4.13.

Обґрунтування значень коефіцієнтів вагомості показників якості викладання автори пропонують здійснити шляхом використання експертного методу попарного порівняння – комплекс логічних і математико-статистичних методів і

процедур, пов'язаних з діяльністю експертів з опрацювання інформації, необхідної для аналізу й прийняття рішень.

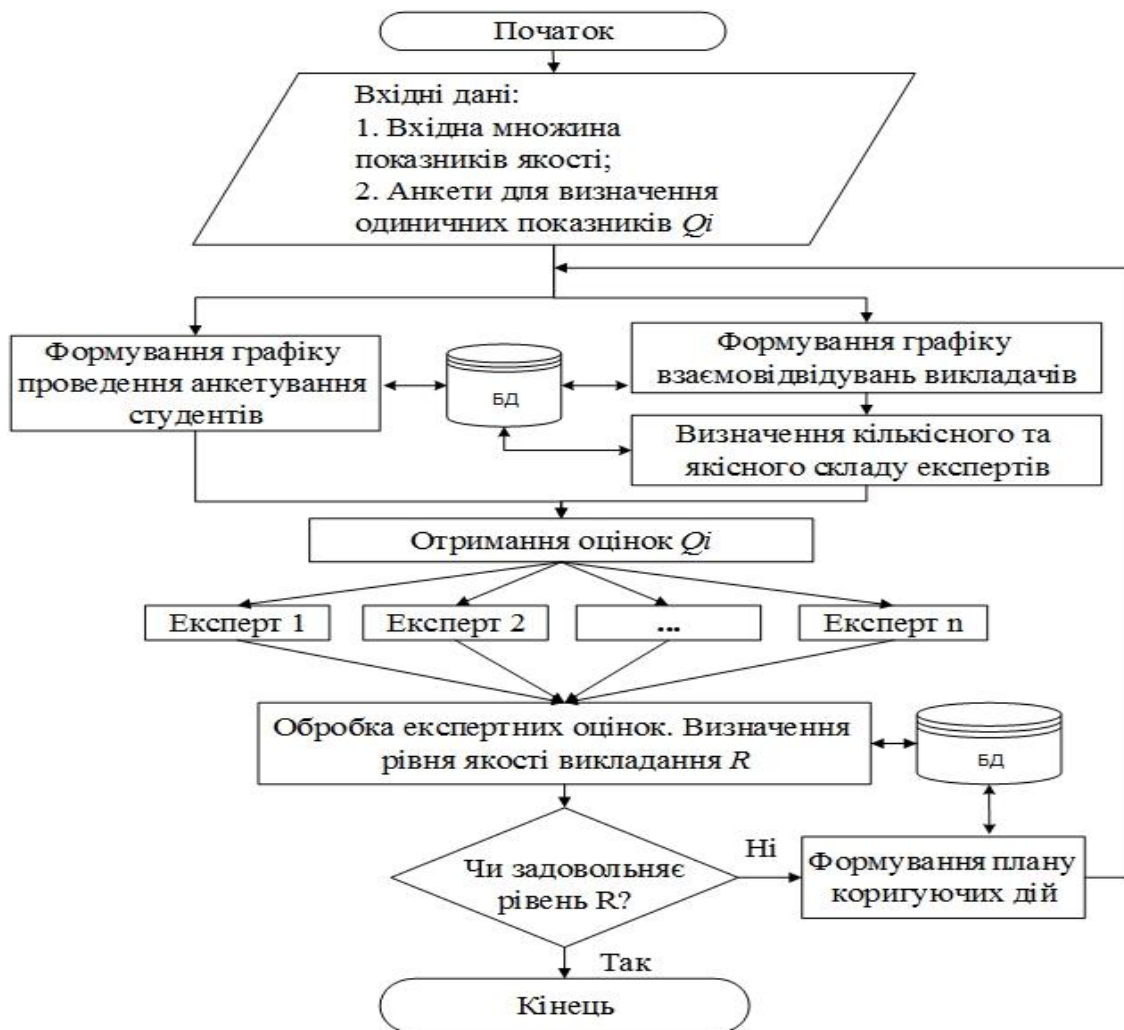


Рисунок 4.13 - Алгоритм проведення оцінювання рівня якості викладання дисциплін

Процедура визначення коефіцієнтів вагомості складається з двох основних етапів: на першому етапі проводиться вибір оптимальної множини найменувань ознак X , на другому – множини числових значень x кожної ознаки.

Після проведення робіт із формування експертної групи, проводиться кодування факторів і визначення думок експертів. Результат опрацювання аркуша аналізу думок члена експертної групи приведений у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Приклад аркуша аналізу думок члена експертної групи

Показники i Показники j	1	2	3	4	5	6	$G_j(1)$	$\gamma_j(1)$	$G_j(2)$	$\gamma_j(2)$	$G_j(3)$	$\gamma_j(3)$
1 Зміст заняття	1	2	1	2	1	1	8	0,222	46	0,229	257	0,231
2 Професійне спрямування	0	1	1	1	0	2	5	0,139	28	0,139	152	0,137
3 Методичний рівень	1	1	1	1	2	2	8	0,222	46	0,229	254	0,228
4 Структура заняття	0	1	1	1	1	1	5	0,139	28	0,139	155	0,139
5 Стиль викладання	1	2	0	1	1	0	5	0,139	28	0,139	158	0,142
6 Особиста майстерність викладача	0	1	0	1	2	1	5	0,139	25	0,124	137	0,123
Сума							36	1	201	1	1113	1

У табл. 4.4 перевага -го об'єкта перед -м позначена цифрою 2, рівноцінність - цифрою 1, а перевага -го об'єкта перед -м - цифрою 0.

У даній роботі уточнення коефіцієнтів вагомості запропоновано робити методом послідовного наближення. У табл. 4.4 значення коефіцієнтів вагомості отримані подвійним попарним зіставленням методом послідовного наближення, у якому результат виміру в (w) наближенні визначається як середньоквадратичне зважене. Первісні результати розглядаються в цьому випадку як перше наближення. У другому наближенні вони використовуються як коефіцієнти вагомості $\gamma_j(2)$ суджень експертів. Отримані з обліком цих коефіцієнтів вагомості нові результати, у третьому наближенні розглядаються знову як коефіцієнти вагомості $\gamma_j(3)$ тих же думок експертів і т.д. Згідно з теоремою Перона-Фробеніуса [78], при певних, виконуваних на практиці умовах, цей процес

сходиться, тобто коефіцієнти вагомості прагнуть до деяких постійних значень, що відбивають співвідношення між об'єктами експертизи при встановлених експертами вхідних даних.

Процес уточнення значень триває доти, поки точність не відповідатиме заданій.

Для оцінки коефіцієнта узгодженості думок експертів використовують коефіцієнт конкордації Кендела [79]. Узгодженість думок експертів вважають прийнятною, якщо значення коефіцієнта конкордації.

Для формалізації комплексного показника якості використано шкалу бажаності Харінгтона [80]. Вона відноситься до шкал, які знаходяться в інтервалі від нуля до одиниці. Тому для прийняття рішень на основі комплексної оцінки «рівня якості викладання» дисципліни запропоновані наступні рекомендації (табл. 4.6).

Таблиця 4.6. Коефіцієнти вагомості показників якості викладання (результати експертної оцінки)

Номер показника	Показник якості викладання англійської мови	Коефіцієнт вагомості
1	Зміст заняття	0,223
2	Професійне спрямування	0,137
3	Методичний рівень	0,201
4	Структура заняття	0,138
5	Стиль викладання	0,143
6	Особиста майстерність викладача	0,158

Таблиця 4.7 Рекомендації щодо прийняття рішень «рівня якості викладання» дисципліни

Результат «рівня якості викладання», %	Рекомендації щодо прийняття рішень
80 – 100	Дуже гарна якість. Процес викладання відповідає всім вимогам; якість забезпечена.
Вище 63 до 80	Гарна якість. Незначна невідповідність. Процес викладання може бути припустимим при умові виконання коригуючих дій; мають місце незначні невідповідності (чи одне значне)
Вище 37 до 63	Задовільна якість. Значна невідповідність. Процес викладання задовільний та може бути умовно зарахований; мають місце значні невідповідності, які мають бути усунені. Процес вимагає розроблення аналізу невідповідностей та їх усунення (або розроблення плану коригуючих дій)
Вище 20 до 37	Погана якість. Критична невідповідність процесу викладання. Процес вимагає часового обмеження до усунення невідповідностей.
Вище 0 до 20	Дуже погана якість. Повна невідповідність. Процес вимагає розроблення плану коригуючих дій, часового обмеження до усунення невідповідностей та повторної перевірки.

4.5 Практична реалізація методу оцінювання показників якості викладання

Запропонований в даному розділі алгоритм враховує дві форми контролю: контроль на рівні викладача (взаємовідвідування) і анкетування студентів.

Вимоги щодо першої форми контролю викладені у зазначених у розділі 1 нормативних документах СумДУ [81-83]. Згідно вимог цих Положень у СумДУ впроваджено взаємовідвідування занять. Щорічно формується склад експертних груп та графік відвідувань занять.

Проте якість викладання буде не достатньо оцінена, якщо не враховувати зворотній зв'язок зі студентами. Опитування може проводитись шляхом заповнення анкет або в електронному вигляді. Наразі у СумДУ проходить тестування «електронний особистий кабінет» – це єдине вікно доступу до різноманітних інформаційних сервісів, які дозволять зручно та своєчасно отримувати персоналізовану інформацію щодо навчання.

Практична реалізація запропонованої моделі оцінювання якості викладання буда проведена на прикладі викладачів кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів. Було проведено анкетування 32 студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальності «Технологія машинобудування» щодо п'яти викладачів профільних дисциплін. Результати обробки даних зведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Результати оцінювання «рівня якості викладання»

Результат «рівня якості викладання», %	Рекомендації щодо прийняття рішень	Кількість викладачів
Вище 80 до 100	Дуже гарна якість	1
Вище 63 до 80	Гарна якість	3
Вище 37 до 63	Задовільна якість	1
Вище 20 до 37	Погана якість	0
Вище 0 до 20	Дуже погана якість	0

Наявність викладача в групі «задовільна якість» пояснюється його недостатнім досвідом викладання (перший рік після аспірантури) та викладанням нової дисципліни за новим учбовим планом. Під час оцінювання були виявлені такі критичні точки: зв'язок матеріалу з професійними інтересами та недостатнє застосування технічних засобів навчання.

4.6 Підвищення ефективності вивчення загальноінженерних дисциплін шляхом використання тренажерів

Одним з протиріч сучасної вищої школи є те, що незважаючи на те, що сьогоднішні студенти широко володіють комп'ютерною, аудіо- (відео-) та іншою технікою, незважаючи на те, що вони зустрічались з основами технічних знань на уроках фізики, а в деяких випадках у виробничих майстернях на основах трудових навичок, де учнів знайомлять з елементами креслення, загально технічні дисципліни у виші сприймаються ними із значними труднощами. Ці труднощі пов'язані не тільки з тим, що студенти не обізнані або недостатньо обізнані із елементами техніки, але із тим, що їм важко сприймати нові поняття, які на перший погляд не несуть нічого складного, для звичайного сприйняття нових знань. Але саме це спостерігається викладачами загально інженерних дисциплін при перших зустрічах із студентами молодших курсів, на яких саме і розглядаються загально інженерні дисципліни.

Крім того жоден студент не отримує всі знання, що подаються в будь-якому середовищі: лекції, підручники та інше. Але чим більше активно студенти займаються матеріалом, тим краще матеріал засвоюється [84].

