

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-13>

УДК 514.18

Є. А. Гавриленко¹, докт. техн. наукО. Є. Мацулевич¹, канд. техн. наукА. П. Чаплінський¹, ст. викладачІ. Р. Тетервак¹, асистентМ. В. Супрун¹, асистент

ORCID: 0000-0003-4501-445X

ORCID: 0000-0001-5553-709X

ORCID: 0000-0001-9213-5452

ORCID: 0009-0009-0616-8983

ORCID: 0009-0000-5903-1336

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: yevhen.havrylenko@tsatu.edu.ua

ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ «КОРПУС РОЗПОДІЛЮВАЧА»

Анотація. Рівень технічної підготовки виробництва залежить від багатьох чинників (технічних, економічних та організаційних). Технічні чинники включають розроблення й впровадження стандартних та нестандартних технологічних процесів, використання стандартизованого та єдиного технологічного обладнання. Економічні чинники включають поетапне фінансування на відкритому повітрі роботи з технічної підготовки виробництва, надання пільгових позик, створення фонду для стимулювання розвитку (виробництва для виробництва) нових продуктів. Організаційні чинники включають розроблення та поглиблення спеціалізації виробництва, сертифікацію якості технологічних процесів та засобів технологічного обладнання, нерівномірне обладнання на основі результатів оцінки якості прототипу або першої промислової партії продукції основного виробництва та вдосконалення організації допоміжного виробництва.

Підготовка до впровадження нового обладнання, виробу, новітніх технологічних процесів або модернізація застарілих виробів та існуючих технологій ініціюється в науково-дослідних інститутах і проєктно-конструкторських організаціях галузі. Подальша реалізація робіт здійснюється на підприємствах чи об'єднаннях за безпосередньої участі заводських структур управління науково-технічним розвитком. Технічна підготовка виробництва включає фази наукового дослідження нових моделей або верифікації його результатів щодо розроблення чи вдосконалення технологічних процесів у лабораторних умовах. Надалі вся ця документація передається безпосередньо на підприємство, де розпочинається технічна підготовка виробництва. Вона охоплює організацію робіт з освоєння нових виробів, поліпшення існуючих конструкцій, а також з впровадження нових і оптимізації діючих технологічних процесів.

У роботі відображено етапи створення конструкторської та технологічної документації. Авторами проведена якісна оцінка технологічності конструкції деталі, яка виконувалася за показниками: матеріал деталі, жорсткість деталі, конфігурація деталі, співвідношення кількості оброблюваних та необроблюваних поверхонь, відповідність шорсткості й точності поверхонь деталі, та зроблено висновок.

Ключові слова: конструкторська документація, технологічна документація, програмне забезпечення, технічне завдання, технологічний процес, система Unigraphics, керуючий модуль.

Постановка проблеми. Технічна підготовка виробництва деталей на підприємстві являє собою комплекс взаємопов'язаних науково-дослідних, проєктно-конструкторських, технологічних, організаційно-економічних та інших заходів, спрямованих на створення та впровадження у виробничий процес нових видів продукції, технологічних операцій, а також на вдосконалення вже освоєних конструкцій і технологій. Ключовими завданнями технічної підготовки виробництва є забезпечення безперервного здійснення науково-технічних розробок на підприємстві, що сприяють збільшенню обсягів виробництва та зменшенню собівартості продукції; зменшення тривалості виробничого циклу, зменшення трудомісткості та собівартості

продукції; формування необхідних передумов для стабільного та рентабельного функціонування підприємства.

Аналіз попередніх досліджень. Сучасні виробничі процеси на промислових підприємствах відзначаються невідпинним зростанням складності, що є наслідком інтенсивного науково-технічного розвитку та його впровадження у виробничу сферу. Результатом цієї інтеграції є інноваційні технології, технологічні процеси у цілому та продуктивні нововведення зокрема [1; 2]. Однак імплементація інновацій у виробництво часто стикається з проблемою недостатньої адаптованості виробничих потужностей, що спричиняє значні організаційні та, як наслідок, фінансові втрати. У таких умовах особливої актуальності набуває питання результативності технічної підготовки виробництва до імплементації інновацій. Значущість даної проблеми підтверджується тим фактом, що в машинобудівній сфері етап технічної підготовки виробництва охоплює майже 70% загальної тривалості циклу освоєння нових виробів [4]. Технічну підготовку виробництва нових виробів слід розглядати як складний комплекс дослідницьких, проектно-конструкторських, технологічних та організаційних заходів, що є необхідними для гарантування ефективної адаптації підприємства з метою випуску нової продукції з оптимальним урахуванням часових, просторових та економічних чинників.

