

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Таврійський державний агротехнологічний університет**  
**імені Дмитра Моторного**  
**Механіко-технологічний факультет**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. зав. каф. ІМКП

доц.  Олена ДЕРЕЗА

« 12 » червня 2026 р.

***Пояснювальна записка***  
**до кваліфікаційної роботи здобувача СВО Бакалавр**  
**(ступінь вищої освіти)**

на тему: «Оснащення для виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора» на основі CAD/CAM/CAE-модулів системи Unigraphics»

**17 ПМД. 10198355.06.26/000000 ПЗ**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи 41 ПМ  
спеціальності 131 «Прикладна механіка» за ОПП  
«Комп'ютерне проектування і дизайн»  
(шифр і назва спеціальності та ОПП)



Гліб ГОЛОВАТЕНКО

(підпис)

Керівник доц. 

Олександр ВЕРШКОВ

(підпис)

Консультант доц. 

Михайло ЗОРЯ

(підпис)

Консультант доц. 

Лариса БОЛТЯНСЬКА

(підпис)

Нормоконтроль доц. 

Олександр МАЦУЛЕВИЧ

(підпис)

Рецензент 

Сергій ТКАЧЕНКО

(підпис)

Запоріжжя - 2026 рік

# ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

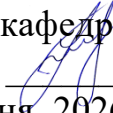
Факультет: МТ

Кафедра: ІМКП

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
ОПП «Комп'ютерне проектування і дизайн»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри ІМКП

к.т.н, доц.  Олександр ВЕРШКОВ  
«20» березня 2026р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

**Головатенка Гліба Володимировича**

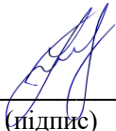
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи: «Оснащення для виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора» на основі CAD/CAM/CAE-модулів системи Unigraphics», затверджена наказом по університету від 14.10.2025 за № 548-С.

1. Термін здачі студентом закінченого проекту: 12 червня 2026 року.
2. Вихідні дані до проекту (роботи): завдання на розробку кваліфікаційної роботи.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):  
провести аналіз стану технологічного оснащення на підприємстві, розробити програмний модуль спеціалізованої САПР, розробити постпроцесор для верстату з ЧПУ, перевірити деталь на міцність, створити керуючу програму для обробки ливарної форми деталі, провести розрахунок штучного освітлення та кондиціонування повітря, визначити економічні показники ефективності впровадження удосконаленого технологічного процесу.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
  - 4.1 Пропонована функціональна схема процесу автоматизованого проектування.
  - 4.2 Пропонована методика профілювання функціональних поверхонь зубонарізного інструменту
  - 4.3 Програмна реалізація підсистеми моделювання профілю зуба черв'ячної фрези
  - 4.4 Робоче креслення черв'ячної фрези.
  - 4.5 Послідовність створення керуючої програми для виготовлення деталі.
  - 4.6 Проект робочого місця інженера-проектувальника та основні вимоги з охорони праці та безпеки життєдіяльності інженера-проектувальника

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів проекту, що стосуються їх:

| Консультант     | Підпис, дата                                                                      |            |                                                                                     |            |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                 | Завдання видав                                                                    |            | Завдання виконав                                                                    |            |
| Зоря М.В.       |  | 22.05.2026 |  | 01.06.2026 |
| Болтянська Л.О. |  | 05.06.2026 |  | 09.06.2026 |

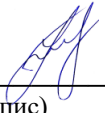
Керівник  Олександр ВЕРШКОВ  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання  Гліб ГОЛОВАТЕНКО

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Пор. № | Назва станів кваліфікаційної роботи                                                | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1      | Передпроектне обстеження підприємства ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів» | 08.05-10.05                    | Виконано |
| 2      | Створення 3D-моделі та робочих креслень деталі «Корпус компресора»                 | 11.05-12.05                    | Виконано |
| 3      | Розробка програмного модуля спеціалізованої САПР                                   | 13.05-15.05                    | Виконано |
| 4      | Створення постпроцесора                                                            | 18.05-20.05                    | Виконано |
| 5      | Розробка технологічного процесу                                                    | 21.05-22.05                    | Виконано |
| 6      | Розрахунок деталі на міцність                                                      | 25.05-26.05                    | Виконано |
| 7      | Розробка керуючої програми                                                         | 27.05-28.05                    | Виконано |
| 8      | Розрахунок економічної ефективності проекту                                        | 29.05-01.06                    | Виконано |
| 9      | Оформлення проекту в цілому                                                        | 02.06-05.06                    | Виконано |
| 10     | Підпис проекту у консультантів і нормоконтролю                                     | 08.06-12.06                    |          |

Студент-дипломник  Гліб ГОЛОВАТЕНКО  
(підпис)

Керівник роботи  Олександр ВЕРШКОВ  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи представлена у вигляді розрахунково-пояснювальної записки обсягом 80 сторінок друкованого тексту формату A4(210×297), додатки та 6 аркушів креслярсько-графічних робіт формату A4(210×297), містить 5 розділів, 37 рисунків, 9 таблиць та список використаної літератури кількістю 30 найменувань.

Об'єктом дослідження в даній роботі є система технічної підготовки виробництва підприємства ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів».

Метою роботи є модернізація технологічного оснащення для виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора».

В першому розділі проводиться обстеження і аналіз підприємства.

У другому розділі проводиться конструкторська підготовка виробництва.

У третьому розділі технологічна підготовка виробництва.

У четвертому розділі охорона праці.

У п'ятому розділі розрахунок економічної ефективності при упровадженні нового технологічного процесу.

Для розробки програми було обрано програмно – методичний комплекс Unigraphics NX4. Цей продукт має всі необхідні властивості і можливості для реалізації поставленої мети в обраному напрямку роботи.

Були розроблені операційний технологічний процес та управляюча програма.