Незважаючи на різні форми, методи та технічні засоби, адекватні сучасним задачам підготовки спеціалістів вищої інженерної кваліфікації, що використовуються при вивченні загальноінженерних дисциплін, постійно відчувається відсутність наукових розробок у сфері інтенсифікації методичних розробок для підвищення ефективності сприйняття студентами нового інформаційного матеріалу, пов'язаного з технікою. Незважаючи на значні можливості реалізації дидактичних інформаційних матеріалів та використання комунікаційних технологій все ще залишаються основними інформаційними джерелами конспекти лекцій, навчальні посібники, методичні розробки. Саме вони й використовуються при самостійному вивченні матеріалу при будь-яких формах навчання: денна, дистанційна та ін. Потрібно також зазначити, що сучасні навчальні посібники із загальнотехнічних дисциплін не значно відрізняються від підручників, створених у попередньому столітті. Це, безумовно має своє пояснення

у тім, що елементарні поняття, що стосуються механічної техніки як і елементи деталей машин залишаються, і скоріш за все, залишаться практично незмінними на невизначений час існування людства. Але незважаючи на це, на наш погляд використання сучасних інформаційних технологій може вносити значне «забарвлення» у скупуватий інформаційний простір загальноінженерних дисциплін. Не вичерпаною у повній мірі їх функцією є використання тренажерів.

Тому метою дослідження є визначити ефективність використання інтелектуальних комп'ютерних тренажерів для пізнавальної діяльності під час вивчення загальноінженерних дисциплін.

Основними задачами керування навчальним процесом поряд з підвищенням ефективності засвоєння вмінь та навичок є також його оптимізація, направлена на подальший розвиток творчих здібностей, постійний пошук нового та на основі цього генерація нових ідей. Для цього вищі навчальні заклади повинні забезпечити свій персонал правильними інструментами та технологіями для того, щоб надати своїм персоналам можливість отримати надзвичайний досвід [85].

В педагогічній практиці існують наступні етапи керування навчально-пізнавальною діяльністю: вивчення об'єкту керування, розробка програми керування навчально-пізнавальною діяльністю, реалізація програми, контролювання за її засвоєнням, внесення корегування до програми та навчально-пізнавальної діяльності. Основи психолого-педагогічної теорії керування навчальною діяльністю були закладені в теорії поетапного формування навчально-пізнавальною діяльністю [86]. При традиційних та колективних засобах навчання на сьогоднішній день питання подальших пошуків вдосконалення керуванням навчально-пізнавальною діяльністю не втратили своєї актуальності, у зв'язку з тим, що з'явилися нові педагогічні технології, так звані «гнучкі», що дозволяють максимально підходити до індивідуальних здібностей кожного слухача та організувати індивідуальну підготовку та її контролювання в умовах колективних засобів навчання. Вони роблять процеси підготовки фахівців керованими, індивідуально-диференційованими, з великим рівнем рівнем особистої навчальної програми та навчанням виробничої діяльності [87].

Різні види можливостей навчання забезпечуються різними частинами мозку, які обробляють інформацію по-різному. Ці різні можливості навчання можна активувати, спілкуючись у різноманітних інформаційних форматах [88-90].

В последние годы для улучшения обучения студентов используются мультимедийные примеры. Было обнаружено, что результаты тестов были улучшены после включения модуля мультимедийных систем. С другой стороны исследования показывают, что некоторые студенты считают, что такие примеры не были полезны при подготовке к экзамену. Таким образом Nancy Hubing, David B. Oglesby, Timothy A. Philpot та ін. [91]. считают, что эффективные мультимедийные модули требуют периодического пересмотра на основе обратной связи и обучения учащихся, а также обновления на основе новых стимулирующих технологий.

Сучасна комп'ютерна технологія (мультимедіа) дозволяє створювати діалогові навчальні програми і тренажери, що включають комп'ютерну мультиплікацію, аудіо і відеотехніку. Як мінімум, це підсилить відчуття реальності при роботі з тренажером і відкриє нові можливості в процесі навчання.

W. Honekamp [92] пропонує класифікацію-ієрархію тренажерів, де нижчий рівень займають комп'ютерні програми навчання/викладання та навчальні тренажери, а вищий рівень – тренажери-симулятори для моделювання реальності (симуляції) у військовій, медичній справі, авіації тощо. Наприклад, до військових симуляторів відносяться САХ, СТС, TES. Завдяки ним людина практикує операції, що максимально відповідають реальним, насправді маючи справу лише з їх електронним аналогом. Проте такі системи відрізняються від навчальних тренажерів більшою деталізацією, складністю розроблення, а також складністю використання (користування деякими симуляторами потребує достатньої підготовки). Так, M. Petty, J. Соколовський і A. Talk та описують мінливість деталізації та рівень агрегації від рівня військової місії до рівня інженерного навчання [93]. Останні наукові розробки, такі як [94-97], стосуються деяких питань розроблення, впровадження та підвищення ефективності використання саме таких симуляторів.

На комп'ютерах чи смартфонах інтерактивні інструменти навчання в інженерії покращують аналітичні здібності студентів й координують навчальну діяльність [98-100]. У статті [101] Р. Hernandez, S. Taboada, L. Suarez, та ін. поділилися досвідом впровадження інтерактивного курсу для вивчення процесу лиття під тиском. Курс містить інтерактивне графічне вікно продукту, відео про реологічне моделювання, опис процесу та інтерактивне графічне вікно форми.

Проте аналіз джерел показав недостатність інформації щодо методичних підходів до розроблення навчальних тренажерів, які використовуються студентами, що вивчають загальноінженерні дисципліни.

Взагалі використання навчальних тренажерів є сукупність взаємопов'язаних дій. За Н. Тализіною [102] дія – це цілісна система елементів. Ці елементи забезпечують три основні функції: орієнтовну, виконавчу та контрольну – коригуючу. Центральною функцією є орієтовна. Саме ця функція і застосовується при використанні тренажерів. Виконавча функція при використанні тренажерів застосовується у найменшому ступені тому що вона пов'язана тільки з умінням працювати з програмним продуктом, на базі якого створений тренажер. Контрольно – коригуюча функція теж застосовується опосередковано, і полягає у тім, що користувач тренажера або самостійно, або під керівництвом та наглядом викладача оцінює своє засвоєння того чи іншого розділу предмета, і залежно від такої оцінки продовжує або припиняє користування тренажером. З точки зору [103] виконавча функція найменш ефективна і повинна навіть бути виключена з навчального процесу, тому що вона формує тільки механічні навички і не забезпечує увагу навчального процесу. Але з таким підходом аналізу дій під час використання тренажерів не можна погодитись, тому що тренажери якраз дають можливість завдяки механічного повторення того чи іншого поняття, схеми, співвідношення можна прискорити за рахунок візуальної пам'яті засвоєння матеріалу що вивчається. У даному випадку тренажер замінює рутинне перекреслювання по декілька разів схем або переписування формул та визначень, як це завжди пропонується або рекомендується для використання у навчальному процесі. Тобто виконавча функція навчальних дій при використанні

тренажерів тільки підвищує ефективність вивчення предметів загальноінженерних дисциплін.

На основі узагальнення досвіду науковців, що займалися розробкою нових освітніх технологій у вищій школі можна представити процес моделювання при створенні тренажерів для загальноінженерних дисциплін як сукупність взаємопов'язаних елементів, рис. 4.14.

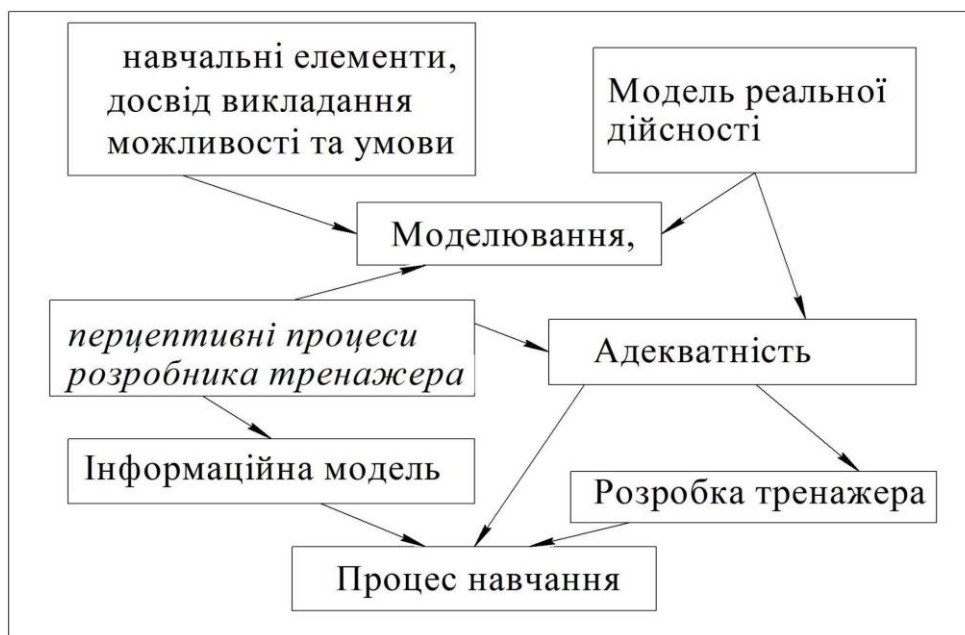


Рисунок 4.14 – Процес моделювання при створенні тренажерів

На погляд авторів моделювання не можливо виконувати, якщо не володіти навчальними елементами (визначеннями, питаннями, структурою дисципліни, вимогами до кінцевого результату, тобто знаннями та компетенціями, якими повинен володіти майбутній бакалавр з машинобудування.

Досвід викладання та можливості (володіння інформаційними технологіями,) а також умови створення тренажерів теж мають достатнє значення, як і образне уявлення реальної дійсності, наприклад реальне уявлення посадок із зазором, з натягом, перехідних, їх використання у різних сферах техніки. Сам процес моделювання здійснюється включенням перцептивної (візуалізованої) форми дій розробника тренажера, яка пов'язана з абстрактним уявленням інформаційних

моделей виконаних раніше можливо для інших явищ, для іншої фізичної природи, але асоціативно які можливо використовувати для адекватної розробки тренажера загальнотехнічних дисциплін. Розроблений тренажер перевіряється на адекватність розробленій дисципліні у процесі навчання саме для діагностики на кінцевий результати та корегування з метою удосконалення результатів.

Враховуючи ці елементи можна представити процес моделювання при створенні тренажерів для загальноінженерних дисциплін у вигляді алгоритму.

Також під час розробки тренажерів за цим алгоритмом необхідно враховувати вимогу забезпечення якості та властивості дій. До числа первинних властивостей відносять форму дії, міра її узагальненості, розгорнутості, засвоєності та самостійності. Усім цим параметрам і повинні відповідати тренажери під час вивчення інженерних дисциплін.

Так, за формою дії тренажери повинні відтворювати не статичний матеріал (схему, креслення із підручника), а показувати їх у динаміці, подібно тому, як інтерпретує цю схему викладач на дошці, олівцем на папері, але ще краще, ще ефективніше, з більшою точністю, ніж це можливо виконати олівцем на папері.

Вихідна форма дії може бути або матеріальною, або матеріалізованою, тобто при матеріалізованій дії у якості матеріального об'єкту виступає модель, а не сам матеріальний об'єкт. Під час вивчення інженерних дисциплін можливе використання обох форм дій, наприклад при вивченні мікрометра його матеріалізований об'єкт у тренажері може бути поданий у двох варіантах: у 2D (тобто поданий як креслення з поясненнями та анімацією принципу дії) та як більш реалістичний об'єкт у 3D, візуально фізично співпадаючий з реальним об'єктом з фото та відео. Але при цьому є значна відмінність у діях з матеріалізованими об'єктами. Матеріалізовані об'єкти фото та відео не підлягають керуванню, що значно обмежує використання саме таких об'єктів у тренажерах без значного розвитку сценаріїв дій у таких випадках. Цього недоліку не мають матеріалізовані об'єкти виконані у 3D які забезпечують виконання як мінімум анімації дій матеріалізованого об'єкта, що дає можливість широко використовувати їх у тренажерах інженерних дисциплін. При виборі вихідної форми дій у тренажері

важливо оцінювати та порівнювати ефективність матеріальної та матеріалізованої форм, а для матеріалізованої форми ще й ефективність видів матеріалізації. У деяких випадках, особливо коли студенти володіють наочно-образним мисленням, окремі схеми у тренажерах можуть бути виконані без складної матеріалізації, тобто представлені у перцептивній формі.