Основна частина. Першим етапом розроблення нової продукції є проектне (технічне) завдання, яке розробляється замовником (підприємством) самостійно або за його вказівкою проектною організацією [3]. У проектному завданні зазначаються назва продукції, її функціональне призначення, сфера застосування, технічні та економічні параметри в процесі виготовлення та експлуатації. На етапі проектного завдання необхідно визначити ключові відмінності нової конструкції або виробу від попередньо випущених, навести перелік та обґрунтування потреби в оригінальних компонентах, а також надати деталізовані розрахунки економічної доцільності нового виробу з урахуванням вигоди як для споживача, так і для виробника.

Виходячи з аналізу проектного завдання замовника та зіставлення різних можливих технічних варіантів, а також оцінки рішень з огляду на конструктивні та експлуатаційні характеристики розроблюваного та наявних виробів, у тому числі патентних матеріалів, розробляється технічна пропозиція. Вона являє собою комплекс конструкторських документів, що містять техніко-економічне обґрунтування подальшого розвитку проекту.

Технічна пропозиція після її узгодження та затвердження у встановленому порядку слугує основою для розроблення ескізного (технічного) проекту [3].

Ескізний проект являє собою комплект конструкторських документів, що неодмінно включає у себе основні конструктивні рішення, які формують загальне розуміння будови та принципу функціонування виробу. Окрім того, він містить відомості про призначення виробу, його ключові параметри та габаритні розміри. На стадії розроблення ескізного проекту визначається найбільш ефективна концептуальна модель нового виробу, охоплюючи його технічні, технологічні та експлуатаційні характеристики. Зазвичай ескізний проект розробляється у кількох можливих варіантах для подальшого вибору найкращого з них. Після його узгодження та затвердження ескізний проект слугує основою для створення технічного проекту або робочої конструкторської документації.

Технічний проект є комплектом конструкторських документів, який обов'язково містить остаточні технічні рішення, що забезпечують усебічне розуміння конструкції розроблюваного виробу, а також первинні дані, необхідні для підготовки робочої документації [3].

Технічний проект надає можливість здійснювати вибір потрібних матеріалів та напівфабрикатів, визначати головні способи виробництва продукції та проводити економічний аналіз проекту.



Після погодження та затвердження технічний проєкт є вихідною точкою для розроблення робочої конструкторської документації.

Завершальною фазою (етапом) конструкторської підготовки виробництва є розроблення технічної документації (креслеників, інструкцій тощо), а також технічних умов.

Етап конструкторської підготовки виробництва реалізується із застосуванням системи автоматизованого проєктування Unigraphics – інтерактивної системи автоматизації проєктування та виробництва. Для позначення систем даного типу застосовується аббревіатура CAD/CAM (Computer-Aided Design та Computer-Aided Manufacturing), що в дослівному перекладі означає «Автоматизоване проєктування» та «Автоматизоване виробництво». Підсистема CAD розроблена для автоматизації проєктних, конструкторських і креслярських операцій на сучасних виробничих підприємствах. Підсистема CAM забезпечує автоматизовану генерацію керуючих програм для обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), використовуючи математичну модель деталі, розроблену в підсистемі CAD [1].

Unigraphics є системою з модульною організацією, де кожен модуль відповідає за виконання конкретних функцій. Доступ до всіх функціональних модулів Unigraphics здійснюється через головний керуючий модуль, що має назву Unigraphics Gateway. Наявність модуля Gateway є обов'язковою для кожного користувача Unigraphics, тоді як інші модулі є опціональними та можуть бути вибрані відповідно до індивідуальних потреб користувача.

