

# ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 005.6:658.5:681.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/02>**Павленко В.Я.**Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України

## УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ – НАДІЙНЕ ПІДґРУНТЯ ВИРОБНИЦТВА ЯКІСНОЇ ТА КОНКУРЕНТОЗДАТНОЇ ПРОДУКЦІЇ В СУЧАСНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ

Для досягнення найкращого результату роботи підприємства будь-якої форми власності необхідно приділяти увагу підвищенню конкурентоздатності, виконанню якісних показників на усіх етапах життєвого циклу виготовлення продукції. Якість будь-якої продукції забезпечується як в процесі виготовлення, так і на етапі її розробки. Комплект конструкторської документації (КД) на виріб є результатом процесу розробки або проектування [1, 2]. Грамотно розроблена КД дозволяє отримати всю необхідну інформацію про майбутній виріб: його конструкцію, габарити, вагу, способи виготовлення і необхідні для цього матеріали; вимоги нормативних документів; необхідність контролю або експертизи; особливості експлуатації. Одним із способів оцінки якості процесу розробки і проектування є кількість допущених помилок в КД. По даним статистичного аналізу 60–90% готової продукції виходить з ладу через наявність конструкторських помилок. Більша частина їх виявляється в процесі виготовлення і першого випробування виробу, а інша частина тільки в процесі експлуатації впродовж деякого часу, що скорочує міжремонтний процес виробу і ресурс його роботи в цілому. Виходячи з цього – від якості процесу розробки КД залежить підготовка і організація виробництва продукції високої стабільної якості.

В статті розглянуті практичні рекомендації щодо удосконалення управління процесом розробки КД на сучасному підприємстві. Проаналізовані конструкторські помилки та окреслені задачі підвищення якості розробки КД за рахунок впровадження мір, які дозволяють зменшити їх кількість, а також скоротити трудомісткість операцій нормативного контролю (далі нормоконтролю). Визначені переваги використання статистичних методів аналізу на підприємстві із застосуванням системи автоматизованого проектування і розрахунку (САПР), яка призначена для автоматизації технологічного процесу проектування виробу результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації.

**Ключові слова:** конструкторська документація, конструкторська помилка, технічна документація, статистичний контроль.

**Постановка проблеми** Управління ходом розробки КД є задачею не простою, так як це процес важко керований. В результаті статистичного аналізу причин виникнення невідповідностей при розробці і проектуванні виробів на підприємстві виявлено, що доволі часто контроль КД є формальним і недостатнім з боку конструкторів і технологів (недостатньо кваліфікований та досвідчений персонал, недостатньо конкретно розроблено технічне завдання, не враховані зміни, які виникають в ході розробки, тощо). Значна кількість помилок формується з причини невідповідності КД вимогам нормативних документів (НД).

Відповідно, з метою зниження проценту браку при плануванні і організації виробництва необхідно приділити особливу увагу підбору компетентного і кваліфікованого персоналу, зокрема технологів, конструкторів, інженерів зі стандартизації, метрологів – задачами яких стануть питання зменшення помилок при проектуванні КД.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проектування вимагає від фахівця (проектувальника) спеціальних предметних знань, а також методології і правил виконання проектних процедур. Численні українські та зарубіжні вчені постійно вивчають проблему зменшення кон-

структорських помилок в процесі проектування (розробки) КД. За статистикою найбільша кількість помилок виникає через нанесення помилкових розмірів і допустимих відхилень в креслениках. Ю.С. Рудь, В.П. Шпачук розглядають призначення, класифікацію, конструкцію, основи теорії та розрахунку механічних передач зачепленням та тертям, задачі деформування та руйнування твердих тіл при статичному та динамічному навантаженні [8,9]. О.В. Дебіро, С.В. Репінський вивчають питання розмірно-точнісного моделювання, побудови конструкторських розмірних ланцюгів, методи їх розрахунку, технологічні особливості та області використання методів забезпечення точності ланки замикання під час складання виробів. Етапи розмірно-точнісного моделювання технологічних процесів механічної обробки, що необхідно враховувати розробнику для уникнення помилок [12].