Міра узагальненості дій – ще одне з основних понять яке потрібно використовувати при розробці тренажера, та можливість його вимірювання під час засвоєння навчального матеріалу. Експериментально встановлено, що узагальнення здійснюється за властивостями, що надходять до орієнтовної основи діяльності. Інші характеристики не сприймаються як суттєві для дій. У разі тренажерів з дисципліни «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання» (далі ВСТВ) при розробці схем посадок орієнтовна основа діяльності лежить у чіткому уявленні поняття термінів «вал та отвір» а ці поняття у свою чергу пов'язані як з деталями машин, так і з їх геометричною інтерпретацією на площині креслення.

Розумова форма дії є завершальною на шляху перетворення дії із зовнішньої на внутрішню, тобто якщо у тренажері використовуються або матеріальні, або матеріалізовані форми дій, то у залежності від того, які структурні елементи дій, що розробляються, і що матеріалізовано у першу чергу, залежить результат розумової форми дій, тобто сприйняття, засвоєння, запам'ятання, абстрактне уявлення навчального матеріалу.

Вторинні властивості дій є наслідком сформованих первинних властивостей. Міцність дій залежить не тільки від кількості повторів дій на тренажері, але й від того, чи пройшли дії усі форми (матеріалізовану, інші) на шляху до розумової, чи було узагальнене.

Усвідомленість під час розробки методики створення тренажера міститься в умінні обґрунтувати, аргументувати правильність розробки тренажера, залежить від якості подачі дій, а це можливо у тому разі, коли на розробку дій глянути зі сторони.

Розумність дій показує наскільки вони адекватні умовам у яких виконуються, тобто наскільки суттєві умови, на які орієнтується створюючи методику для

тренажера. Це визначає, що розумність дій на тренажері визначається змістом його орієнтовної основи. Досягнути необхідну міру розумності можливо через правильне виділення умов, на які повинен опиратися розробник тренажера. Через керування процесом засвоєння матеріалу, тобто через контроль. Таким чином при розробці методики створення тренажерів потрібно виділяти та приймати до уваги не тільки види дій, але й показати, та обґрунтувати показники, відносно яких вони повинні бути створені. Визначене сполучення показників за кожною із первинних форм дає якісний особливий стан підвищення ефективності використання тренажерів.

При вдосконаленні діяльності під час розробки та використання тренажерів необхідно враховувати, що дисципліни, де домінують графічні об'єкти і на площині і у просторі (3D), потребують значних уявлень елементів технічних об'єктів та їх взаємодії, тобто потребують знаково-символічної діяльності. Тому актуальною є така організація навчального процесу, коли уявлення визначають сутність елементів технічних об'єктів та їх взаємодію.

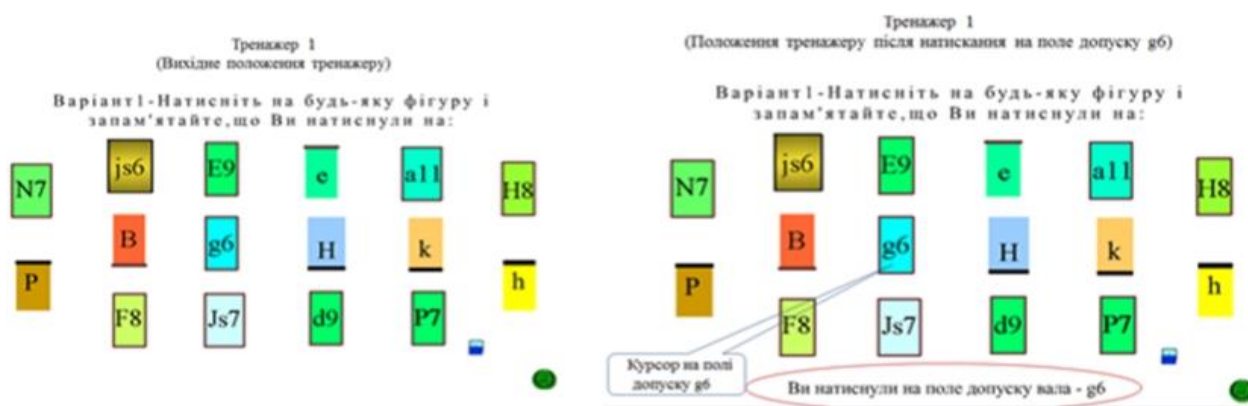
До типів моделей, що мають знаково-символічний характер та використовуються у наочному моделюванні можна віднести такі як: логічні, реляційні, семантичні, продукційні, фреймові. В логічних моделях використовується літеро-цифрова символіка, яка найчастіше зустрічається у загально технічних дисциплінах. Яскравим прикладом є дисципліна ВСТВ, де літеро-цифрова символіка використовується достатньо широко. Для логічних моделей можливим є використання графів, де вершини визначають навчальні елементи, (поняття, теореми), а ребра – взаємовідносини між елементами. Незважаючи на яскравість, графів, у інформаційних тренажерах їх використання обмежене. Реляційні моделі як правило представляють таблицями, наприклад таблиці основних відхилень, таблиці допусків і посадок, взагалі таблиці широко використовуються у стандартизації, і як допоміжний (довідковий) матеріал їх можливо використовувати при розробці тренажерів. Семантичні моделі пов'язані із визначенням символізму знаків (символами, зображеннями), тобто вимоги до семантичних моделей корелюють з вимогами до знаково-символічної діяльності, і

тому пропонуються для використання при розробці інформаційних тренажерів. Продукційні моделі фіксують процедуру дій користувача тренажера, наприклад перемістити поле допуску вала на його основне відхилення, створити схему розміщення полів допусків вала та отвору визначеної посадки. Найбільш яскравим прикладом фреймових моделей є поля допусків та посадок ВСТВ, де одиниці знань саме розміщуються у «фреймах» – «рамках», що несуть знаково-символічну інформацію про стан об'єкта розробки, аналізу, дослідження, і безумовно знаходять своє відображення у тренажерах з ВСТВ, хоч подібні навчальні елементи інших загальноінженерних дисциплін можуть знайти відображення при розробці інформаційних тренажерів. Таким чином використання фреймових моделей для тренажерів відповідає вимогам до знань, куди надходять активність роботи на тренажері, зв'язок із теоретичними та практичними заняттями, структурованість, а наявність імен фреймів забезпечує внутрішню інтерпретацію знань, що розміщується у фреймах.

Під час розробки інтелектуальних тренажерів використовують технології наочного моделювання (рис.3), що дозволяє стимулювати рівень мотивації набуття нових знань з інженерних дисциплін. Розробка тренажерів не передбачає використання дослідницьких функцій, а призначена як засіб засвоєння теоретичного матеріалу, тобто за видом знаково-символічної діяльності це схематизація, тому що окремі тренажери (особливо з ВСТВ) найчастіше мають саме схеми розміщення полів допусків, посадок.

Тренажери потрібно розглядати як інтерактивний навчально-тренувальний об'єкт, призначений для закріплення знань, набуття навичок та контролю знань під час вивчення дисципліни “Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання”. Призначені тренажери для кращого засвоєння матеріалу як при самостійній роботі, так і в присутності викладача. Переваги тренажерів полягають у тому, що повторювати запропоновані завдання можна будь-яку кількість раз, що дозволяє краще, швидше та легше засвоїти основні поняття теорії взаємозамінності деталей машин.

Приклад інтерфейсу тренажера показаний на рис. 4.17.



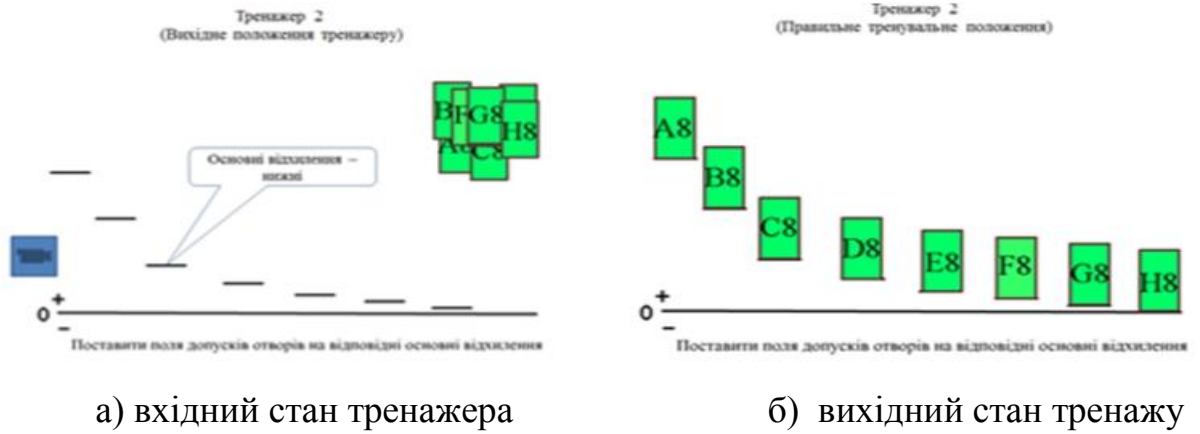
а) вхідний стан тренажера

б) вихідний стан тренажу

Рисунок 4.15 – Інтерфейс тренажера «Поняття поля допуску»

У наведеному тренажері подані 16 об'єктів (фігур) ВСТВ, до яких відносять поля допусків та основні відхилення. Приклади полів допусків подані як для валів, так і для отворів. Основні відхилення також подані як для валів, так і для отворів. Для збільшення тренувального ефекту об'єкти (фігури) подані у трьох варіантах. Перехід між варіантами здійснюється кнопкою у правому нижньому куту слайда. При натисканні курсором на будь-який об'єкт знизу на слайді з'являється відповідь, яку потрібно вивчити та запам'ятати. На даному прикладі на рисунку 3 відповідь: «Ви натиснули на поле допуску вала g6!».

У наступному тренажері (рисунок 4.16) задіяні 8 полів допусків отворів А8 – Н8. Над нульовою лінією показані місця розміщення основних відхилень. Пояснювальний текст до тренажера такий: переміщуйте поля допусків отворів курсором і при правильно їх розміщуйте на основних відхиленнях. У даному випадку основні відхилення – нижні, тобто на них потрібно розміщувати поля допусків. Вихід із режиму тренажера повертає тренувальне розміщення полів допусків у вихідне положення. Правильне тренувальне положення подано на слайді після слайда тренажера.

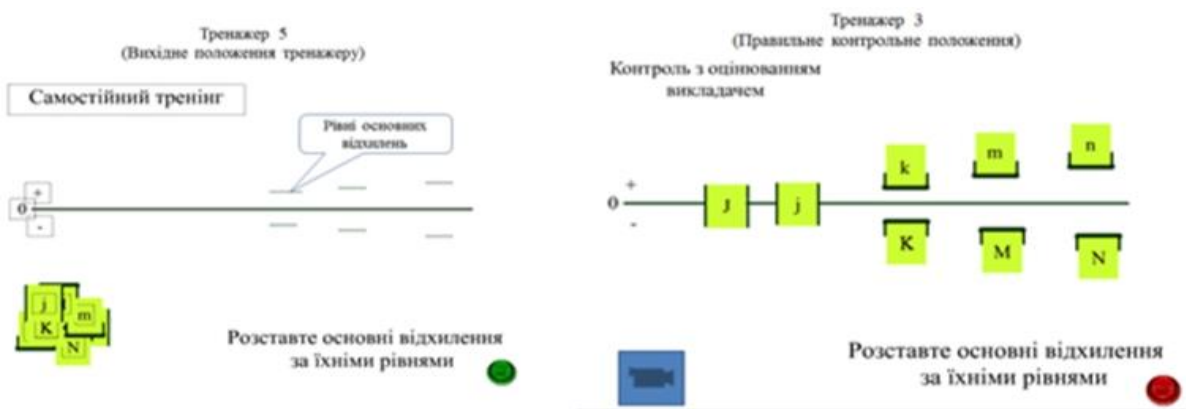


а) вхідний стан тренажера

б) вихідний стан тренажу

Рисунок 4.16 – Інтерфейс тренажера «Розташування полів допусків отвору»

У тренажері подані 4 основні відхилення отворів та 4 основні відхилення валів (рис. 4.17). Над та під нульовою лінією показані місця розміщення основних відхилень. У даному випадку частина основних відхилень – верхні, частина – нижні, а відхилення J та j мають симетричне розміщення на нульовій лінії. Місця розміщення основних відхилень подані для самостійного тренінгу. У тренажері під керівництвом викладача місця розміщення основних відхилень відсутні. Перехід від самостійного тренінгу до роботи під контролем викладача здійснювати натисканням на кнопку у правому нижньому куту слайда.