Ключові слова: технічне завдання, програмне забезпечення, система автоматизованого проектування, Unigraphics, числове програмне керування, автоматизована система, технологічний процес, коефіцієнт міцності.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| АРМ | автоматизоване робоче місце;             |
| АС  | автоматизована система;                  |
| ВГК | відділ головного конструктора;           |
| ВГТ | відділ головного технолога;              |
| ЕОМ | електронна обчислювальна машина;         |
| КП  | керуюча програма;                        |
| КТЕ | конструкторсько-технологічні елементи;   |
| ЛОМ | локально-обчислювальна мережа;           |
| МКЕ | метод кінцевих елементів;                |
| ОК  | обчислювальний комплекс;                 |
| ОСО | система оператор - середовище            |
| ПЗ  | програмне забезпечення;                  |
| ТЗ  | технічне завдання;                       |
| ТО  | технологічне оснащення;                  |
| ТОВ | товариство з обмеженою відповідальністю; |
| ТПВ | технологічна підготовка виробництва;     |
| ЧПК | числове програмне керування;             |

| № рядка | Формат | Позначення                        | Найменування               | Кількість<br>листів | Номер<br>листа | Прим. |
|---------|--------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------|-------|
| 1       | A4     | 17 ПМД. 10198355.06.26/000 000 ПЗ | Розрахунково -             |                     |                |       |
| 2       |        |                                   | пояснювальна записка       |                     |                |       |
| 3       | A1     | 17 ПМД. 10198355.06.26/010 000    | Мета та задачі             | 1                   | 0              |       |
| 4       |        |                                   | кваліфікаційної роботи     |                     |                |       |
| 5       | A1     | 17 ПМД. 10198355.06.26/210 000    | 3D модель та робочий       |                     |                |       |
| 6       |        |                                   | кресленик деталі           | 1                   | 1              |       |
| 7       | A1     | 17 ПМД. 10198355.06.26/220 000    | Дослідження напружених     |                     |                |       |
| 8       |        |                                   | станів та можливих         |                     |                |       |
| 9       |        |                                   | деформацій деталі          | 1                   | 2              |       |
| 10      | A1     | 17 ПМД. 10198355.06.26/310 000    | Етапи створення            |                     |                |       |
| 11      |        |                                   | управляючої програми       | 1                   | 3              |       |
| 12      | A1     | 17 ПМД. 10198355.06.26/320 000    | Робота програмного модуля  |                     |                |       |
| 13      |        |                                   | спеціалізованої САПР       | 1                   | 4              |       |
| 14      | A1     | 17 ПМД. 10198355.06.26/410 000    | Карта умов праці інженера- |                     |                |       |
| 15      |        |                                   | -програміста на робочому   |                     |                |       |
| 18      |        |                                   | місці та економічні        |                     |                |       |
| 19      |        |                                   | розрахунки                 | 1                   | 5              |       |
| 20      |        |                                   |                            |                     |                |       |
| 21      |        |                                   |                            |                     |                |       |
| 22      |        |                                   |                            |                     |                |       |
| 23      |        |                                   |                            |                     |                |       |
| 24      |        |                                   |                            |                     |                |       |
| 27      |        |                                   |                            |                     |                |       |

|          |      |                  |                                                                                     |       |                                                                                                                                    |             |      |     |
|----------|------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------|-----|
|          |      |                  |                                                                                     |       | 17 ПМД. 10198355.06.26/000 000                                                                                                     |             |      |     |
| Зм       | Лист | № докум.         | Підпис                                                                              | Дата  |                                                                                                                                    |             |      |     |
| Розроб.  |      | Головатенко Г.В. |  | 12.06 | Оснащення для виготовлення<br>ливарної форми деталі «Корпус<br>компресора» на основі<br>CAD/CAM/CAE-модулів системи<br>Unigraphics | Літ         | Лист | Лис |
| Перевір. |      | Вершков О.О.     |  | 12.06 |                                                                                                                                    |             | 1    | 1   |
| Консул.  |      | Зоря М.В.        |  | 12.06 |                                                                                                                                    | ТДАТУ, 2026 |      |     |
| Консул.  |      | Болтянська Л.О.  |  | 12.06 |                                                                                                                                    |             |      |     |
| Н.контр. |      | Мацулевич О.Є.   |  | 12.06 |                                                                                                                                    |             |      |     |
| Затв.    |      | Дереза О.О.      |  | 12.06 |                                                                                                                                    |             |      |     |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                                                                                                                 | 9  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ НА ПІД-<br>ПРИЄМСТВІ ТОВ «МЕЛІТОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ТУРБОКОМПРЕСОРІВ»<br>ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ «КОРПУС КОМПРЕСОРА» ТА<br>ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ<br>ВИРОБУ..... | 10 |
| 1.1 Загальні відомості про підприємство та характеристика продукції на ТОВ<br>«Мелітопольський завод турбокомпресорів».....                                                                                                | 10 |
| 1.3 Етапи життєвого циклу виробу та роль технологічного оснащення.....                                                                                                                                                     | 11 |
| 1.4 Роль САПР в вирішенні завдань технологічної підготовки підприємства...                                                                                                                                                 | 13 |
| Висновки до першого розділу.....                                                                                                                                                                                           | 15 |
| РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ АВТО-<br>МАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....                                                                                                                                    | 16 |
| 2.1 Етапи конструкторської та технологічної підготовки виробництва.....                                                                                                                                                    | 16 |
| 2.2 Обґрунтування вибору автоматизованої CAD, CAM, CAE системи проєк-<br>тування конструкторської та технологічної документації.....                                                                                       | 17 |
| 2.2.1 Вибір програмно - методичного комплексу Unigraphics NX4 за допомогою<br>метода аналізу ієрархій.....                                                                                                                 | 22 |
| 2.2.2 Загальні відомості про можливості блоків програмно - методичного<br>комплексу Unigraphics<br>NX4.....                                                                                                                | 27 |
| 2.3 Основні етапи проєктування 3D – моделі та креслення ливарної форми<br>деталі «Корпус<br>компресора».....                                                                                                               | 29 |
| 2.4 Розрахунки на міцність ливарної форми деталі «Корпус<br>компресора».....                                                                                                                                               | 36 |
| 2.5 Проєктування технологічного процесу для виготовлення ливарної форми<br>деталі «Корпус компресора».....                                                                                                                 | 43 |
| Висновки до другого розділу.....                                                                                                                                                                                           | 47 |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ<br>ЛИВАРНОЇ ФОРМИ ДЕТАЛІ «КОРПУС КОМПРЕСОРА» ДЛЯ                                                                                                                   |    |