На сучасному виробництві велика кількість галузей науки і техніки комп'ютеризується і відбувається перенос достатньо великої кількості задач з ручного виконання на виконання з використанням електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). Процес розробки КД не є виключенням. В.В. Багрій, С.К. Мещанінов, О.М. С'янов вивчають основні підходи до визначення процесу проектування, розглядають системні підходи при проектуванні електронних засобів [13]. К.С. Барандич, С.П. Вислоух, М.В. Філіппова розглядають методологічні та технологічні основи побудови САПР технологічних процесів (ТП): склад, структуру та компоненти автоматизованих систем проектування, а також основні підходи автоматизації вирішення задач технологічної підготовки виробництва [14].

На сьогодні не всі можливості, які дозволяють прискорити процес розробки КД є достатньо вивченими. Тому ці питання є актуальними і постійно потребують досконалості.

**Постановка завдання.** Для забезпечення конкурентоспроможності продукції (виробів) вимогам замовників (споживачів) необхідно приділяти велику увагу дотриманню існуючих законів, норм і положень, аналізу конструкторських помилок на усіх етапах життєвого циклу виробу а також контролю показників якості КД. Метою статті є методи оцінки стабільності протікання процесу розробки КД на сучасному підприємстві, способи зменшення конструкторських та технологічних помилок.

**Виклад основного матеріалу** Основний комплект КД виробу об'єднує конструкторські

документи, що відносяться до усього виробу (тобто складені на увесь виріб в цілому), наприклад, складальний кресленик, принципова електрична схема, технічні умови, експлуатаційні документи. Розробка креслеників – обов'язковий крок перед початком серійного або одиничного випуску продукції. В них наведені розміри, геометрія, тип обробки, матеріали та параметри деталі. Для досягнення високої якості необхідно дотримуватись вимог єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), яка застосовується до усіх типів документів, що використовуються у виробництві. ЄСКД встановлює норми оформлення, розробки, обігу КД, що використовуються на всіх стадіях життєвого циклу виробу. Для створення систематизованої, упорядкованої, послідовно викладеної КД, яка у подальшому буде придатною для багаторазового використання необхідно виконати розрахунки, опрацювати конструкцію, та врахувати всі нюанси галузі. Тобто розробка та конструювання КД є творчим процесом в уяві конструктора, а причини виникнення конструкторських помилок закладені в суті цього процесу. Використовуючи дані технічного завдання (ТЗ), інформаційних матеріалів, практичного досвіду, конструктор створює уявний образ виробу за допомогою креслень. При переході уявного (ідеального) образу виробу до реального втілення, конструктору необхідно враховувати цілий ряд вимог та обмежень. Ці факти досить часто бувають суперечливими і не дозволяють створити той реальний вигляд виробу, до якого він прагнув. Розбіжність реальної якості виробу з еталоном служить критерієм досконалості конструкції. Якщо розбіжність більша, ніж середній інженерно-технічний рівень даного часу, то конструкцію можна вважати помилковою.

*Конструкторська помилка* – це відхилення результату, отриманого в результаті проектування і конструювання від прийнятих норм, закладених в ТЗ та обмеженнях, висунутих Замовником (габарити, вага, економічність виготовлення, матеріали та комплектувальні вироби, загальна вартість виробу)

Розрізняють явні та приховані помилки.

*Явні (очевидні) помилки*, виявляються при порівнянні конструкції з еталоном при контролюванні ТД. До них відносяться помилки розмірних ланцюгів і розрахунки на міцність, відхилення параметрів, таких як сила, швидкість, тиск, тощо.