а) вхідний стан тренажера

б) вихідний стан тренажу

Рисунок 4.17– Інтерфейс тренажера «Розташування полів допусків валів і отворів»

Найбільш успішним є засвоєння тоді, коли дія, що здійснюється слухачами, співпадає з наочним матеріалом, співпадає з діями, що ведуть до усвідомлення предмета засвоєння. Саме такий результат спостерігається при використанні запропонованих тренажерів, тому що під час використання першого тренажера поля допусків потрібно креслити та підписувати їх різними літерами, що потребує часу та вміння креслити поля. При цьому кількість повторювань без тренажера обмежена часом креслення та обміркуванням запису відповідної знакової символіки. Тренажер значно полегшує сприйняття навчального матеріалу без обмежень у кількості повторень та різноманітності запропонованих матеріалів. Такий тренажер ефективно використовувати у розділі, де починають вивчатися поля допусків. Тренажер з основними відхиленнями теж має переваги в тому, що навіть така проста річ, як риска основного відхилення відносно нульової лінії не завжди відразу у повній мірі сприймається слухачами, а тим більше ігнорується ними для повторення у зв'язку з ніби-то елементарними речами для їх повторення графічними засобами. Тренажер же викликає потребу включати зорову пам'ять слухачів, тобто починає діяти перцептивне сприйняття теоретичного матеріалу, що дає можливість запам'ятовувати без використання графічних прийомів, у режимі ігрової ситуації, схеми розміщення основних відхилень. Наведене вище відноситься і до тренажера, де потрібно правильно показати схему розміщення основних відхилень, що використовуються при побудові перехідних посадок. Незважаючи на нескладний характер тренажера, він дозволяє у режимі самопідготовки отримати достатньо високу ступінь зорової пам'яті для усвідомлення схем розміщення таких основних відхилень, тобто можна ще раз підкреслити, у даному випадку, при використанні тренажера дія, що здійснюється слухачами, співпадає із потребою додавання динаміки до статичних схем (підручника, посібника) наочного матеріалу, і таким чином співпадає з діями, що ведуть до усвідомлення предмета засвоєння.

4.7 Впровадження CALS-технологій при управлінні якістю процесів життєвого циклу продукції

Ефективне управління якістю продукції машинобудівного підприємства (МП) згідно вимог міжнародних стандартів ISO серії 9000 на сучасному етапі розвитку науки і техніки передбачає зниження невизначеності на всіх стадіях життєвого циклу (ЖЦ) продукції, в першу чергу, за рахунок автоматизації вимірювань і оцінювання мінливих параметрів зовнішнього і внутрішнього середовищ.

З розвитком інформаційних технологій (ІТ) почали застосовуватися моделі системи управління якістю (СУЯ), реалізовані за допомогою різних комп'ютерних і програмно-мережевих комплексів, засобів автоматизованого проектування (САПР), інформаційно-аналітичних (ІАС) та інформаційно-керуючих систем (ІКС), автоматизованих систем управління (АСУ) тощо [104,106]. Саме ІТ, поряд з прогресивними технологіями виробництва, дозволяють істотно підвищувати продуктивність праці і якість продукції і в той же час мінімізувати витрати в ході ЖЦ продукції та значно скорочувати терміни постановки на виробництво нових виробів, що відповідають запитам і очікуванням споживачів.

З практики багатьох зарубіжних компаній [107,108] можна зробити висновок про те, що система менеджменту підприємства в даний час характеризується використанням різних інформаційних технологій, основу яких складають модулі, що відповідають стандартам CALS-технологій.

В даний час для управління матеріальними ресурсами на переважній більшості підприємств вже досить ефективно застосовуються модулі ERP-систем (Enterprise Resource Planning) і інший інструментарій CALS-технологій (PDM, CRSP, SRM, OLAP, DM і т.д.) [109-110]. В ході проведення дослідження встановлено, що сьогодні на МП ІТ застосовуються в основному для вирішення, як правило, окремо взятих завдань відповідного етапу ЖЦ: конструювання, розробки технологій, підготовки та управління виробництвом тощо. Проте аналіз інструментарію даних систем стосовно кожного етапу ЖЦ продукції показує, що модулі даних систем частково виконують однакові функції [111].

Головна проблема при цьому полягає в недооцінці труднощів, що виникають в процесі переходу від використання ІТ на окремих етапах ЖЦ продукції до роботи в єдиному інформаційному просторі (ЄІП), який би охоплював всі етапи ЖЦ продукції одночасно, у т.ч. і її після продажний супровід, і утилізацію.

Аналіз інформаційних джерел показав, що на сучасному етапі розвитку Україна прагне не відставати від західних держав у сфері автоматизації всіх стадій ЖЦ. В даний час із зазначеної проблематики в галузі впровадження CALS-технологій і їх застосування в процесі розробки виробів є ряд робіт відомих авторів [112,113], в яких досліджені питання, що виникають на шляху впровадження CALS-технологій і їх використання на вітчизняних підприємствах. Разом з тим встановлено, що теоретичні розробки та методики впровадження носять узагальнений характер, не деталізовані і не можуть бути застосовані при практичній реалізації проекту створення ЄІП.

Таким чином, актуальною задачею, що має важливе значення для вітчизняної промисловості в умовах постійного зростання конкуренції на світовому ринку наукомісткої продукції, є розробка моделей і методів формування ЄІП для підтримки процесів розробки ЖЦ виробів. Використання CALS-технологій в СУЯ забезпечить комплексну інформаційну підтримку прийняття обґрунтованих управлінських рішень про якість продукції на основі оперативного збору, обробки та аналізу інформації в єдиному інформаційному середовищі підприємства.

Розробка єдиного методологічного підходу до побудови систем управління якістю продукції на основі застосування CALS-технологій.

В ході проведення дослідження визначені основні напрямки в реалізації інформаційної підтримки СУЯ на основі CALS-технологій. Основними з них є [109]:

- визначення загального підходу до автоматизованої підтримки СУЯ на принципах CALS-технологій.

- моделювання та опис структури інформаційних потоків СУЯ, що підлягають управлінню в ЄІС підприємства.

- створення ЄІС і програмних засобів для постійного аналізу інформації про якість продукції і процесів СУЯ.

- адаптоване застосування технологій реінжинірингу бізнес-процесів до питань проведення аналізу і реорганізації процесів СУЯ і управління якістю продукції в рамках сучасного підходу до впровадження інтегрованих ІТ і АСУ.

- створення сучасної інформаційної інфраструктури, що забезпечує ефективне управління інформаційними ресурсами СМК.

В основу розробки єдиного методологічного підходу до побудови СУЯ на основі застосування CALS-технологій покладено основні принципи менеджменту якості, засновані на процесному підході [131].

Реалізація схеми впровадження CALS-технологій складається з декількох основних етапів:

- організаційно-підготовчий;
- аналіз і реінжиніринг процесів СУЯ і процесів ЖЦ продукції;
- аналіз і визначення підходів до створення ЄІС на підприємстві;
- створення ЄІС на підприємстві, впровадження програмних додатків для інформаційної підтримки процесів ЖЦ продукції, регламентація порядку взаємодії учасників інформаційного обміну даними про якість продукції і процесів.

Процес виробництва машинобудівної продукції складний і неможливо визначити точну причину виникнення браку в реальній ситуації. Тому, необхідно вдосконалювати СУЯ і впроваджувати статистичні методи, які дають можливість простежити весь технологічний процес виробництва і тримати під постійним контролем найвідповідальніші його етапи.

За рахунок застосування і автоматизації використання статистичних методів, в кінцевому рахунку, вдається підвищити ефективність управління якістю на всіх етапах виробничого процесу і приймати об'єктивні управлінські рішення щодо умов і результатів протікання процесів і якості продукції, що випускається.

Впровадження інформаційних систем на прикладі продукції інструментальної підготовки виробництва машинобудівних підприємств.

В [114] встановлено, що стосовно до системи інструментальної підготовки виробництва машинобудівного виробництва, модулі CALS-технологій практично не враховують специфіку та особливості ЖЦ технологічної оснастки та інструментів. Тому модель процесно-орієнтованої системи управління ІПВ в умовах інформаційних технологій можна зобразити у вигляді трьох взаємозалежних моделей: організаційної моделі ІПВ, інформаційної моделі системи ІПВ і системи управління якістю ІПВ (рис. 4.18).



Рисунок 4.18 – Концептуальна модель системи управління ІПВ в умовах інформаційних технологій

Аналіз рис. 4.18 показує наявність великої кількості різноманітних інструментів, які можуть бути застосовані при реалізації запропонованої концептуальної моделі системи управління ІПВ. Реалізація цієї моделі обумовлена наявністю проблем, пов'язаних, з одного боку, із розробкою та впровадженням систем управління якістю ІПВ, з іншого - впровадженням програмних продуктів та інформаційних засобів [130].

Головна проблема при цьому полягає в недооцінці труднощів, що виникають в процесі переходу від використання ІТ на окремих етапах ЖЦ продукції до роботи

в єдиному інформаційному просторі (ЄІП), який би охоплював всі етапи ЖЦ продукції одночасно, у т.ч. і її післяпродажний супровід і утилізацію. Тому для мінімізації ризиків, пов'язаних з реалізацією цієї моделі, запропоновано алгоритм її розробки та впровадження (рис. 4.19). Впровадження ІС ППВ складається з наступних етапів.