Після завершення проєктування модуль Manufacturing дасть змогу вказати геометрію деталі, задати технологічні параметри (наприклад, діаметр інструмента) й автоматично сформувати траєкторію руху інструменту у вигляді файлу CLSF (Cutter Location Source File), що дослівно перекладається як «Вихідний файл положення інструменту». Пізніше цей файл буде використовуватися як вихідні дані для розрахунку керуючих програм.

Першим етапом конструкторської підготовки є створення кресленика деталі «Корпус розподільвача» за допомогою модуля Drafting (Кресленик) [4].

Модуль Drafting дає змогу отримувати кресленик або на основі тривимірної моделі, створеної модулем Modeling, або на основі двовимірних компонувань видів, створених за допомогою вбудованих засобів ескізного проєктування. Drafting підтримує автоматичне створення креслярських компонувань (включаючи ортогональні видові проєкції), перерізів, додаткових і місцевих видів, ізометричний кресленик. Окрім того, він забезпечує видо-залежне редагування (тільки в одному виді) й автоматичне видалення прихованих ліній.

У модулі Drafting креслення деталі представлено у трьох видах (рис. 1): головному, зліва й зверху. Також була додана ізометрична проєкція деталі [1].

Модуль Solids Modeling (Твердотільне моделювання) є основним інструментом параметричного моделювання, що забезпечує можливості створення двовимірних і тривимірних каркасних моделей, кінематичних тіл та тіл обертання, а також виконання булевих операцій і застосування функцій параметричного редагування. Важливо зазначити, що модуль Solids Modeling є необхідною умовою для функціонування модулів Features Modeling і Free Form Modeling.

Модуль Features Modeling (Моделювання базових елементів) призначений для створення та параметричного редагування типових конструктивних елементів, таких як отвори, пази, бобишки, кишені та виступи. Він дає змогу робити порожнини в тілах і створювати тонкостінні об'єкти (деталі з листового матеріалу). Конструктивний елемент може бути прив'язаний до інших базових елементів або об'єктів. Можна створити масив конструктивних елементів і встановити асоціативний зв'язок елементів масиву між собою і з іншими об'єктами. Для роботи цього модуля необхідний модуль Solids Modeling.

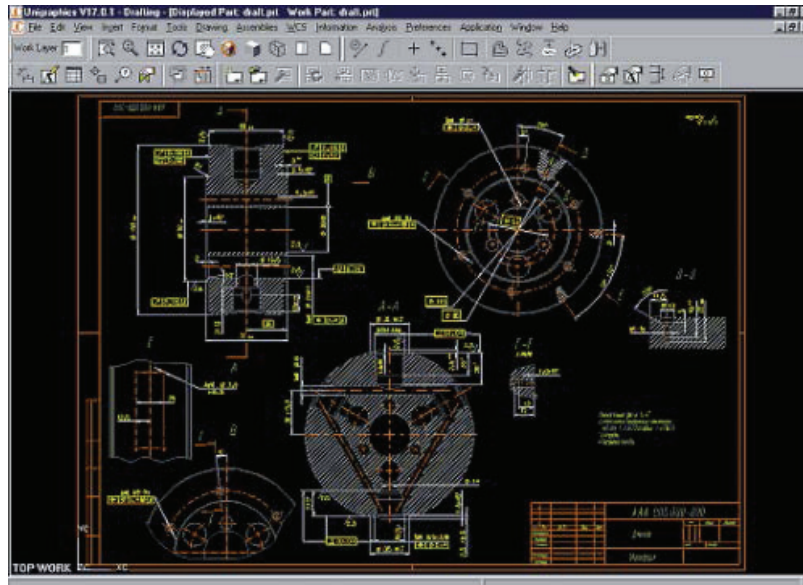


Рис. 1. Створення кресленника деталі корпусу розподілювача

Модуль Free Form Modeling (Моделювання вільних форм) забезпечує побудову складних поверхонь і моделей твердих тіл. Підтримуються такі типи поверхонь: кінематична поверхня (утворює лінію руху вздовж напрямної або вихідна форма пропорційно витягується уздовж однієї, двох або трьох напрямних), поліконічна поверхня (поверхня по конічних перетинах), поверхня на сітці точок, поверхня на сімействі ліній. Для роботи цього модуля необхідний модуль Solids Modeling.