*Приховані помилки* мають місце, як правило, в нових розробках, в яких застосовується ще не

перевірений практикою принцип роботи виробу або відсутня достатня кількість інформації для впровадження вже відомого принципу. Приховані помилки виявляють, як правило, експериментально, при випробуваннях дослідного зразка виробу.

Помилки в КД діляться на три групи (в кожену групу входить ряд віднесених до цієї групи помилок):

*1 група – конструктивні помилки*

1. Помилки викликані хибним (невірним) направленням розробки виробу. Такі помилки часто закладені ще в ТЗ на проектування і виникають через невірне розуміння тієї роботи, яку виріб повинен виконувати або процесів для яких він створений. Такі помилки повинні бути розкриті уже на початкових стадіях розробки: в технічній пропозиції, ескізного проєкту. Розробнику дається право на критичний аналіз ТЗ і виявлення усіх неточностей і похибок в ньому. Значну роль у цьому процесі відіграють начальники груп, головні інженери проєктів, провідні спеціалісти, які відповідають за правильний напрямок конструкторських розробок. Помилки невірного напрямку розробок відносяться до прихованих і не завжди виявляються при контролі КД і перевірці її відповідності ТЗ.

2. Помилки в функціональному призначенні виробу, що розробляється. Нові вироби повинні відповідати своїм функціям, бути ефективними та надійними.

3. Помилки при виборі матеріалів та комплексувальних виробів, коли властивості матеріалу та його технологічна обробка не забезпечує нормальну і надійну роботу усіх вузлів та механізмів. Помилки при використанні матеріалу (матеріал може бути використаний нерационально: із зайвою товщиною стінок, ребер тощо).

4. Помилки при виборі форми деталей (габаритів). Форма деталі повинна сприяти її виготовленню із матеріалу, вказаному в кресленнику найбільш ефективними технологічними методами.

5. Помилки в оцінюванні психологічних і соціальних сторін нового виробу (конструкція повинна відповідати новим вимогам експлуатації, враховувати методи сучасності, потреби споживачів, відповідності довкілля, тощо).

6. Помилки естетичного характеру і відповідності виробу вимогам техніки безпеки. Зовнішній вигляд виробу повинен бути привабливий і відповідати його функціональному призначенню. Температура, шум, вібрація виробу повинні бути в межах норми.

*2 група – помилки в розрахунках*

1. Помилки в розрахунках на міцність [8,10]. В результаті цих помилок розміри «небезпечних» перерізів<sup>1</sup> можуть вийти не виправдано малими або великими. При заниженому розмірі «небезпечних» перерізів відбувається передчасний вихід виробу з ладу або його поломка. Якщо «небезпечний» переріз збільшений – не виправдано зростає маса виробу і витрата матеріалу. Ці помилки ґрунтуються на недостатній або хибній оцінці реально діючих сил у виробі, прийнятті невірної розрахункової схеми, методики розрахунку або допущенні помилок в розрахунках.

2. Помилки в розрахунках на жорсткість [10]. Ці помилки приводять до вібрацій, які перевищують допустимі норми. В результаті вібрації виріб не може виконувати свої функції.

3. Помилки в розрахунках кінематичних схем. В результаті цих помилок виріб не буде відповідати параметрам, на які він розрахований.

*3 група – помилки в розмірах*

До цієї групи відноситься найбільша частина помилок [12].

1. Помилки в розрахунках розмірних ланцюгів. Вони виникають при невірних розрахунках розмірів і допустимих відхилень, в тому числі при невірному визначенні ходу механізму.

2. Помилки при визначенні розмірів вузьких місць механізму – в результаті чого виникають випадки неможливості складання виробу. Причини помилок: неточний розрахунок або розрахунок при якому не було враховано місце сполучення деталей.

3. Помилки через недбалість розробника. Такі помилки можуть бути допущені при розрахунку розміру або при записах правильно розрахованого розміру і допустимого його відхилення.