|                          |                                                                                                                                   |                  |       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|
| ПІДПІЄМСТВА              | ТОВ                                                                                                                               | «МЕЛІТОПОЛЬСЬКИЙ | ЗАВОД |
| ТУРБОКОМПРЕСОРІВ».....48 |                                                                                                                                   |                  |       |
| 3.1                      | Створення програмного забезпечення проектування деталі із застосуванням АРІ – технологій.....                                     |                  | 48    |
| 3.1.1                    | Розробка інформаційної моделі системи.....                                                                                        |                  | 50    |
| 3.1.2                    | Інженерні вимоги до програмного забезпечення .....                                                                                |                  | 51    |
| 3.1.3                    | Етапи створення програмного модуля для ливарної форми деталі «Корпус компресора».....                                             |                  | 52    |
| 3.1.4                    | Тестування програмного продукту.....                                                                                              |                  | 55    |
| 3.2                      | Розробка постпроцесору для верстату з ЧПУ.....                                                                                    |                  | 57    |
| 3.3                      | Розробка управляючої програми для верстату з числовим програмним управлінням.....                                                 |                  | 61    |
| 3.3.1                    | Інформаційна модель системи розробки управляючої програми для верстата з ЧПУ та інженерні вимоги до програмного забезпечення..... |                  | 61    |
| 3.3.2                    | Основні етапи створення управляючої програми.....                                                                                 |                  | 62    |
| 3.3.3                    | Тестування програмного продукту.....                                                                                              |                  | 65    |
|                          | Висновки до третього розділу.....                                                                                                 |                  | 68    |
|                          | РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                                                                                                       |                  | 69    |
| 4.1                      | Аналіз умов праці інженера - програміста та небезпечні чинники.....                                                               |                  | 69    |
| 4.2                      | Ергономічні вимоги до робочого місця.....                                                                                         |                  | 71    |
| 4.3                      | Розрахунки на освітленість та вентиляцію.....                                                                                     |                  | 73    |
| 4.4                      | Розробка Карти умов праці на робочому місці.....                                                                                  |                  | 77    |
|                          | Висновки до четвертого розділу.....                                                                                               |                  | 79    |
|                          | РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ВПРОВАДЖЕНІ ПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ПРЕРКУВАННЯ.....                                |                  | 80    |
| 5.1                      | Розрахунок норми часу.....                                                                                                        |                  | 80    |
| 5.2                      | Техніко-економічні показники.....                                                                                                 |                  | 81    |
|                          | Висновки до п'ятого розділу.....                                                                                                  |                  | 84    |
|                          | ВИСНОВКИ.....                                                                                                                     |                  | 85    |
|                          | СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                                                                                            |                  | 87    |
|                          | ДОДАТКИ.....                                                                                                                      |                  | 89    |



## ВСТУП

Завдяки сучасним обчислювальним потужностям та додаткам інженери тепер можуть створювати як візуальні моделі, так і креслення, а також вирішувати найскладніші інженерні проблеми, які колись вважалися надзвичайно трудомісткими та/або неможливими за допомогою комп'ютерних систем. Технології продовжують стрімко розвиватися, забезпечуючи мільйони інженерів та дизайнерів належними засобами для досягнення всіх цілей, які вони поставили перед собою.

Досягнення насправді вплинули не лише на технології та науковий прогрес. Вони також створили більшу конкуренцію на світовому ринку, більшу кількість фахівців, які дуже добре розбираються у своїй справі, та вищі стандарти до продукції, яку ми виробляємо. В результаті компанії повинні автоматизувати свої процеси проектування та виробництва, якщо вони хочуть залишатися конкурентоспроможними та продовжувати бути успішними. Впровадження нових технологій на заводах і фабриках значно покращило ефективність виробничих операцій. Конструктори, які використовували виск для вимірювання кутів, логарифмічну лінійку для обчислення відстаней та друкарську машинку для створення документів, відставали в минулому.

Компанії, які не використовують сучасні інформаційні технології, швидко втратять свої конкурентні переваги. Висока вартість матеріалів і робочої сили на проектування, а також низька якість проектної документації безпосередньо сприятимуть як ймовірності втрати грошей (навіть до банкрутства).

Метою цього дослідження є система технічної підготовки виробництва на ТОВ «Мелітопольський турбокомпресор».

Об'єктом дослідження є група документів щодо виготовлення форми для лиття корпусу компресора 164.210.04. Метою модернізації технології виготовлення корпусу компресора 164.210.04 є вдосконалення конструкції цього виробу з використанням програмних модулів Unigraphics (CAD, CAM, CAE) та методологічного комплексу Unigraphics. Диплом пройшов апробацію на підприємстві та рекомендовано до використання у виробництві.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ ТОВ «МЕЛІТОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ТУРБОКОМПРЕСОРІВ» ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ «КОРПУС КОМПРЕСОРА» ТА ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБУ

### 1.1 Загальні відомості про підприємство та характеристика продукції на ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів»

ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів» — перспективне підприємство, яке має понад 12 років досвіду роботи у сфері розроблення та виробництва турбокомпресорної техніки. За цей час воно зарекомендувало себе як надійний виробник якісної та конкурентоспроможної продукції. Підприємство здійснює розроблення, проектування та серійне виробництво турбокомпресорів для автомобільної, тракторної та сільськогосподарської техніки країн СНД. Колектив підприємства ще з моменту заснування значних зусиль докладає для просування власної продукції на ринках країн СНД під офіційними торговельними марками «МЗТк» та «Турбоком». Фірмове пакування та обов'язкове маркування кожного турбокомпресора власним товарним знаком — це відмінна особливість продукції підприємства. Голограмою та штрих-кодом оснащується кожен виріб, що забезпечує його ідентифікацію та захист від підробок. Турбокомпресори мають номерний паспорт, інструкцію по експлуатації, упаковують у фірмову картонну коробку. Корпус середній у зборі додатково поміщають у фанерний ящик

протиударний; це гарантує безпеку транспортування виробу. Забезпечення високих показників якості та надійності, відповідно до вимог технічної документації та потреб споживачів, — одне із головних завдань колективу ТОВ «МЗТк – Турбоком». Серед підприємств країн СНД — ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів»: єдиний виробник турбокомпресорів для японської техніки Komatsu. Усі дослідні зразки проходять комплекс випробувань; лише після підтвердження відповідності встановленим вимогам направляються на сертифікацію. Уся продукція підприємства «МЗТк – «Турбоком» отримала сертифікат не тільки в Україні, а й у Росії. Це підтверджує відповідність компресорів вимогам якості та безпеки, встановленим чинними стандартами і нормативними актами для такого типу продукції. Підприємство, окрім турбокомпресорів, з 2009 року освоїло виробництво водяних насосів. Мабуть, також завод пропонує широкий асортимент запасних частин і комплектуючих для автомобільної та тракторної техніки, які виготовляються підприємствами регіону.

## 1.2 Етапи життєвого циклу виробу та роль технологічного обланання

Науково-технічний прогрес відіграє важливу роль у розвитку нових методів оброблення та виготовлення виробів, а також у підвищенні їхніх функціональних характеристик. Водночас споживчий попит і конкурентна боротьба змушують виробників постійно вдосконалювати та оновлювати свою продукцію [11].

Життєвий цикл виробу складається з низки етапів, у межах яких початкова ідея поступово трансформується у готовий технічний продукт, здатний задовольняти потреби споживачів.

До основних етапів життєвого циклу виробу належать:

1. Маркетингові дослідження потреб ринку;
2. Генерування та відбір перспективних ідей;
3. Технічна й економічна експертиза проєкту;
4. Проведення науково-дослідних робіт за тематикою виробу;

5. Виконання дослідно-конструкторських робіт;
6. Проведення пробного маркетингу;
7. Підготовка виробництва на підприємстві-виробнику серійної продукції;
8. Серійне виробництво та реалізація продукції;
9. Експлуатація виробів;
10. Утилізація виробів.

Етапи 4–7 належать до передвиробничих і можуть розглядатися як комплекс науково-технічної підготовки виробництва. Саме на цих стадіях формуються основні технічні та технологічні рішення, які визначають подальшу ефективність виробництва.

Наступним важливим етапом життєвого циклу є підготовка виробництва (ПВ) та вихід на проєктну потужність (ВП), тобто освоєння серійного випуску продукції. Цей етап включає комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на налагодження виробництва нового виробу або виробу, раніше освоєного іншими підприємствами. Вихід на проєктну потужність здійснюється після завершення робіт із підготовки виробництва, до яких належать запуск і перевірка технологічного обладнання, виготовлення настановної серії виробів, проведення їх кваліфікаційних випробувань, а також доопрацювання та коригування технологічної й супровідної документації.

Особливе значення на всіх етапах життєвого циклу виробу має технологічне обладнання. Технологічне обладнання — це засіб технологічного оснащення, у якому для виконання певної частини технологічного процесу розміщуються матеріали або заготовки, засоби впливу на них та інші елементи технологічного оснащення. До такого обладнання належать ливарні машини, преси, верстати, випробувальні стенди та інші технічні засоби [12].

Виробництво будь-якої продукції неможливе без використання комплексу верстатів, машин і механізмів, необхідних для послідовного виконання операцій єдиного технологічного процесу. Висококваліфікований

персонал у поєднанні з сучасним продуктивним технологічним обладнанням є основою ефективного функціонування будь-якого підприємства незалежно від сфери його діяльності.

Види та типи технологічного обладнання визначаються специфікою виробничих процесів і функціями, які воно виконує в конкретній галузі промисловості. Таке обладнання являє собою складні технічні системи, до яких висуваються високі вимоги щодо безпеки, надійності, технічних характеристик, ергономічності та екологічності. Крім того, усі верстати та інше виробниче обладнання повинні проходити відповідні процедури сертифікації.

Таким чином, незалежно від стадії життєвого циклу виробу, технологічне оснащення є невід'ємною складовою процесу його створення та подальшого виробництва. Саме рівень технічного оснащення значною мірою визначає якість продукції, ефективність виробничих процесів і конкурентоспроможність підприємства.

### 1.3 Роль САПР в вирішенні завдань технологічної підготовки підприємства

Традиційний підхід, який сформувався на початковому етапі впровадження комп'ютерної техніки у виробничі процеси, полягав у використанні обчислювальних засобів для розв'язання окремих спеціалізованих завдань, що належали до різних стадій життєвого циклу виробу. Історично першими були автоматизовані системи, призначені для виконання обліково-управлінських функцій у межах автоматизованих систем управління виробництвом.

Практично одночасно з ними почали впроваджуватися автоматизовані системи управління технологічними процесами. Подальший розвиток інформаційних технологій сприяв створенню та широкому впровадженню систем автоматизованого проєктування (САПР), які забезпечили можливість застосування комп'ютерної техніки під час конструкторської та

технологічної підготовки виробництва. У зарубіжній технічній літературі для позначення таких систем використовують аббревіатури CAE, CAD і CAM [12].