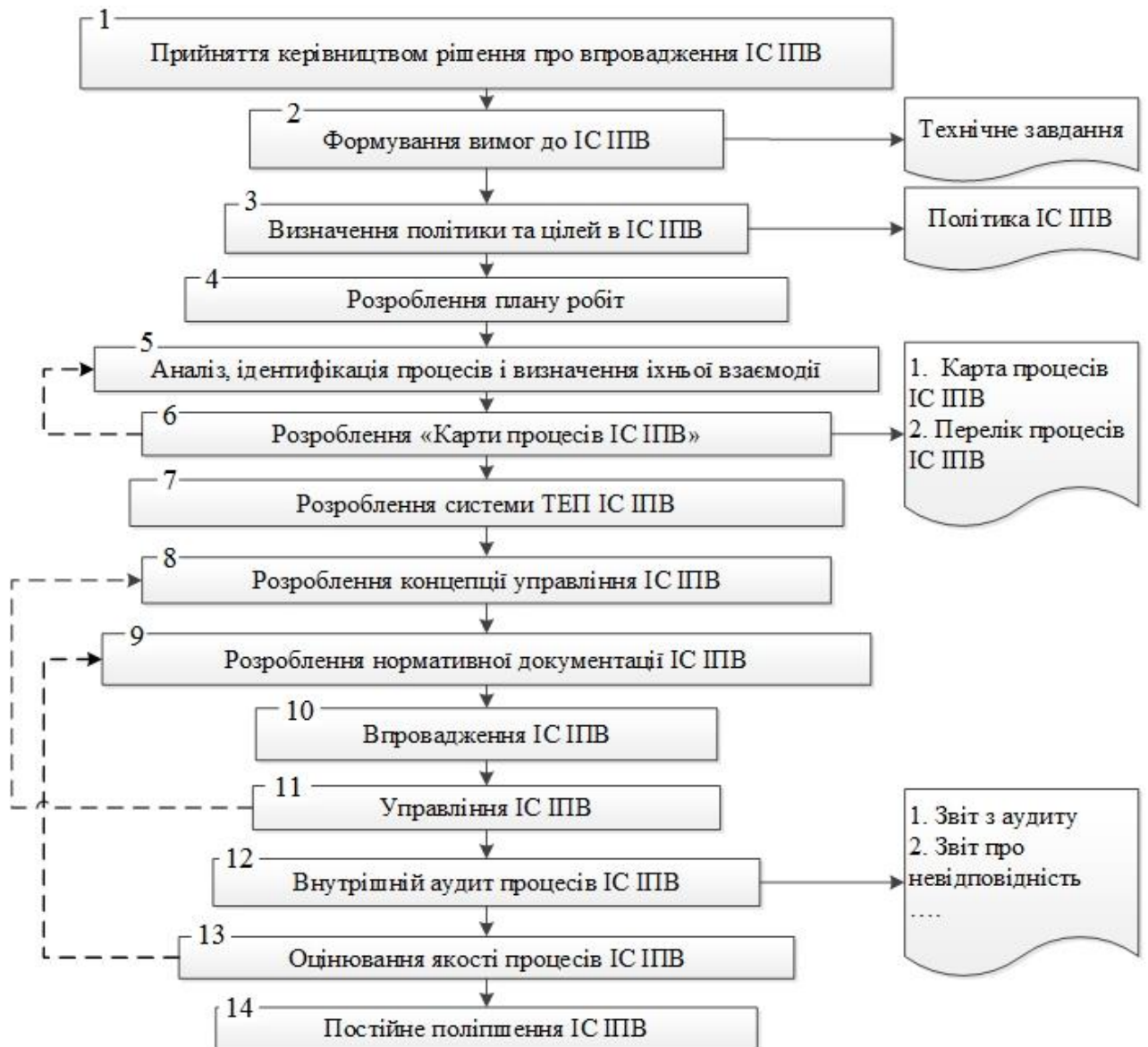


Рисунок 4.19 – Алгоритм впровадження системи ІС ППВ

1. Прийняття рішення керівництвом стосовно впровадження ІС ППВ.

На цьому етапі керівництво повинно визначити групу фахівців і керівника проекту з впровадження системи, визначити й відобразити в документах їхні

функції та обов'язки, переконатися в компетентності персоналу, який входить до групи фахівців.

2. Формування вимог до ІС ІПВ.

Група фахівців формує перелік вимог, яким повинна відповідати ІС ІПВ. На основі переліку вимог до ІС ІПВ та техніко-економічного обґрунтування її впровадження, розробляє проект технічного завдання та подає його на затвердження керівнику підприємства.

3. Визначення політики та цілей ІС ІПВ.

Робоча група формує проект політики та цілей ІС ІПВ. Керівник проекту узгоджує цей проект зі структурними підрозділами, що є учасниками цього процесу, та подає його на затвердження керівнику підприємства.

4. Розробка плану робіт.

На даному етапі керівник проекту розробляє проект плану робіт, визначає основні етапи виконання робіт, терміни їх виконання та подає його на затвердження керівнику підприємства.

5. Визначення, аналіз та ідентифікація процесів, що діють в ІПВ.

Робоча група визначає список процесів ІПВ та виконує їх аналіз. На основі детального аналізу всіх процесів, що діють в ІПВ, робоча група виділяє окремі процеси, встановлює: власників, споживачів й постачальників кожного процесу; цілі, які мають бути досягнуті в кожному з розглянутих процесів; хто вимірює (оцінює) результати процесів; хто або що ініціює на початку кожного процесу; вхідні параметри процесів, хто і як їх вимірює; як і ким (відповідальні особи) або разом з ким реалізується кожний процес; виходи відповідних процесів, або що є результатом їх виконання; наявність опису алгоритму дій (модель) для перетворення відомих входів в задані виходи кожного процесу; порядок дій при змінах у ході його здійснення; як і за допомогою яких критеріїв проводиться оцінка кожного процесу. Базу для класифікації й угруповання процесів формують діючі на підприємстві положення про структурні підрозділи й посадові інструкції. Основні процеси, тобто процеси, безпосередньо пов'язані зі створенням доданої вартості, доповнюються підтримуючими процесами й процесами управління. Виявлення в

організації основних процесів полегшує завдання визначення належності всіх процесів підприємства до певної групи.

Після того, як отримано перелік наявних процесів ІПВ, керівник проекту аналізує анкету детального обстеження з метою виявлення процесів, наявність яких вимагає стандарт ДСТУ ISO 9001:2009, але яких немає в складеному списку. Цей список також необхідно погодити зі співробітниками ІПВ і при необхідності внести в нього зміни. По кожному новому процесі необхідно провести роботи з його ідентифікації. На основі вимог, що пред'являються новою системою, оцінюється інфраструктура та визначається роль відділу інформаційних систем.

6. Розроблення «Карти процесів ІС ІПВ».

На основі отриманої інформації про діючі й нові процеси робоча група розробляє «Карту процесів ІС ІПВ» в організації. «Карту процесів ІС ІПВ» погоджують зі співробітниками ІС ІПВ, і при необхідності вносять в неї зміни. На основі «Карти процесів» керівник проекту розробляє «Перелік процесів ІС ІПВ в організації». Потім «Карта процесів ІС ІПВ» і «Перелік процесів ІС ІПВ в організації» затверджуються керівництвом.

7. Розроблення системи ТЕП ІПВ.

На основі політики та цілей ІС ІПВ розробляється загальна система техніко-економічних показників процесів ІС ІПВ, після чого вона затверджується керівництвом.

8. Розроблення концепції управління системою ІПВ.

На основі розробленої «Карти процесів ІС ІПВ» та технічного завдання робоча група з залученням представників постачальника програмного забезпечення проводять оцінку необхідних ресурсів для реалізації системи ІС ІПВ, проектують інтерфейс системи та створюють концепцію управління.

9. Розробка нормативної документації системи ІС ІПВ.

Робоча група з залученням персоналу системи ІПВ проводить роботи з розробки, оформлення та затвердження документації на організаційну модель ІПВ, інформаційну модель системи ІПВ і систему управління якістю ІПВ (рис.3).

10. Впровадження ІС ІПВ.

Робочою групою з залученням представників постачальника програмного забезпечення проводиться: підготовка персоналу, забезпечення технічними засобами робочих місць, впровадження програмного забезпечення, запуск системи, випробування та її дослідну експлуатацію.

11. Управління ІС ІПВ.

На цьому етапі керівники підрозділів ІПВ здійснюють обстеження існуючих форм і методів управління виробництвом, їх оцінку і порівняльний аналіз, визначають "вузькі місця" в управлінському процесі та фактори, які відіграють головні як позитивні, так і негативні ролі в управлінні процесом, а також здійснюють пошук критеріїв оцінки ефективності управління процесом. Відповідальний за процес одразу після визначення значення того або іншого показника й виявлення його відхилення сповіщає цю інформацію керівнику підрозділу, який здійснює регулюючий вплив, та розробляє рекомендації, спрямовані на підвищення ефективності управління процесом.

12. Внутрішній аудит ІС ІПВ.

Група з аудиту згідно з графіком проведення внутрішніх аудитів або управлінських рішень керівництва ІПВ проводить внутрішній аудит процесів ІС ІПВ. Аудитори проводять збір даних (методами опитування, вивчення документів, спостереження за діяльністю та ін.), аналізують їх та фіксують невідповідності у «Звіті про невідповідність». Після проведення аудиту групою з аудиту формується «Звіт з аудиту», на основі якого керівники процесів проводять корегуючі та попереджувальні дії.

13. Оцінка рівня якості процесів ІС ІПВ.

Відділ управління контролю якості протягом встановленого проміжку часу проводить оцінку рівня якості процесів ІС ІПВ, визначає тенденції змін процесу та, при необхідності, формує рекомендації по його коригуванню.

14. Постійне поліпшення ІС ІПВ.

Вище керівництво ІПВ задля постійного поліпшення ІС ІПВ систематично переглядає та актуалізує політику і цілі ІПВ щодо якості, контролює поширення інформації про політику та цілі в сфері якості з метою підвищення обізнаності,

мотивації та залучення персоналу на всіх рівнях підприємства, реалізує принцип орієнтації на споживача (основне виробництво) у всіх підрозділах ІПВ, підтримує функціонування результативної і ефективної системи управління якості у відповідності з ДСТУ ISO 9001:2009, забезпечує ІС ІПВ необхідними ресурсами, проводить систематичний аналіз ІС ІПВ, розробляє систему заходів для удосконалення ІС ІПВ.

Інформаційне забезпечення оцінки якості процесів інструментальної підготовки виробництва

Розробка та впровадження єдиної інформаційної системи управління є одним із шляхів підвищення ефективності діяльності ІПП. Така система дозволяє проводити своєчасний збір та аналіз масивів даних та ефективно планувати процеси підприємства. Крім того, одним із блоків такої системи є оцінка якості процесів ІПП на етапі 13 запропонованого алгоритму (рис. 4.19). Цей етап передбачає формування бази значень показників якості процесів, що використовується для подальшого аналізу та прийняття управлінських рішень, спрямованих на покращення діяльності ІПП та формування масиву даних для подальшого аналізу.

Для цього етапу було розроблено інтерфейс програми для оцінки узагальненого показника результативності процесів рівняння якістю ІПП (рис. 4.20). Програма була створена за допомогою високоефективного програмного середовища LabVIEW (продуктом компанії National Instruments), що є платформою для виконання програм, створених графічною мовою програмування G. LabVIEW використовується в системах збору та обробки даних, а також для керування технічними об'єктами та технологічними процесами.

Результат	Відсоток ОФВС	Відсоток	Відсоток	Помноження	Помноження	Помноження	Обсяг/Час
001.511.008.01	0,747	0,81	0,78	0,78	0,813	0,68	0,615
001.511.008.02	0,772	0,8	0,775	0,76	0,82	0,79	0,675
001.511.008.03	0,795	0,84	0,78	0,8	0,822	0,786	0,724
001.511.008.04	0,807	0,85	0,82	0,81	0,825	0,81	0,725
001.511.008.05	0,803	0,85	0,82	0,808	0,82	0,803	0,713
001.511.005.01	0,808	0,86	0,82	0,818	0,805	0,78	0,725
001.511.005.02	0,788	0,86	0,82	0,822	0,805	0,813	0,695
001.511.005.03	0,82	0,86	0,875	0,825	0,86	0,82	0,74
001.511.005.04	0,824	0,874	0,85	0,824	0,85	0,828	0,725
001.511.005.05	0,827	0,875	0,84	0,827	0,826	0,82	0,72
001.514.001.01	0,823	0,83	0,84	0,823	0,808	0,81	0,72
001.514.001.02	0,823	0,879	0,84	0,823	0,82	0,828	0,725
001.514.001.03	0,807	0,875	0,805	0,828	0,805	0,795	0,695
001.411.005.01	0,809	0,864	0,875	0,805	0,872	0,792	0,725
001.411.005.02	0,803	0,865	0,822	0,822	0,802	0,788	0,713
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 4.20 – Інтерфейс програми для розрахунку показника результативності процесів ІПП (етап 13)

Висновки до розділу 4

1. Мобільний додаток SSUquestionnaire-m дозволяє у процесі його використання врахувати низку особливостей інженерної освіти й охопити контрольними заходами всіх студентів, які присутні на занятті. Водночас при цьому не потрібно переходити на суміщені технології мобільного контролю та залишаючись у рамках технології BYOD проводити всі контрольні заходи в одну сесію.