Помилки цієї групи виявляються в процесі перевірки креслеників і проявляються як невідповідність вказаного розміру фактичному значенню елемента конструкції у вказаному масштабі. Правильне нанесення розмірів і допустимих відхилень в кресленнях є важливим процесом, який свідчить про якість КД. Велику роль тут відіграють головні фахівці та керівники груп конструкторів та технологів, які здійснюють 100%-вий контроль виконання креслеників деталей та складальних креслеників.

Поява помилок в КД зумовлена, як правило, певними мотивами. За ознаками виникнення помилки можуть бути мотивовані і немотивовані.

<sup>1</sup> Метод перерізів полягає в тому, що зрівноважене тіло умовно розрізають площиною на дві частини, будь-яку з них відкидають і замість неї до перерізу залишеної частини прикладають внутрішні сили. Залишену частину розглядають як самостійне тіло, яке перебуває в рівновазі під дією зовнішніх і прикладених до перерізу внутрішніх сил.

*Мотивовані помилки* мають певну базу виникнення. Вони як би мають логічне обґрунтування для їх виникнення, пов'язане з необізнаністю або недбалістю розробника. Мотивовані помилки можуть бути пов'язані також з масштабом кресленика (розміри проставляються по натуральній величині кресленика, хоча зображення виконано у збільшеному або зменшеному масштабі). Іноді розміри і допустимі відхилення отворів встановлюються на валах, а розміри і допустимі відхилення валів – на отворах. Отвори і вали можуть мати різні номінальні розміри тощо. Є випадки, коли невірні розміри з'являються через помилково виконане зображення розрізу або перетину. Недбалість розробника може привести до нанесення розмірів на іншій розмірній лінії, що гарантує помилку. Іноді не враховується довжина ходу механізму тощо.

*Немотивованими помилками* називають випадкові помилки, які дуже важко пояснити.

Помилки, які зустрічаються в КД, в залежності від викликаних ними наслідків класифікують чотирма класами (дивитись таблицю 1).

Оцінка якості розробки КД на сучасному виробництві зазвичай здійснюється за наступними показниками: відповідність параметрів КД

вимогам ТЗ; відповідність КД вимогам ЄСКД; виконання вимог технічних регламентів, міжнародних та галузевих стандартів; технічний рівень КД; виконання вимог до спеціальних характеристик об'єкту проектування; технологічність (зручність виготовлення); доступність та раціональність покупних комплектувальних виробів; інформативність КД; дотримання строків виконання робіт.

Послідовність дій по управлінню процесом розробки КД на сучасному підприємстві представлена на рисунку 1.

Діяльність конструкторського контролю розподіляється за типами об'єктів, що перевіряються, а саме: електронні моделі, кресленики, складальні кресленики, запозичені моделі, покупні вироби, тощо. Для кожного типу документу виявляють ключові ознаки, згідно яких об'єкт даного типу є придатним або таким, що не відповідає заданим умовам. Таким чином до проекту КД висувається істотна кількість вимог, які вимагають управління і контролю за їх виконанням. Ці вимоги розділені по зонам відповідальності: відповідальність технічних рішень перевіряється в рамках групи конструкторів [3]; за технологічне опрацювання конструкції відповідає група технологів [4, 5];