Автоматизоване проектування (Computer-Aided Design, CAD) являє собою технологію використання комп'ютерних систем для спрощення процесів створення, модифікації, аналізу та оптимізації проектних рішень. Комплексне впровадження комп'ютерних технологій у виробничий процес створює передумови для переходу до високого рівня автоматизації виробництва.

Основною функцією CAD-систем є визначення та моделювання геометрії виробу, оскільки саме геометричні параметри значною мірою визначають усі подальші етапи його життєвого циклу. Об'єктами моделювання можуть бути деталі машин, архітектурні елементи, електронні схеми, будівельні конструкції та інші технічні об'єкти. Для цього використовуються системи автоматизованого креслення та геометричного моделювання.

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) є складним і відповідальним процесом, результати якого безпосередньо впливають на якість продукції та економічну ефективність виробництва. Для успішного вирішення завдань ТПВ застосовуються різноманітні програмні комплекси та модулі, які можуть функціонувати як автономно, так і в складі єдиної інформаційної системи підприємства.

Технологічна підготовка виробництва є логічним продовженням конструкторських робіт. На цьому етапі визначаються методи виготовлення виробу, необхідні технічні засоби та форми організації виробництва. Саме тут остаточно формуються показники собівартості продукції та оцінюється ефективність її виробництва. Технологічні процеси розробляються як для нових виробів, так і для вже освоєної продукції з метою підвищення її технічного рівня, зниження виробничих витрат, покращення умов праці та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище [14].

Новий рівень ефективності інформаційних технологій забезпечується завдяки комплексній автоматизації технологічної підготовки виробництва.

Це досягається шляхом інтеграції окремих програмних модулів у єдине інформаційне середовище підприємства. Такий підхід забезпечує:

- скорочення термінів підготовки виробництва завдяки автоматизації основних етапів ТПВ;
- зниження виробничих витрат та оптимізацію затрат на виготовлення продукції;
- підвищення якості проектної документації та ефективності виробничих процесів.

#### Висновки до першого розділу

У ході дослідження діяльності ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів» було проведено аналіз організаційної структури та технічного стану підприємства. Встановлено, що подальше підвищення ефективності його роботи значною мірою залежить від рівня автоматизації виробничих процесів та впровадження сучасних інформаційних технологій у конструкторську й технологічну підготовку виробництва.

Модернізація автоматизованого виробництва дозволить скоротити терміни розроблення спеціальних і малосерійних виробів, підвищити гнучкість виробничих процесів та розширити номенклатуру продукції. Це сприятиме зміцненню конкурентних позицій підприємства та збільшенню його економічного потенціалу.

Удосконалення систем автоматизованого проектування забезпечить підвищення продуктивності праці, раціональне використання матеріальних ресурсів, покращення використання виробничих фондів та підвищення ефективності інвестицій у нову техніку й прогресивні технології.

Запровадження сучасних підходів до автоматизації виробничих процесів створить умови для подальшого розвитку ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів» та підвищення його конкурентоспроможності на ринку.

У подальшій діяльності підприємству доцільно орієнтуватися на сучасні стандарти якості, активно впроваджувати передовий вітчизняний та міжнародний досвід у сфері машинобудування, адаптуючи його до власних виробничих особливостей і стратегічних цілей розвитку.



## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

### 2.1 Етапи конструкторської та технологічної підготовки виробництва

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) — це сукупність організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення повної готовності виробництва до випуску нової продукції за мінімальних трудових, матеріальних і часових витрат.

Технологічна підготовка виробництва є однією з найважливіших стадій системи створення та освоєння нової техніки (СОНТ), яка характеризується значним обсягом робіт і високою складністю їх виконання [14].

Організація та виконання робіт із технологічної підготовки виробництва регламентуються стандартами Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), що забезпечують єдиний системний підхід до планування, розроблення та впровадження технологічних процесів на промислових підприємствах.

Основними етапами технологічної підготовки виробництва є:

1. Розроблення технологічних процесів.
2. Проектування технологічного оснащення та нестандартного обладнання.
3. Виготовлення засобів технологічного оснащення (оснащення та нестандартного обладнання).
4. Перевірка та налагодження розроблених технологічних процесів і виготовленого технологічного оснащення.

Під час виконання робіт із технологічної підготовки виробництва необхідно враховувати, що освоєння нових видів продукції, модернізація виробів і вдосконалення виробничих процесів потребують проведення як матеріальної, так і організаційної підготовки.

Матеріальна підготовка виробництва передбачає придбання, монтаж і налагодження нового обладнання, виготовлення або закупівлю інструментів, пристроїв, сировини та матеріалів, тобто забезпечення виробництва всіма необхідними матеріально-технічними ресурсами.

Організаційна підготовка включає вдосконалення організації виробництва та праці відповідно до вимог виготовлення нової продукції, упровадження нової техніки й технологій. До її складу також входять підбір і розстановка персоналу відповідно до нових виробничих умов, удосконалення структури управління підприємством, а також коригування функціонального та ієрархічного розподілу праці.

Конструкторська підготовка виробництва передбачає виконання комплексу робіт від розгляду заявки або затвердження технічного завдання до перевірки дослідного зразка чи дослідної партії на відповідність заданим техніко-економічним показникам і вимогам якості, а також розроблення повного комплексу конструкторської документації для серійного виробництва.

Основним завданням конструкторської підготовки є створення комплексу конструкторської документації, необхідної для організації серійного або масового виробництва продукції.

Конструкторська підготовка виробництва базується на вимогах Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) та включає такі основні етапи:

- складання технічного завдання;
- розроблення технічної пропозиції;
- розроблення ескізного проєкту;
- розроблення технічного проєкту;
- підготовку робочої конструкторської документації.

Послідовне виконання зазначених етапів забезпечує створення якісної конструкторської документації, необхідної для ефективної організації виробництва та випуску конкурентоспроможної продукції.