2. Для контролю знань із дисциплін інженерного профілю необхідно передбачити виконання тестових завдань із графічними ілюстраціями. Важливим також є врахування необхідності здійснювати контрольні заходи в навчальних лабораторіях і виробничих приміщеннях, де мають проводитися практичні заняття, але складно забезпечити доступ до мобільного зв'язку.

3. Удосконалення методів тестового контролю знань та наявні тенденції розвитку мобільних пристроїв свідчать, що є достатні передумови для успішного застосування мобільних гаджетів на всіх етапах контролю знань студентів інженерних спеціальностей.

4. Аналіз нормативних документів у сфері освіти показав відсутність широкого вивчення питання оцінювання якості викладання та відсутність єдиної

системи показників якості викладання. Тому у результаті роботи запропоновано узагальнений показник якості викладання, систему складових показників якості та метод для їх оцінювання при викладанні дисциплін. Крім того, у роботі розроблені рекомендації щодо прийняття рішень стосовно рівня якості викладання.

5. Показано, що одним із джерел підвищення мотиваційної та навчально-пізнавальної діяльності студентів є розробка і впровадження інформаційних тренажерів, під час використання яких застосовується як матеріалізована, так і перцептивна (візуалізована) форма дій тобто інформаційні тренажери додають особливої зорової уваги при вивченні загальноінженерних дисциплін.

6. Запропоновано методологічний підхід до проектування структури і змісту тренажерів, що надає реальну можливість підійти до науково-обґрунтованого вирішення проблеми формування у студентів найбільш загальних принципів та понять техніки і на їх основі здатності самостійно добудовувати цілісну систему наукових знань (виходити за межі засвоєної інформації).

7. Показано, що комплексне застосування CALS-технологій для автоматизованої та інформаційної підтримки СУЯ дозволить здійснити цілеспрямоване управління різними інформаційними ресурсами СУЯ за рахунок їх інтеграції в єдину інформаційну систему та створити сучасну інформаційну інфраструктуру, яка може забезпечувати ефективне управління якістю продукції на всіх стадіях її ЖЦ виробу машинобудівного підприємства.

8. Запропонований у роботі алгоритм впровадження ІС ППВ є універсальним і дозволяє на кожному машинобудівному підприємстві розробляти систему управління якістю ІС ППВ із урахуванням специфіки підприємства, сукупності технологічних процесів, характеру технологічного оснащення, що випускається, та інших виробничих особливостей.

ВИСНОВКИ

Основні наукові та напрактичні результати полягають у наступному:

1. Розроблені основні методологічні підходи підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення складнопрофільних деталей машин із важкооброблюваних матеріалів:

- виконана розробка практичних рекомендацій із вибору ефективної області застосування запропонованого в роботі способу для обробки внутрішніх різей круглого та трикутного профілів;

- для формоутворення різанням внутрішньої поверхні різьбового з'єднання з круглою різьбою запропоновано використовувати метод огинання, оскільки лише в цьому методі геометрія інструмента не впливає на формування профілю різьби, а також він утворює гвинтову поверхню за один установ, що є дуже важливим для деталей, які виготовлюються з армованих композиційних матеріалів;

- розрахунки річного економічного ефекту показали значне скорочення витрат на різальні пластини, а також витрат на заробітну плату робітників при використанні запропонованого технологічного процесу із введенням додаткової операції у технологічний процес.

2. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблені практичні рекомендації щодо вдосконалення методів механічної обробки одно- і багатолезовими інструментами важкооброблюваних конструкційних матеріалів:

- в результаті експериментальних досліджень впливу режимів різання та температури свердла та точність отворів при свердлінні пакетів вуглепластик/титановий сплав запропоновано метод визначення умов оброблення, що забезпечують оптимальну точність отримуваних отворів;

- в роботі визначено фактори, що обмежують можливість обробки біметалічних дисків з фрикційними покриттями на зубодовбальних верстатах, а саме: жорсткість верстата, маса рухомих частин верстата, різниця твердості основи

диска та фрикційного шару, стійкість зуборізного довбача, та гранична швидкість різання;

- доказано, що для збільшення вібростійкості процесу зубодовбання необхідно забезпечити максимально можливу швидкість різання а також масу рухомих частин для збільшення сили інерції, яка може компенсувати коливання сили різання внаслідок різних твердостей матеріалів в пакеті деталей у процесі довбальної операції;

- запропонована методика *модельовання положень змінних багатограних пластин на корпусі різального інструмента* (фрези), що дозволяє визначити положення базових поверхонь на корпусі інструменту для розміщення вибраної вставки та забезпечує оптимізацію геометричних параметрів його лез у статичній системі координат;

- отримана математична модель розміщення змінних багатограних пластин на корпусі різального інструмента, за допомогою якої можна досягати оптимальних значень геометричних параметрів лез при проектуванні складеного інструменту з використанням індексованих вставок;

- запропоновано конструкцію збірної торцевої фрези, в якій вставка встановлюється зовнішньою поверхнею на плоскі торці трьох гвинтів, що дозволяє забезпечувати необхідну (високу) точність її базування;

- для забезпечення регулювання положення ріжучої вставки в осьовому та радіальному напрямках запропонована конструкція збірної торцевої фрези, що містить ріжучу вставку з двома V-подібними поверхнями, розташованими під кутом 90° один до одного;

- запропоновано у збірній торцевій фрезі використовувати опорні гвинти з отворами для розміщення ріжучих вставок, що дозволяє забезпечити можливість регулювання положення ріжучих вставок, зменшити осьові габарити вузла кріплення ріжучої вставки, а також розширити технологічні можливості збірної фрези.

3.3 використанням методів параметричної оптимізації та чисельного моделювання розроблені основні принципи поліпшення методів технологічного устаткування та оснащення гнучких автоматизованих виробництв:

- виконані експериментальні дослідження НДС системи «верстатний пристрій – заготовка» показали, що значення реальних переміщень у процесі оброблення не виходять за величину допусків, що задані на кресленні;

- виконані експериментальні дослідження частот власних коливань системи «ВП – заготовка» показали зменшення власних частот реальних конструкцій ВП запропонованого та спеціального ВП на 8% порівняно з результатами моделювання. Реальні частоти власних коливань перевищують режими обробки, отже резонанс не виникне;

- виконані дослідження точності механічної обробки важелів у двох системах ВП показали, що усі розміри оброблених деталей знаходяться у межах допусків на обробку, проте точність відносного розміщення поверхонь деталі, що оброблена у запропонованому ВП, вища у середньому на 0,02 мм, що пояснюється відсутністю похибки установаження у запропонованому ВП.

4. На основі отриманих досвіду і знань розроблені і запропоновані заходи щодо ефективного використання систем забезпечення якості процесів організації та методів викладання технічних дисциплін:

- показано, що мобільний додаток SSUquestionnaire-m дозволяє у процесі його використання врахувати низку особливостей інженерної освіти й охопити контрольними заходами всіх студентів, які присутні на занятті;

- для контролю знань із дисциплін інженерного профілю необхідно передбачити виконання тестових завдань із графічними ілюстраціями. Важливим також є врахування необхідності здійснювати контрольні заходи безпосередньо в навчальних лабораторіях і виробничих приміщеннях;

- показано, що шляхом удосконалення методів тестового контролю знань та наявні тенденції розвитку мобільних пристроїв дозволяють успішно застосовувати мобільні гаджети на всіх етапах контролю знань студентів інженерних спеціальностей;

- у результаті виконаних робіт запропоновано узагальнений показник якості викладання, систему складових показників якості та метод для їх оцінювання при викладанні інженерних дисциплін. Крім того, у роботі розроблені рекомендації щодо прийняття рішень стосовно рівня якості викладання цих дисциплін;

- показано, що одним із джерел підвищення мотиваційної та навчально-пізнавальної діяльності студентів є розробка і впровадження інформаційних тренажерів, під час використання яких застосовується як матеріалізована, так і перцептивна (візуалізована) форма дій тобто інформаційні тренажери додають особливої зорової уваги при вивченні загальноінженерних дисциплін;

- запропоновано методологічний підхід до проектування структури і змісту тренажерів, що надає реальну можливість підійти до науково-обґрунтованого вирішення проблеми формування у студентів найбільш загальних принципів та понять техніки і на їх основі здатності самостійно добудовувати цілісну систему наукових знань;

- показано, що комплексне застосування CALS-технологій для автоматизованої та інформаційної підтримки систем управління якістю (СУЯ) дозволить здійснити цілеспрямоване управління різними інформаційними ресурсами СУЯ за рахунок їх інтеграції в єдину інформаційну систему;

- запропонований у роботі алгоритм впровадження інформаційних систем інструментальної підготовки виробництва (ІС ПВ) є універсальним і дозволяє на кожному машинобудівному підприємстві розробляти систему управління якістю ІС ПВ із урахуванням специфіки підприємства, сукупності технологічних процесів, характеру технологічного оснащення, що випускається, та інших виробничих особливостей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Рих Кристер Новый виток развития обработки композитов / Кристер Рих// METALWORKING WORLD. Деловой и технический журнал от SANDVIK COROMANT.– 2010. – № 1. – С.12-13.
2. Артюхин Ю.П. Напряжения в клеевых соединениях / Ю.П. Артюхин // Исследования по теории пластин и оболочек. – Киев: Изд-во Киев. гос. ун-та, 1973. – Вып. 10. – С. 3 - 27.
3. Baker A.A. Composite Materials for Aircraft Structures / A.A. Baker. // – Eurospan, 2004. – 400 p.
4. Пат. UA 103734. Спосіб обробки круглої внутрішньої різьби/ Некрасов С.С., Криворучко Д.В., Нешта А.О. МПК В23С 3/32 (2006.01), В23В 1/00. - No а201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. No 21.
5. Duraao L.M. Machining of hybrid composites: Ph.D. dissertation / L M. Duraao. – Porto, 2005. – 242 p. 6.
6. Карпов Я.С. Соединения высоконагруженных деталей из композиционных материалов. Сообщ. 1. Конструктивно-технологические решения и оценка их работоспособности / Я.С. Карпов // Пробл. прочности. – 2006. – № 3. – С. 23 – 33.
7. Воробей В.В. Соединения конструкций из композиционных материалов / В. В. Воробей, О.С. Сироткин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 168 с.
8. Карпов Я.С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 359 с.
9. Сироткин О.С. Технология и механика соединений / О.С. Сироткин, В.Б. Литвинов, В. И. Гришин. – М.: Арктика, 2000. – 314 с.
10. Niu M.C. Composite Airframe structures / M.C. Niu. – Hong Kong: Conmilit Press Ltd., 1992. – 686 p.
11. Матвиенко В.А. Анализ современного уровня и перспектив конструктивно-технологического совершенствования соединений полимерных

композиционных материалов / В.А. Матвиенко // Материалы совещания – М.: НИИТ, 1986. – с. 3 – 12.

12. Richard Zemann Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer / Zemann Richard // Vienna University of Technology (TU Wien), Institute for Production Engineering and Laser Technology, Landstraßer Hauptstraße 152, 1030 Vienna, AUSTRIA.

13. Некрасов С.С. Способы обработки круглой резьбы / С.С. Некрасов, Д.В. Криворучко, А.А. Нешта // Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка. - 2013. - № 4. - С. 86-88.

14. Ершов Е.М. Изготовление резьб на деталях из стеклопластика / Е.М. Ершов, А.П. Мордвин. – М.: Машиностроение, 1969. – 128 с.

15. Сайт заводу виробника металоріжучого інструменту «Sandvik Coromant» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.sandvik.coromant.com/ru/products/composite-solutions> (20.01.2018)

16. Рычков Д.А. Формирование режущей кромки фрезерного инструмента для обработки слоистых композиционных материалов, армированных стеклянными волокнами / Д.А. Рычков, В.А. Скрипняк, А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов // Системы. Методы. Технологии. № 2(22). 2014. С. 42-46.

17. Буланов И. М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов / И. М. Буланов, В. В. Воробей. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 518 с.