Таблиця 1

## Класифікація помилок, виявлених в креслениках

| Клас | Характеристика класу                                                                     | Помилки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I    | Помилки, які не впливають на роботоздатність виробу                                      | <i>Недотримання правил креслення ЄСКД:</i> правил нанесення розмірів, позначень, тощо а також правил стандартизації та нормоконтролю.<br><i>Помилки в розрахунках</i> маси, технічних параметрів, не економічний вибір точності обробки елементів деталей.<br><i>Економічного характеру</i> (невигідне економічно через надто високу вартість).<br><i>Юридичного характеру</i> (безпатентний виріб).                                                                                                       |
| II   | Помилки, які погіршують роботоздатність і управління виробом                             | Не правильно вибраний матеріал, його термообробка, стійкість, міцність. Відсутність або недостатня кількість технічних вимог, пред'явлених до точності виготовлення та складання. Помилки у виборі допустимих відхилень розмірів сполучення поверхонь та у виборі шорсткості поверхонь тертьових частин або сполучень.<br>Ергономічного характеру – органи управління не пристосовані до фізіологічних та антропометричних даних людини-оператора. Форма виробу не відповідає функціональному призначенню. |
| III  | Помилки, які викликають виправний брак деталей, складальних одиниць                      | Помилки в розмірних ланцюгах або окремих розмірах; у виборі допустимих відхилень розмірів або сполучень поверхонь; в орієнтації окремих геометричних і конструктивних елементів деталі; у виборі комплектувальних виробів або виробів загального призначення; в технологічності деталі.                                                                                                                                                                                                                    |
| IV   | Помилки, які викликають невивірний брак деталей, складальних одиниць та виробів в цілому | Невідповідність виробу призначенню та вимогам ТЗ. Помилки у виборі робочого механізму, його принципу роботи або фізичного процесу, який лежить в основі роботи. Помилка, яка є причиною невиконання намічених функцій окремими механізмами або виробом в цілому; у дотриманні умов складання (виріб не складається); в розмірах і в розмірних ланцюгах, в розрахунках; у виборі матеріалу (якщо заміна не можлива), тощо.                                                                                  |