## 2.2 Обґрунтування вибору автоматизованої CAD, CAM, CAE системи проектування конструкторської та технологічної документації

CAD-системи (Computer-Aided Design — системи автоматизованого проектування) призначені для розв'язання конструкторських завдань і розроблення конструкторської документації. До їх основних функцій належать створення геометричних моделей виробів, підготовка креслень, специфікацій, відомостей та іншої технічної документації.

Сучасні CAD-системи, як правило, містять модулі тривимірного параметричного моделювання деталей і складальних одиниць, засоби оформлення креслень, а також інструменти для підготовки текстової конструкторської документації. Провідні CAD-системи забезпечують реалізацію концепції наскрізної цифрової підготовки виробництва, що охоплює всі етапи життєвого циклу виробу — від проектування до виготовлення та супроводу продукції [11].

Традиційно CAD/CAM/CAE-системи поділяють на системи верхнього, середнього та нижнього рівнів. Однак такий поділ є досить умовним, оскільки сучасні тенденції розвитку програмного забезпечення свідчать про поступове стирання меж між цими категоріями. Системи середнього рівня дедалі більше наближаються за своїми функціональними можливостями до високорівневих програмних комплексів, а системи нижнього рівня вже не обмежуються двовимірним кресленням і все частіше підтримують повноцінне тривимірне моделювання.

Під час створення нового або модернізації існуючого підприємства постає питання вибору програмного забезпечення для автоматизації процесів проектування та підготовки виробництва. Для прийняття обґрунтованого рішення необхідно враховувати функціональні можливості CAD/CAM-систем, їх сумісність із виробничими процесами підприємства, вартість впровадження та подальшого супроводу. Залежно від специфіки виробництва перелік критеріїв оцінювання може бути розширений або скоригований.

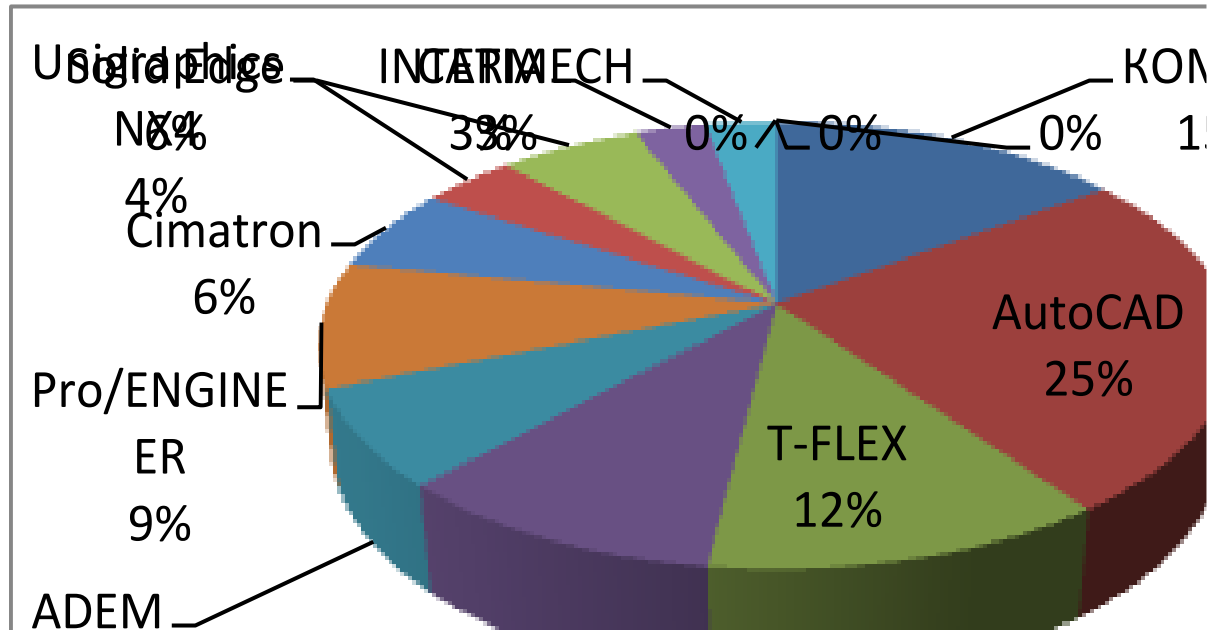
Для більш повного уявлення про можливості сучасних CAD/CAM-систем розглянемо коротку характеристику найбільш поширених програмних комплексів.

**Unigraphics NX** — багатофункціональна CAD/CAM/CAE-система, яка забезпечує створення тривимірних моделей виробів, проєктування складних деталей і вузлів, розроблення технологічних процесів механічної обробки та виконання інженерного аналізу. Система підтримує інтегрований підхід до проєктування, виробництва та управління даними про виріб.

**Pro/ENGINEER** (нині Creo Parametric) — система автоматизованого проєктування, що включає широкий набір інструментів для параметричного твердотільного моделювання деталей і складальних одиниць, створення креслень, проєктування зварних конструкцій та підготовки виробництва. Програмний комплекс забезпечує підтримку всіх основних етапів циклу «проєктування – виробництво».

**SolidWorks** — одна з найпоширеніших CAD-систем середнього рівня, яка надає можливості тривимірного моделювання деталей і складальних одиниць, створення конструкторської документації, проєктування виробів із листового металу, зварних конструкцій та поверхонь складної форми. Система підтримує імпорт і експорт даних великої кількості форматів двовимірних і тривимірних CAD-програм, що забезпечує її ефективну інтеграцію в різні виробничі середовища.

Використання CAD/CAM систем, які застосовуються на підприємствах України, у процентному співвідношенні зображено на діаграмі 2.1.



Діаграма 2.1 - Використання CAD/CAM систем на підприємствах України

Сучасні CAD/CAM/CAE-системи не лише скорочують терміни розроблення та впровадження нових виробів, а й суттєво впливають на технологію виробництва. Їх використання сприяє підвищенню якості та надійності продукції, що випускається, а також забезпечує зростання її конкурентоспроможності на ринку [17].