18. Сайт компанії виробника металоріжучого інструменту «Guhring» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://guh-ring-tools.ru/doc/guh-ring-tehnicheskaya-chast-2011-page7.html> (18.05.2018)

19. Антонюк В.Е. Справочное пособие зуборезчика. – Мн.: Беларусь, 1989.- 303с.

20. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. - Л.: Машиностроение, 1986. -184 с.

21. Попов В.И., Локтев В. И. Динамика станков. - К.: Техника, 1975. - 136 с

22. Попов И.Г. Исследование вибраций при обработке титановых сплавов концевыми фрезами: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук:05.03.01. -Куйбышев, 1971. -19 с.
23. Мурашкин Л.С., Мурашкин С.Л. Прикладная нелинейная механика станков. - Л.: Машиностроение, 1977. -192 с.
24. Кучма Л.К. Вибрации при работе на фрезерных станках и методы их гашения. - М.: Машгиз, 1959. -72 с.
25. Рыжков Д.И. Вибрации при резании металлов и пути их устранения. - М.: Машгиз, 1961. -172 с.
26. Дроздов Н.А. К вопросу о вибрации станка при токарной обработке//Станки и инструмент. - 1937. - № 22. -С. 10- 16.
27. Ильницкий И.И. Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения. - Москва-Свердловск: Машгиз, 1958. -145 с.
28. Каширин А.И. Исследование вибраций при резании металлов. - Л.: Академии наук СССР, 1944. -132 с.
29. Astakhov V.P. Technical Resource of the Cutting Wedge is the Foundation of the Machining Regime Determination / V.P. Astakhov, S.V. Shvets // International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering, Vol. 10, Issue 2, 2020. – Pp. 1 – 17.
30. Schneider G. Cutting Tool Applicatins, 2002. Available from: <http://www.opensourcemachinetools.org/archive-manuals/Cutting-Tool-Applications.pdf>.
31. Kumar P. Influence of Different Grades of CBN Inserts on Cutting Force and Surface Roughness of AISI H13 Die Tool Steel during Hard Turning Operation/ P. Kumar, S. R. Chauhan, C. I. Pruncu, M. K. Gupta, D. Yu. Pimenov, M. Mia, H. S. Gill // Materials, Vol. 12(1), 2019. – Pp. 45 – 56.
32. Stephenson D.A. Metal Cutting Theory and Practice, 3th ed./ D.A. Stephenson, J.S. Agapiou. – CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 2016. – 232 p.

33. Zheng, M. (2015) Research on the cutting heat and wear of indexable inserts with different transition surfaces/ M. Zheng, T. Gang, B. Yao, F. Li, Y. Song // *Advanced Materials Research*, Vol. 468 – 471, 2015. – Pp. 1290. – 1293.

34. Iscar. Complete Machining Solution. Non-Rotating Tool Lines, 2019. Available from: <https://pdf.directindustry.com/pdf/iscar-tools/complete-machining-solutions-non-rotating-tool-lines/5692-721849.html>.

35. Kennametal. Master Catalog. Volume one – Turning, 2018. Available from: <https://pdf.directindustry.com/pdf/kennametal/master-catalog-2018-volume-one-turning-tools/7354-844711.html>.

36. Walter. Perform line - economic, reliable, highest quality, 2019. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=LvrJKbV6Bt8>.

37. MATERIALS, M. Coated Carbide (CVD) Selection Guide, 2019. Available from: http://www.mitsubishicarbide.com/en/technical_information/tec_turning_tools/tec_turning_insert/tec_turning_grades/tec_turning_diacoat_cvd.

38. Euan I. G. Modeling Static and Dynamic Cutting Forces and Vibrations for Inserted Ceramic Milling Tools/ I. G. Euan, E. Ozturk, N.D. Sims // *14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations*, 2013. – Pp. 564 – 569.

39. Петрушин С. И. Геометрический анализ конструкций сборных режущих инструментов со сменными многогранными пластинами / С. И. Петрушин, Р. Х. Губайдулина, А. А. Баканов, А. В. Махов // *Вестник машиностроения*, № 6, 2009. – С. 64 – 70.

40. Legrand C. A geometrical and mechanistic generalized model for complex shape broaching of super alloy / C. Legrand, G. Fromentin, G. Poulachon, R. Chatain, M. Rancic // *Procedia CIRP*, Vol. 82, 2019. – Pp. 461 – 466.

41. Emel'yanov S.G. Chip curling in metal cutting / S.G. Emel'yanov, E.I. Yatsun, A.I. Remnev, S.V. Shvets // *Russian Engineering Research*, Vol. 31(7), 2011. – Pp. 679 – 683.

42. Kyocera. Turning Indexable Inserts, 2015. Available from: <https://asia.kyocera.com/products/cuttingtools/wp-content/uploads/2015/02/B-Turning-Indexable.pdf>.

43. Campocasso S. A generalised geometrical model of turning operations for cutting force modelling using edge discretization / S. Campocasso, J-P Costesa, G. Fromentina, S. Bissey-Bretonb, G. Poulachona // Applied Mathematical Modelling, Vol. 39, Issue 21, 2015. – Pp. 6612 – 6630.

44. Beno J. Operation Safety and Performance of Milling Cutters with Shank Style Holders of Tool Inserts / J. Beno, I. Mankova, M. Vrabel, B. Karpuschewski, T. Emmer, K. Schmidt // Procedia Engineering, Vol. 48, 2012. – Pp. 15 – 23.

45. ДСТУ 2249–93. Процес різання. Терміни, визначення та позначення.

46. Конструкции торцовых фрез с цилиндрическими режущими вставками / Ю.А. Сорока, П.В. Кушников // Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета / Отв. за вип. Л.И. Ганнич. – Суми: СумГУ, 2002. – Вип.4. – С. 84.

47. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р. Родин – Киев: Высшая школа, 1977. 192 с.

48. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущего инструмента / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров – Москва: Машгиз, 1963. – 952 с.

49. ГОСТ 26595-2014 (ISO 6462:2011, MOD). Фрезы торцовые с механическим креплением сменных многогранных пластин. Основные размеры.– Введ. 2016–01–01. – М.: Стандартиформ, 2015. – 16 с.

50. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справочник / Н.П. Винников, А.И. Грабченко, Э.И. Гриценко и др.; Под общ. ред. акад. АН УССР Н.В. Новикова. – К.: Техника, 1988. – 118 с.

51. Кушников П.В. Регулируемые торцовые фрезы, содержащие цилиндрические режущие вставки // Современные материалы, техника и технология: материалы 3-й Международной научно-практической конференции (27 декабря 2013 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. – Т. 1. – Курск, 2013.– С. 212-215.

52. Пат. 60131 U Україна, МПК В23С 5/06. Торцева фреза / П.В. Кушніров, І.М. Дегтярьов, О.О. Кулак; заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. – № u201014178; заявл. 29.11.2010; опубл. 10.06.2011, бюл. № 11.

53. Кушніров П.В. Применение конических винтов для крепления режущих вставок с пятигранными пластинами в торцовых фрезах (Applying of conical screws for fixing the cutting inserts with pentagonal plates in face milling cutters) / П.В. Кушніров, Б.А. Ступин, А.Б. Руденко. – Научный взгляд в будущее. – Выпуск 9. Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018.– С. 10-14. ISSN 2415-766X (Print); ISSN 2415-7538 (Online); DOI: 10.30888/2415-7538.2018-09-1-031

54. Пат. 109628 U Україна, МПК В23С 5/06 (2006.01). Фреза торцева/ П.В. Кушніров, Н.А. Шемет, С.П. Холявка; заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т.– № u 2016 02836; заявл. 21.03.2016; опубл. 25.08.2016, бюл. №16.

55. Конструкции торцовых фрез с цилиндрическими режущими вставками / Ю.А. Сорока, П.В. Кушніров // Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета / Отв. за вип. Л.И. Ганнич. – Суми: СумГУ, 2002. – Вип.4. – С. 84. 2002. – Вип.4. – С. 84. 2002. – Вип.4. – С. 84.

56. Справочник инструментальщика / Под. общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

57. Kushnirov P.V. Analysis of Designs of Face Milling Cutters Containing Cylindrical Cutting Inserts / P.V. Kushnirov, B.A. Stupin, B.A. Ostapenko, D.I. Kasian // International scientific integration '2021 (October, 2021): Sworld-Us conference proceedings. – Seattle, Washington, USA: «ISE&E» & SWorld in conjunction with KindleDP, 2021. No 8 on October 19.– pp. 6-9.

58. Пат. 107532 U Україна, МПК9 В23С 5/06. Торцева ступінчаста фреза / П.П. Мельничук, Я.А. Степчин; заявник та патентовласник Житомирський держ. технологічний ун-т. – № a201312503; заявл. 24.10.2013; опубл. 12.01.2015, бюл. № 1.

59. Виговський Г.М. Забезпечення якісної обробки плоских поверхонь деталей при глибинному торцевому фрезеруванні інструментами, оснащеними

полікристалічними надтвердими матеріалами / Г.М. Виговський, О.А. Громовий, В.А. Кирилович // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 2 (73). – С. 12-26.

60. А. с. 1576252 А1 СССР, МКИ В23С 5/06. Торцовая регулируемая фреза / Л.Л. Борисова, А.Б. Руденко. – № 4495330/31-08; заявл. 17.10.88; опубл. 07.07.90, бюл. № 25.

61. Исаков А.И. Повышение эффективности обработки мерных пазов торцевыми фрезами со сверхтвердыми материалами с регулировкой по диаметру: дисс... канд. техн. наук, спец.: 05.02.07 / А.И. Исаков. – М.: «СТАНКИН», 2013. – 174 с.

62. Пат. №88594 U1 RU, МПК (2006.01) В23С 5/24. Сборная торце-концевая фреза с режущими элементами из наноструктурированных сверхтвердых материалов / В.А. Гречишников и др.; заявитель и патентообладатель: ГОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН». – №2009127314/22; заявл. 16.07.2009; опубл. 20.11.2009.

63. Кушников П.В. Регулирование положения режущих вставок в сборных торцевых фрезах / П.В. Кушников, И.М. Дегтярев, Б.А. Ступин, А.В. Евтухов, А.Б. Руденко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2019. – №3 (57) сентябрь. – С. 14–17.

64. Нестеренко А.А., Ермолов А.Н. Настройка многолезвийных режущих инструментов / Станки и инструмент. – №10, 1982. – С. 16-17.

65. Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов / П.В. Захаренко и др. – К.: Наук. думка, 1991. – 288 с.

66. Пат. 117321 С2 Україна, МПК В23С 5/06 (2006.01). Торцева фреза / Г.М. Виговський, О.А. Громовий; заявник та патентовласник Житомирський держ. технологічний ун-т. – № а2017 06978; заявл. 03.07.2017; опубл. 10.07.2018, бюл. №13.

67. Гречишников В.А., Исаков А.И. Торцевые регулируемые фрезы. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mirprom.ru/public/torcevye-reguliruemye-frezy.html>

68. Металлорежущие инструменты / Каталог Sandvik Coromant // Вращающиеся инструменты. – 2017. – С2900:10 RUS.

69. Общий каталог C006R: Технические данные – Технические характеристики торцевых фрез / Чистовая обработка поверхности / Повышение качества поверхности. – Каталог Mitsubishi Carbide Corporation, 2014.

70. Кушніров П.В. Збірні торцеві фрези з регульованими ріжучими вставками / П.В. Кушніров, І.М. Дегтярьов, А.В. Євтухов, О.Б. Руденко, М.Ю. Думанчук // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2019. – №4 (58) – С. 6–9.

71. Кушніров П.В. Применение конических винтов для крепления режущих вставок с пятигранными пластинами в торцевых фрезах / Applying of conical screws for fixing the cutting inserts with pentagonal plates in face milling cutters // П.В. Кушніров, Б.А. Ступин, А.Б. Руденко. – Научный взгляд в будущее. – Выпуск 9. Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018.– С. 10-14. DOI:10.30888/2415-7538.2018-09-1-031.