Рис. 1

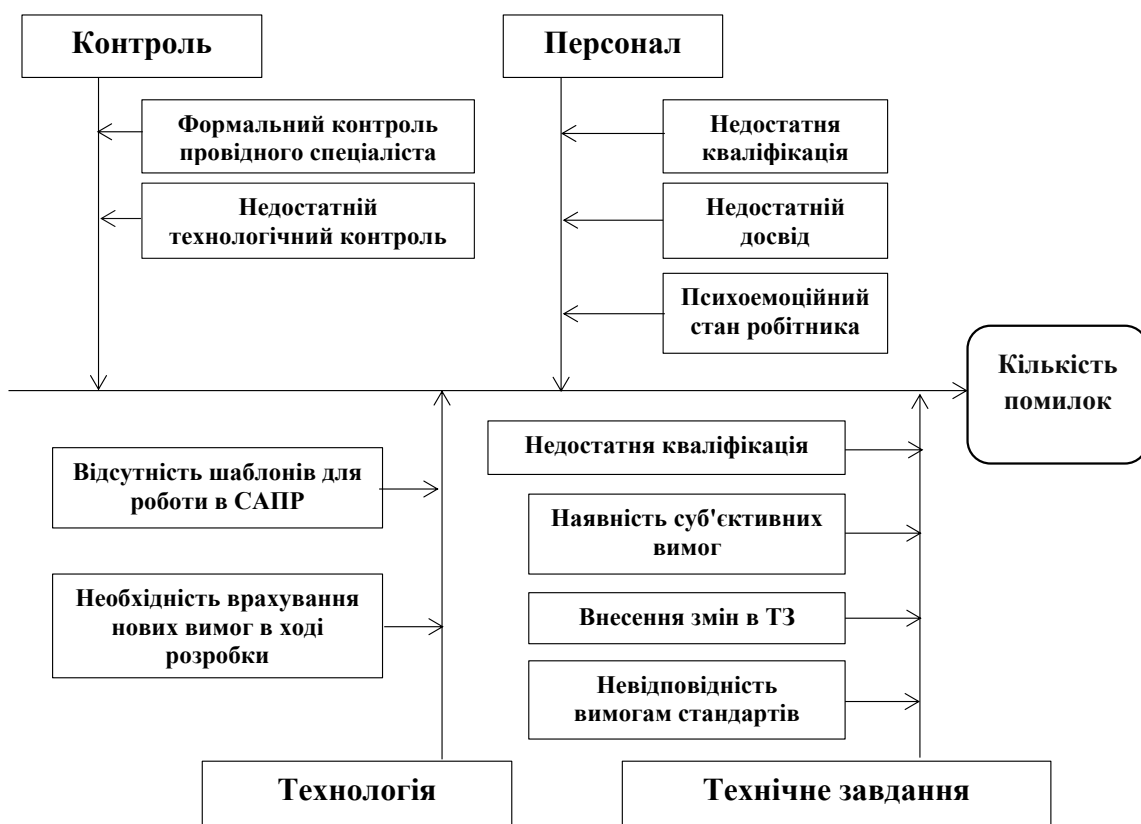


Рис. 2

за метрологічний контроль та нормоконтроль КД відповідають метрологи та нормоконтролери [6, 7, 11].

Рушійною силою при розробці КД є *статистичний аналіз* конструкторських помилок, який дозволяє визначити рівняння зв'язку вхідних і вихідних параметрів, проаналізувати параметри технологічного процесу, побудувати математичну модель процесу, або, іншими словами, встановити взаємну залежність між різними факторами і технологічними результатами процесу. За результа-

тами статистичного аналізу причин появи помилок розробляються заходи щодо управління, направлені на підвищення якості розробки КД на підприємстві а саме: проведення семінарів по роботі з програмами автоматизованого проектування Solid Works і SWR-специфікація; укладання або подовження договорів про забезпечення необхідною нормативною документацією; навчання персоналу у зовнішніх організаціях (наприклад, навчання по роботі з програмами для виконання розрахунків тощо); щотижневі наради колек-

тиву щодо обговорення допущених помилок; затвердження внутрішніх правил розробки КД і розробки внутрішніх стандартів організації; розробки шаблонів технічних вимог в Solid Works; передача досвіду новим співробітникам.

За допомогою САПР можна значно підвищити якість і продуктивність робіт та скоротити час на проведення нормоконтролю [15]. Відповідно скоротяться і строки проектування, так як зміни в стандартах швидко коригуються системою. Всі ці фактори дозволять швидко перевірити і оцінити різні варіанти проектних рішень, змінити та підвищити якісні характеристики виробу. Аналіз причин і наслідків виникнення невідповідностей при розробці і проектуванні виробів на підприємстві показано на рисунку 2.

**Висновки** При оцінюванні впливу конструкторських помилок необхідно розглядати конструкцію виробу у нерозривному зв'язку з її цільовим призначенням і застосуванням. Аналіз показав, що помилки мають відносний характер, який

залежить не тільки від об'єктивних факторів, але й від досвіду і кваліфікації розробника, провідного фахівця (експерта), який визначає помилку. Вироби розроблені для виготовлення в одиничному виробництві будуть помилковими для серійного виробництва і навпаки. Дуже важко оцінити помилки економічного характеру, а помилки соціального характеру виявляються тільки після певного періоду експлуатації.

Отже знання розробником причин виникнення основних видів конструкторських помилок дозволяє ціле-направлено їх уникати. Конструктор у своїх розробках повинен визначити певний стиль і порядок роботи, щоб максимально їх не допустити. Потужним важелем покращення якості проектування і усунення всякого роду помилок є застосування САПР, яка виключає участь в цьому процесі людини, яка може помилятися. Безпомилково створений і відпрацьований алгоритм автоматичного проектування є надійним підґрунтям виробництва якісної продукції.