Для проведення порівняльного аналізу було обрано три програмні продукти, два з яких належать до систем високого рівня — Unigraphics NX та Pro/ENGINEER, а один — до систем середнього рівня — SolidWorks. З метою забезпечення об'єктивності результатів оцінювання порівняння зазначених програмних комплексів здійснювалося на основі висновків і рекомендацій фахівців у галузі автоматизованого проєктування та підготовки виробництва. Після чого була розроблена таблиця з результатами порівняння (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 Критерії та порівняльна характеристика обраних CAD – систем

|    | Критерії (задачі)                              | Unigraphics NX4 | Pro/ENGINEER | SolidWorks |
|----|------------------------------------------------|-----------------|--------------|------------|
| 1  | 2D моделювання                                 | +               | +            | +          |
| 2  | 3D моделювання                                 | +               | +            | +          |
| 3  | Можливості переходу із 2D в 3D і навпаки       | +               | +            | +          |
| 4  | Редагування сканованого зображення             | -               | -            | +          |
| 5  | Розробка ТП                                    | +               | +            | -          |
| 6  | Механообробка по 2D моделі                     | +               | -            | +          |
|    | 3D моделі                                      | -               | +            | -          |
| 7  | Фрезерування в 2х та 2.5х                      | +               | -            | -          |
|    | 3х                                             | +               | +            | -          |
|    | 5-ти                                           | +               | +            | -          |
|    | багатопозиційне                                | +               | +            | -          |
| 8  | Електроерозійна обробка                        | +               | -            | -          |
| 9  | Точіння                                        | +               | -            | -          |
| 10 | Свердління                                     | +               | -            | -          |
| 11 | Листоштамповка                                 | +               | +            | -          |
| 12 | Адаптація системи до верстатного обладнання    | +               | -            | -          |
| 13 | Підтримка вітчизняних стандартів               | +               | -            | -          |
| 14 | Можливість анімаційного зображення             | +(-)            | +            | -          |
| 15 | Проведення експрес аналізу                     | +               | -            | -          |
| 16 | Проведення інженерних розрахунків              | +               | -            | -          |
| 17 | Керування документообігом                      | +               | +            | -          |
| 18 | Інтеграція з програмними продуктами інших фірм | +               | +            | -          |
| 19 | До якого класу відносять                       | Високий         | Високий      | Середній   |
| 20 | Держава розробник                              | США             | США          | США        |

Звертаючи увагу на те, що по даним 20 критеріям переважає програма Unigraphics NX4. Тому у якості CAD – системи для проектування конструкторської документації ми пропонуємо використати саме цей програмний продукт.

### 2.2.1 Вибір програмно - методичного комплексу Unigraphics NX4 за допо-могою метода аналізу ієрархій

Для вибору програмного забезпечення, що буде використовуватися під час проєктування 3D-моделі та розроблення креслення деталі «Пуансон», доцільно застосувати метод аналізу ієрархій (MAI). Цей метод був розроблений американським математиком Томасом Сааті, який присвятив його розвитку низку наукових праць, створив відповідне програмне забезпечення та протягом багатьох років організовував міжнародні симпозиуми ISANP (International Symposium on the Analytic Hierarchy Process). Сьогодні MAI широко використовується для розв'язання багатокритеріальних задач прийняття рішень і продовжує активно розвиватися науковцями в усьому світі. Особливістю методу є поєднання математичного апарату з елементами експертного оцінювання та психології прийняття рішень.

Метод аналізу ієрархій дозволяє логічно структурувати складну задачу у вигляді ієрархічної моделі, виконати порівняння альтернатив та здійснити їх кількісне оцінювання. Його сутність полягає у декомпозиції складної проблеми на простіші складові та подальшому проведенні послідовних парних порівнянь між елементами системи. На основі отриманих оцінок визначається ступінь впливу кожного елемента на кінцевий результат, після чого розраховуються числові значення їх пріоритетів.

Метод аналізу ієрархій передбачає процедури визначення вагових коефіцієнтів критеріїв, узагальнення експертних оцінок та вибору найкращої альтернативи. Завдяки цьому він широко застосовується в різних сферах діяльності — від стратегічного управління на державному рівні до вирішення прикладних завдань у промисловості, бізнесі, охороні здоров'я та освіті [3].

Аналіз проблеми в межах MAI починається з побудови ієрархічної структури, яка включає головну мету, критерії оцінювання, альтернативні варіанти та інші фактори, що впливають на прийняття рішення. Така структура відображає бачення проблеми особою або групою осіб, які

здійснюють вибір. Кожен рівень ієрархії характеризує окремий аспект задачі та може включати як кількісні, так і якісні показники, об'єктивні дані та суб'єктивні експертні оцінки.

Наступним етапом є визначення пріоритетів шляхом проведення парних порівнянь елементів кожного рівня ієрархії. Отримані безрозмірні показники дозволяють порівнювати між собою різнорідні критерії та визначати ступінь їх важливості. На завершальному етапі здійснюється синтез отриманих результатів, унаслідок чого розраховуються інтегральні пріоритети альтернатив щодо поставленої мети. Найкращим вважається варіант, який отримав найбільше значення підсумкового пріоритету.

Ієрархічна структура, що використовується в методі аналізу ієрархій, є ефективним інструментом для моделювання складних задач прийняття рішень. Верхній рівень такої структури відповідає головній меті дослідження, нижній рівень містить альтернативні варіанти її досягнення, а проміжні рівні представлені критеріями та факторами, які пов'язують мету з можливими альтернативами.

Для практичного застосування методу аналізу ієрархій було визначено основні критерії, які впливають на вибір програмного забезпечення для автоматизованого проектування:

- функціональні можливості програмного продукту;
- складність виконання побудов;
- простота освоєння та використання;
- вартість придбання та супроводу;
- підтримка вітчизняних стандартів;
- зручність інтерфейсу;
- якість інформаційно-довідкової бази;
- рівень математичного забезпечення.