Модуль User – Defined Features (Створення користувацьких базових елементів) надає засоби створення, зберігання, видалення та редагування типових конструктивних елементів користувача. Для позначення таких елементів будемо використовувати термін «користувальницький базовий елемент» або абревіатуру UDF (User – Defined Features), що дослівно перекладається як «Базовий елемент». Цей модуль дає змогу взяти існуючу параметричну модель тіла, побудовану стандартними засобами Unigraphics, установити взаємозв'язок між параметрами, зазначити вхідні змінні (формальні параметри), задати значення параметрів за замовчуванням і визначити, яку форму цей елемент набудатиме під час витягання. Сформований таким чином базовий елемент буде зберігатися в бібліотеці, до якої мають доступ усі користувачі, що працюють із модулем Features Modeling [1].

Створення деталі «Корпус розподілювача» можна прослідкувати на рис. 2, 3.

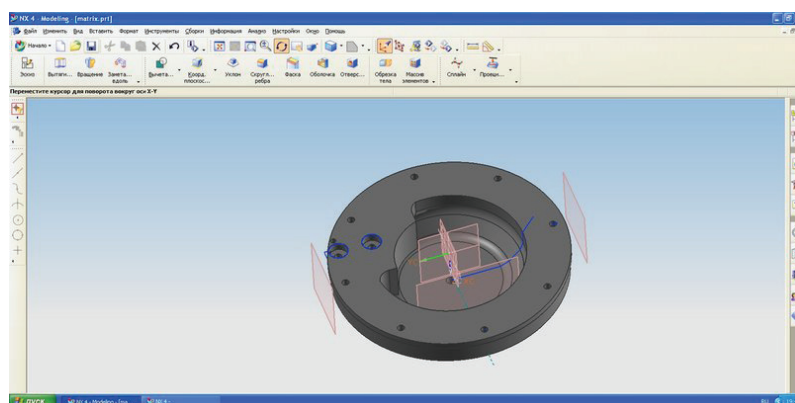
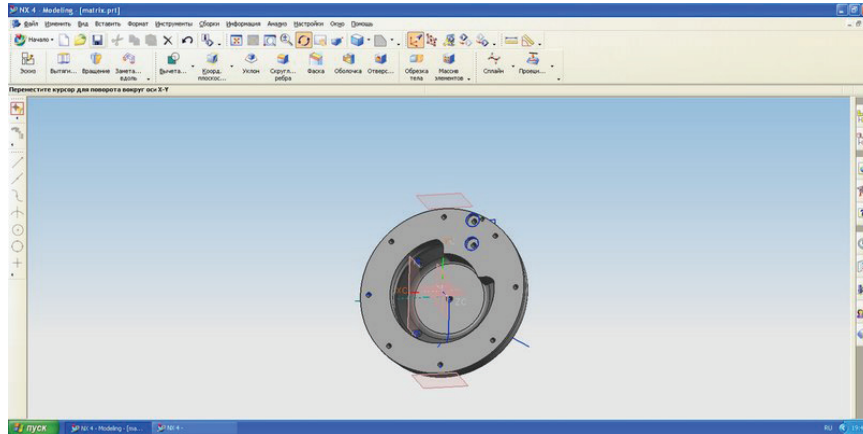


Рис. 2. Моделювання деталі в Unigraphics Modeling

**Рис. 3. Створення отворів**

Одним із необхідних етапів проєктування деталі є розрахунок на міцність. Деталь «Корпус розподільювача» сприймає навантаження, а це може призвести до її деформації. Дія цього явища і буде досліджена за допомогою автоматизованої системи інженерних розрахунків COSMOSWorks.