72. Кушніров П.В. Пути предотвращения выпадения режущей вставки из корпуса сборной торцевой фрезы / П.В. Кушніров, А.В. Евтухов, Б.А.Ступин, А.Б. Руденко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2018. – №3 (53) сентябрь. – С. 9–13.

73. Кушніров П.В. Регулирование положения режущих вставок в сборных торцевых фрезах / П.В.Кушніров, И.М.Дегтярев, Б.А.Ступин, А.В.Евтухов, А.Б. Руденко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2019. – №3 (57) сентябрь. – С. 14–17.

74. А.с. 1289620 А1 СССР, МКИ В23С 5/06. Фреза торцевая регулируемая / А.Ф. Самардак, В.В. Доценко, В.Н. Ковалев; заявитель Сумский филиал Харьковского политехнического института им. В.И.Ленина. – №3901212/31-08; заявл. 25.05.85; опубл. 15.02.87, бюл. № 6.

75. Ершов Е. М. Изготовление резьб на деталях из стеклопластика / Е. М. Ершов, А. П. Мордвин. – М.: Машиностроение, 1969. – 128 с

76. Положення «Про систему контролю якості навчального процесу у Сумському державному університеті». – Суми: СумДУ, 2006. – 4 с

77. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги: (ISO 9001:2015, IDT) - На заміну ДСТУ 9001-2009; – К.: Держспоживстандарт України, 2015. - 26 с.

78. Кобиляцький І.І. Методи навчально-виховної роботи у вищій школі (Для аспірантів і молодих викладачів вузів) / І.І. Кобиляцький. – Видавництво Львівського університету, 1970. – 200 с.

79. Evans C. Making Sense of Assessment Feedback in Higher Education [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3102/0034654312474350/>.

80. Lizzio A., Wilson K. (2008). Feedback on assessment: students' perceptions of quality and effectiveness. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 33, 263–275. doi:10.1080/02602930701292548, Google Scholar.

81. Ball E. C. Annotation an effective device for student feedback: A critical review of the literature. *Nurse Education in Practice* / (2010). – 10, 138–143. doi:10.1016/j.nepr.2009.05.003.

82. Black P., Wiliam D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21, 5–31. doi:10.1007/s11092-008-9068-5, Google Scholar.

83. Hattie J., Timperley H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77, 81–112. doi:10.3102/003465430298487, Google Scholar Link.

84. Spivakovsky A.V., Berezovsky D.A., Tityenok S.A.: Functionality of the KSU FEEDBACK 3. *J. Informational Technologies in Education*. 11, 09–18 (2012).

85. Spivakovska E. Monitoring of Efficiency of Feedback Systems Use on the Base of Kherson State University / Spivakovska Evgeniya, Vinnyk Maksym, Tarasich Yulia, Kuchma Olesya - ICTERI 2016, Kyiv, Ukraine, June 21-24, 2016 – 257–272.

86. Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1556-18/page>.

87. Наказ Міністра освіти і науки України № 612 від 13.07.2007 р. “План дій щодо забезпечення якості вищої освіти України та її інтеграції в європейське і світове освітнє співтовариство на період до 2010 року” № 612 від

13.07.2007 р. [Електронний ресурс] / Режим доступу:
http://osvita.ua/legislation/Vishya_osvita/2514/

88. Положення «Про систему контролю якості навчального процесу у Сумському державному університеті». – Суми: СумДУ, 2006. – 4 с.

89. Наказ «Про створення лабораторії моніторингу якості освітньої діяльності». – Суми: СумДУ, 2015. – 2 с.

90. «Система забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти СумДУ)». – Суми: СумДУ, 2016. – 75 с.

91. Наказ «Про створення Ради із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти». – Суми: СумДУ, 2015. – 6 с.

92. Natalia M. Public Information Environment of a Modern University / Natalia Morze¹, Olena Kuzminska and Galina Protsenko – ICTERI 2013, Kyiv, Ukraine, June 21-24, 2016 – 265-272.

93. Концепція розбудови єдиного освітнього середовища e-learning в Сумському державному університеті [Електронний ресурс] / Режим доступу:
<http://sumdu.edu.ua/ukr/general/normative-base.html>

94. Кисилевська А.Ю. Кваліметричне оцінювання якості організації випуску процедур з використанням лікувальних вод/А.Ю. Кисилевська, О.М. Нікіпелова // Вестник физиотерапии и курортологии. 2012, 2, С. 25-26.

95. Співаковський О.В. Інтерпретація результатів оцінки якості діяльності викладача, отриманих функціонуванням інформаційного сервісу KSUFeedback О.В. Співаковський, Л.М. Алфьорова // Інформаційні технології в освіті. - 2015. - № 24. – С. 20-41.

96. Азгальдов Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии. / Г. Г. Азгальдов – М.: Экономика, 1982. – 256с.

97. Frobenius, Georg Ueber Matrizen aus nicht negativen Elementen / Georg Frobenius // Sitzungsber. Königl. Preuss. – Akad. Wiss, 1912 – 456-477.

98. Азгальдов Г.Г. Оценка и аттестация качества в строительстве / Г.Г. Азгальдов, О.М. Сендерова. – М.: Стройиздат, 1977.

100. Harrington E.C. The Desirability Function//Industrial Quality Control, 1965, Vol. 21, 10, 494–498.

101. What's A Learning Simulation? TeachThought Staff, Technology, 2017, <https://www.teachthought.com/technology/6-important-questions-answered-about-learning-simulations/>

102. Harness Digital to Modernize Higher Education // eCampusNews <https://www.ecampusnews.com/resource-library/harness-digital-to-modernize-higher-education-3/>

103. Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний / Н.Ф. Талызина. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 343 с.

104. Гурье Л.И. Интегративные основы инновационного образовательного процесса в высшей профессиональной школе: монография / Л.И. Гурье, А.А. Кирсанов, В.В. Кондратьев, И.Э. Ярмакеев; под редакцией В.В. Кондратьева. – М.: ВИНТИ, 2006. – 288 с

104. D. P. Buckley, “In Pursuit of the Learning Paradigm: Coupling Faculty Transformation and Institutional Change,” *EDUCAUSE Review*, Volume 37, Number 1, 2002, pp. 29–38, <<http://www.educause.edu/ir/library/pdf/erm0202.pdf>>.

105. Santos, Ismael & Dam, Peter & Arantes, Pedro & Raposo, Alberto & Soares, Luciano. Simulation Training in Oil Platforms. Springer (2016). 47-53. 10.1109/SVR.2016.18.

106. Sokolowski, John, Tolk, Andreas and Petty, Mikel: Introduction to DoD/Military Simulations, Virginia Modeling Analysis and Simulation Center, Old Dominion University, Presentation, I/ITSEC 2002

107. Hancock, Peter & Vincenzi, Dennis & Wise, John & Mouloua, Mustapha. Human factors in simulation and training. CRC Press (2008).

108. Honekamp, Wilfried. (2003). SIMULATION AS A TRAINING AID.

109. Dietrick, Kevin Warfighter's Simulation (WARSIM), U.S. ARMY PEO STRI, 2003 <http://www.peostri.army.mil/PRODUCTS/WARSIM/12.12.2003>

110. Наглядное моделирование в обучении математике: теория и практика: Учебное пособие / Под ред. Е. И. Смирнова. Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2007. 454 с.

111. What's A Learning Simulation? TeachThought Staff, Technology, 2017, <https://www.teachthought.com/technology/6-important-questions-answered-about-learning-simulations/>, last accessed 2019/10/05.
112. Harness Digital to Modernize Higher Education. ECampusNews, <https://www.ecampusnews.com/resource-library/harness-digital-to-modernize-higher-education-3/>, last accessed 2019/10/05.
- 113 Talyzina N.: Knowledge Management. Moskow, Moskow State University (1984) [In Russian].
114. Gurye L., Kirsanov A., Kondratyev V., Yarmakeev I.: Integrative Foundations of the Innovative Educational Process in Higher Professional School: Monograph. Moskow, WINITI (2006) [In Russian].
115. Buckley D.: In Pursuit of the Learning Paradigm: Coupling Faculty Transformation and Institutional Change. *EDUCAUSE Review* 37(1), 29–38 (2002)
116. Panina E.A., Stash S.M.: Using of interactive learning tools in the educational process. *Science Almanac*, 228-231. DOI: 10.17117/na.2015.01.228 (2015). [In Russian].
117. Ivanov V.O., Pavlenko I.V.: Comprehensive analysis of the mechanical system system “fixture –workpiece”. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 4(1), pp. A1–A10, (2017) doi: 10.21272/jes.2017.4(1).a1.
118. Hubing N., Oglesby D., Philpot T., Yellamraju V., Hall R., Flori R.: Interactive Learning Tools: Animating Statics. In American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition 2002, Session 2368, American Society for Engineering Education (2002).
119. Santos I., Dam P., Arantes P., Raposo A., Soares L.: Simulation Training in Oil Platforms. Springer, 47-53 (2016).
120. Sokolowski J., Tolk A., Petty M.: Introduction to DoD/Military Simulations. Modeling Analysis and Simulation Center, Old Dominion University, Virginia (2002)
121. Noor Y., Zeni S., Azis S., Mat M.: Using games as interactive learning tools in accounting courses. The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2015, pp. 197 – 204, Procedia Engineering (2016)

122. Meegahapola L., Thilakarathne C., Dynamic Learner-Assisted Interactive Learning Tools for Power Systems Engineering Courses. *IEEE Transactions on Education*, vol. 62, no. 2, pp. 149-156 (2019). doi: 10.1109/TE.2018.2889621

123. Salmerón-Manzano E., Alcayde A., Montoya F., Novas N., García-Salvador R., Garrido-Cárdenas J., Martínez-Lao J., Zapata-Sierra A., Fernández-Ros M., Soler-Ortiz M., Gázquez Parra J., Manzano-Agugliaro F.: Smartphone as an interactive learning tool: assessment of the use in university teaching. In: 10th International Conference on Education and New Learning Technologies, 2-4 July, Palma, Spain (2018)

124. Овчинников С.А., Таланцев А.А. Информационная поддержка системы менеджмента качества на принципах CALS-технологий // Сб. Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий / Материалы научно-практической конференции. - М.: МИЭМ, 2010, с. 545-547.

125. Баронов В.В. и др. Автоматизация управления предприятием.– М.: ИНФРА-М. 2000. – 239 с. – (Серия «Секреты менеджмента»).

126. Бакаев В.В., Судов Е.В., Гомозов В.А. и др. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия. - М.: Изд-во «Мапгиностроение», 2005.

127. Вайсман В.О. Моделі, методи та механізми створення і функціонування проектно-керованої організації [Монографія] / В.О. Вайсман. – К.: Науковий світ, 2009. – 146 с.

128. Применение ИПИ технологий в задачах обеспечения качества и конкурентоспособности продукции. Методические рекомендации. – М.: НИЦ CALS технологии «Прикладная логистика», 2004. – 104 с.

129. Kureichik V.M., Kureichik V.V., Taratukhin V.V., Kravchenko Y.A., Khlebnikova A.I. (2016) Continuous Acquisition and Life-Cycle Support (CALS) Simulation Models on the Basis of the ERP and CAD Technologies Integration. In: Becker J., Kozyrev O., Babkin E., Taratukhin V., Aseeva N. (eds) *Emerging Trends in Information Systems. Progress in IS*. Springer, Cham // https://doi.org/10.1007/978-3-319-23929-3_2

130. Залого В.А. Повышение качества инструментального обеспечения на основе принципов современных информационных технологий [Текст] / В.А. Залого, А.В. Ивченко, Ю.А. Погоржельская // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2009. – № 2(16). – С. 48-51.

130. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. — 408 с.

131. Орлов А.И. Высокие статистические технологии // Заводская лаборатория, 2003 г., т. 69. №.11. с. 55 - 60.

132. Quality management principles / ISO Central Secretariat – ISO, 2015 – 20 p. – ISBN 978-92-67-10650-2.