#### Список літератури:

1. ГОСТ 2.111-68 Єдина система конструкторської документації. Нормоконтроль (недійсний в Україні, використовується як довідковий)
2. ДСТУ ГОСТ 3.1116:2014 Єдина система технологічної документації. Нормоконтроль (ГОСТ 3.1116-2011, IDT)
3. ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю ВИМОГИ. (ISO 9001:2015, IDT)
4. О.П. Морозенко, Г.В. Малишко Правила виконання та оформлення креслень URL [https://nmetau.edu.ua/navch\\_posibnik\\_ch.1.pdf](https://nmetau.edu.ua/navch_posibnik_ch.1.pdf) (дата звернення 12.12.2024)
5. Є.А. Антонович, Я.В. Василишин, В.А. Шпільчак. Креслення: Навч. посібник/ За ред. проф. Є.А. Антоновича. – Львів: Світ, 2006. – 512 с
6. Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII «Про метрологію та метрологічну діяльність».
7. ГОСТ 2.111-68 (1995) – ЕСКД. Нормоконтроль. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/gost/13-1-0-965> (дата звернення: 12.12.2024).
8. В.П. Шпачук Основи механіки деформівного тіла. Цифровий репозиторий ХНУГХ ім. А.Н. Бекетова URL <http://eprints.kname.edu.ua> > (дата звернення 17.12.2024)
9. Ю.С. Рудь Основи конструювання машин. URL <https://lib.iitta.gov.ua> > eprint > (дата звернення 18.12.2024)
10. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с. 26. URL <https://elib.lntu.edu.ua> > elib\_upload > (дата звернення 18.12.2024)
11. Нормоконтроль технічної документації StudFiles URL <https://studfile.net> > preview > page:6 (дата звернення 23.12.2024)
12. О.В. Дерібо, С.В. Репінський. Розмірно-точнісне моделювання конструкцій та технологічних процесів : електронний навчальний посібник Вінниця : ВНТУ, 2024. – 105 с. URL <http://pdf.lib.vntu.edu.ua> > (дата звернення 23.12.2024).
13. В.В. Багрій, С.К. Мещанінов, О.М.С'янов Основи проектування електронних систем URL <https://www.dstu.dp.ua> > Portal > (дата звернення 24.12.2024).
14. К. С. Барандич, С. П. Вислоух, М. В. Філіппова. САПР ТП. URL <https://ela.kpi.ua> > bitstream > (дата звернення 24.12.2024).
15. Мороз\_Пристапа. Створення і використання технічних систем URL <https://elib.lntu.edu.ua> > page10 (дата звернення 24.12.2024).

**Pavlenko V.Ya. MANAGEMENT OF THE DESIGN DOCUMENTATION DEVELOPMENT PROCESS – A RELIABLE FOUNDATION FOR THE PRODUCTION OF QUALITY AND COMPETITIVE PRODUCTS IN THE MODERN ORGANIZATION**

*In order to achieve the best result of the enterprise of any form of ownership, it is necessary to pay attention to increasing competitiveness, to the performance of quality indicators at all stages of the life cycle of production of products. The quality of any product is ensured both in the manufacturing process and at the stage of its development. A set of design documentation for a product is the result of the development or design process [1, 2]. Competently developed construction documentation allows you to get all the necessary information about the future product: its design, dimensions, weight, manufacturing methods and necessary materials; requirements of normative documents; the need for control or expertise; features of operation. One of the ways to assess the quality of the development and design process is the number of errors made in the design process. According to statistical analysis, 60–90% of finished products fail due to design errors. Most of them are found in the process of manufacturing and the first test of the product, and the other part only in the process of operation for some time, which shortens the inter-repair process of the product and the resource of its work as a whole. Based on this, the preparation and organization of the production of products of high stable quality, as well as the operation and repair of the finished product depends on the quality of the construction documentation development process.*

*The article discusses practical recommendations for improving the management of the construction documentation development process at a modern enterprise. The design errors were analysed and the tasks of improving the quality of the development of construction documentation were outlined due to the implementation of measures that allow to reduce their number; and also reduce the labor intensity of regulatory operations. The advantages of using statistical methods of analysis at the enterprise with the use of an automated design and calculation system have been determined, which is designed to automate the technological process of product design.*

**Key words:** design documentation, design error; technical documentation, statistical control.