COSMOSWorks являє собою потужний та інтуїтивно зрозумілий програмний комплекс, призначений для виконання інженерних розрахунків. Створений першочергово для потреб аерокосмічної галузі, COSMOSWorks надає можливість вирішувати широкий спектр інженерних задач різної складності. Будучи «золотим партнером» SolidWorks, COSMOSWorks легко інтегрується як додатковий модуль, забезпечуючи безперешкодний процес розрахунку. Завдяки інтегрованому рішенню SolidWorks та COSMOSWorks користувачі отримують ефективний та економічно вигідний інструмент для вирішення своїх інженерних завдань. Застосовуючи масштабований підхід, користувач може вибрати лише необхідний набір інструментів.

COSMOSWorks включає широкий спектр спеціалізованих розв'язувачів, що дають змогу проводити аналіз більшості типових задач для окремих деталей, вузлів та складальних одиниць, включаючи:

- проведення лінійного статичного аналізу;
- ідентифікацію власних форм та частот коливань;
- обчислення критичних навантажень та форм утрати стійкості;
- здійснення теплового аналізу;
- проведення сумісного термомеханічного аналізу;
- моделювання з'єднань із застосуванням контактних елементів;
- виконання нелінійних розрахунків;
- оптимізацію конструкції виробу;
- розв'язання електромагнітних задач;
- розрахунок електромагнітних задач;
- розрахунок течії рідин та газів;
- інтеграцію із системами CAD.

Аналіз збірок:

- автоматизоване створення сітки елементів з об'єднанням різних компонентів у єдину модель для розрахунку;
- аналіз збірок з урахуванням зазорів та сил тертя між деталями;
- моделювання поведінки збірок за значних нелінійних деформацій контактних поверхонь та наявності тертя;

- виявлення та аналіз інтерференції між компонентами збірки.

Для візуалізації результатів аналізу COSMOS/Works використовує тривимірну графіку на базі OpenGL [5]. Постпроцесор надає можливість перегляду таких розрахункових даних конструкції:

- напруження (еквівалентні, головні), відносні та абсолютні деформації, відображення деформованої геометрії, енергія пружної деформації, реакції опор;
- власні форми та відповідні частоти коливань;
- температура, градієнти температури, теплові потоки;
- динамічне відображення перерізів моделі та побудова ізоповерхонь;
- майстер перевірки конструкції, що дає змогу визначати коефіцієнт безпеки;
- графічне представлення історії процесу оптимізації конструкції;
- графічне відображення зміни параметрів під час використання Р-методу скінченних елементів.

Для початку випробування створюємо проєкт (рис. 4) [5].

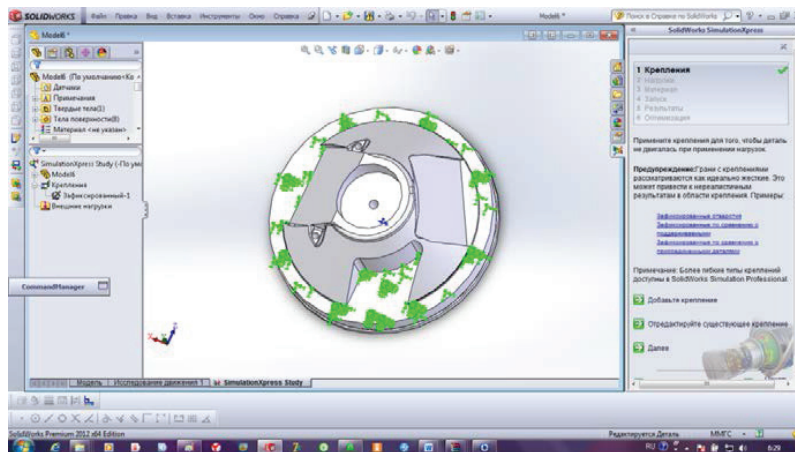


Рис. 4. Створення вправи в COSMOSWorks

Після створення статичної вправи необхідно даній моделі назначити матеріал, із якого вона буде виготовлятися (рис. 5). Вибираємо леговану сталь.

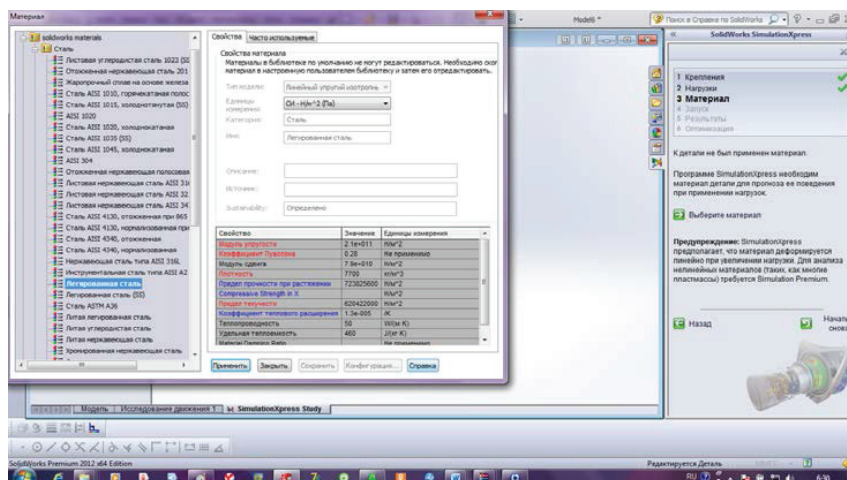


Рис. 5. Вибір матеріалу

Після вказання матеріалу необхідно вказати місця закріплення деталі та поверхні, на які буде створюватися тиск (рис. 6).

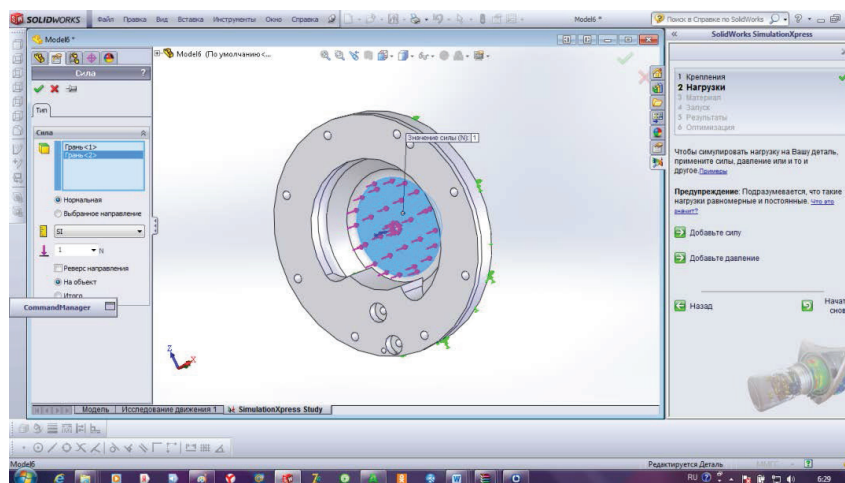


Рис. 6. Фіксація поверхонь і вказання напрямку діючих сил та їхніх величин

У результаті отримано такі показники (табл. 1).

Таблиця 1

Отримані показники

Ім'я властивості	Значення	Одиниці вимірювання	Тип значення
Модуль пружності	2.1e+011	N/m ²	Постійний
Коефіцієнт Пуассона	0.28	NA	Постійний
Модуль зсуву	7.9e+010	N/m ²	Постійний
Масова щільність	7800	kg/m ³	Постійний
Межа міцності під час розтягування	3.9983e+008	N/m ²	Постійний
Межа плинності	2.2059e+008	N/m ²	Постійний
Коефіцієнт теплового розширення	1.3e-005	/Kelvin	Постійний
Теплопровідність	43	W/(m.K)	Постійний
Питома теплоємність	440	J/(kg.K)	Постійний

Висновки. У роботі проведено якісну оцінку технологічності конструкції деталі, яка виконувалася за такими показниками, супроводжуючи висновком: «за цим показником деталь технологічна або частково технологічна, або нетехнологічна».

1. Матеріал деталі (технологічність обробки, вартість). Легована сталь характеризується високою оброблюваністю різанням із використанням різноманітного різального інструменту, а також сумісна з різними видами термічної обробки (загартування, відпал тощо). Ціна матеріалу становить 500 грн за кілограм. Деталь є технологічною у виробництві.

2. Жорсткість деталі. Деталь має хорошу жорсткість за всіх видів обробки. Деталь технологічна.

3. Конфігурація (раціональність, доступність обробки). Деталь простої форми, що полегшує установку і закріплення деталі за всіх видів обробки. Усі поверхні, оброблювані різанням, доступні і забезпечують легке підведення інструменту в зону обробки. Деталь технологічна.

4. Співвідношення кількості поверхонь, що обробляються різанням і не вимагають такої обробки. Усі поверхні деталі обробляються різанням. Деталь частково технологічна.



5. Обґрунтувати необхідність установлення допусків на відхилення від форми поверхонь та їх взаємного розташування. Зокрема, допуск паралельності становить 0,02 мм, необхідний для гарантування точності складання та забезпечення оптимального функціонування деталі у складі складальної одиниці. Деталь є технологічною у виробництві.

6. Відповідність шорсткості (сьомий клас) і точності поверхонь деталі. Шорсткість не відповідає квалітетам точності поверхонь. Деталь нетехнологічна.

Раціональність розмірних ланцюгів, можливість поєднання конструкторських, вимірювальних і технологічних баз. Розміри на кресленку розташовані раціонально. Конструкторська і технологічна бази деталі співпадають, що підвищує точність виготовлення деталі, а отже, і експлуатаційних показників. Деталь технологічна.

На основі здійсненої якісної та кількісної оцінки деталі щодо її технологічності можна констатувати, що деталь є частково технологічною.

Список використаних джерел

1. Мацулевич О.Є., Дереза О.О., Тетервак І.Р. Використання CAD-системи UNIGRAPHICS для технологічної підготовки виробництва корпусних деталей. *Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти* : збірник науково-методичних праць ТДАТУ. 2023. Вип. 26. С. 166–175.
2. Мацулевич О.Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи TechnologiCS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24. Т. 1. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-13.
3. Програмування автоматизованих процесів обробки деталей : навчально-методичний посібник. Лабораторний практикум / Ю.О. Дмитрієв та ін. Мелітополь, 2022. 170 с.
4. Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Залевський С.В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 8. Т. 1. С. 55–68.
5. Мацулевич О.Є., Зінов'єва О.Г. Розв'язання задач аналізу тренд-сезонних часових рядів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 19(2). С. 264–270.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2025

Y. Havrylenko¹, O. Matsulevych¹, A. Chaplinskyi¹, I. Tetervak¹, M. Suprun¹

¹ Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

TECHNICAL PREPARATION OF PRODUCTION PARTS «DISTRIBUTOR HOUSING»

Summary

The level of technical preparation of production depends on many factors (technical, economic and organizational). Technical factors include the development and implementation of standard and standard technological processes, the use of standardized and single technological equipment. Economic factors include gradual financing in the open air work on technical preparation of production, providing preferential loans, creating a fund for stimulating development (production for production) of new products. Organizational factors include the development and deepening of production specialization, certification of the quality of technological processes and means of technological equipment, uneven equipment based on the results of the quality assessment of the quality of prototype or the first industrial batch of products of basic production and improvement of the organization of auxiliary production.

Preparation for the introduction of new equipment, product, the latest technological processes or modernization of outdated products and existing technologies is initiated in research institutes and project organizations of the industry. Further implementation of works is carried out at enterprises or associations with the direct participation



of factory structures of management of scientific and technical development. Technical preparation of production includes phases of scientific research of new models or verification of its results in the development or improvement of technological processes in laboratory conditions. In the future, all this documentation is transferred directly to the enterprise, where the technical preparation of production begins at the enterprise itself. It covers the organization of works on the development of new products, improvement of existing structures, as well as the introduction of new and optimization of existing technological processes.

The work shows the stages of creation of design and technological documentation. The authors conducted a qualitative evaluation of the deviation of the comment, which was called out: material of the workpiece, the rigidity of the workpiece, the configuration of the workpiece, the ratio of the number of processed and unprocessed surfaces, the correspondence of the roughness and the statement.

Keywords: design documentation, technological documentation, software, technical task, technological process, Unigraphics system, module control.