На першому етапі дослідження будується ієрархічна структура (рисунок 2.2), яка поєднує мету вибору програмного продукту, критерії оцінювання та альтернативні варіанти, що розглядаються. Саме ця структура є основою для



подальшого проведення експертного оцінювання та визначення найбільш ефективного програмного комплексу для розв'язання поставленого завдання.

На I рівні буде «Програмний пакет» на II рівні «Критерії, за якими експерти буду виставляти свої оцінки» на III рівні варіанти CAD-систем.

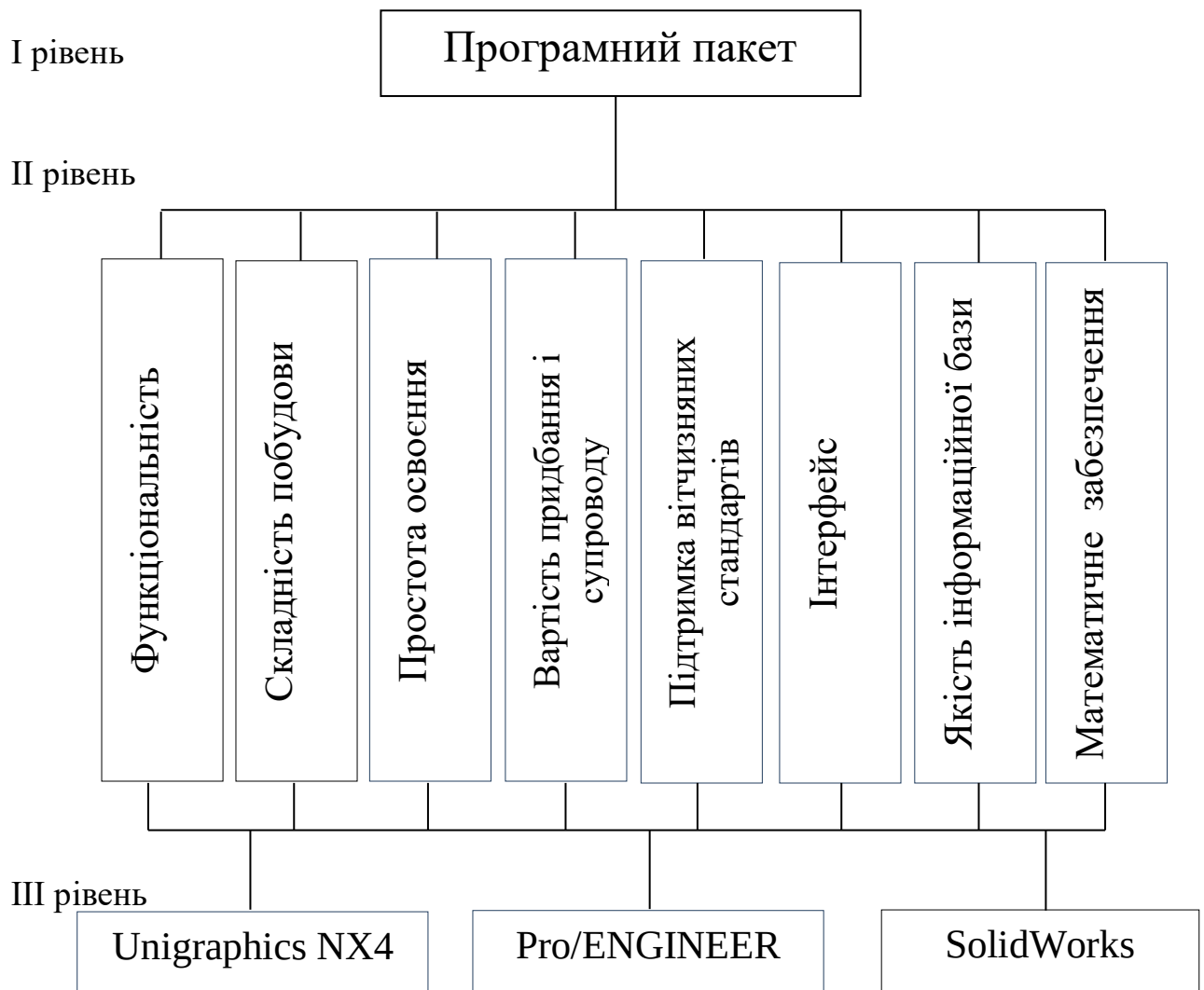


Рисунок 2.2 – Структура ієрархій

На другому етапі, після побудови структури ієрархії необхідно розставити пріоритети. Довільно складена матриця парних порівнянь не може бути використана для обчислення вектору пріоритетів  $W = (W_1, \dots, W_n)$ . Перед цим необхідно переконатися в узгодженості порівняльних оцінок

експерта, для чого обчислюється індекс узгодженості (ІУ) і відношення узгодженості (ВУ) по наступних формулах.

$$IU = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad BU = \frac{IU}{BU},$$

де ВУ - індекс випадкової узгодженості, який необхідно брати з наступної таблиці:

Таблиця 2.2 – Індекс випадкової узгодженості.

| Порядок матриці, (n) | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|----------------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ВУ                   | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

Після проведення усіх парних порівнянь визначають узгодженість, тобто «несуперечливість» суджень (вербальної інформації).

Величина відношення узгодженості (ВУ) не повинна бути більша за 10% (в деяких випадках, коли немає потреби у високій точності, дозволяється не більше 20%). Якщо ВУ виходить за ці межі, то учасникам слід дослідити задачу і перевірити свої судження. Підхід до вимірів за допомогою МАІ допускає певний рівень неузгодженості. Група людей може прийняти рішення при допустимій неузгодженості для кожного члена групи. При цьому вони не будуть відчувати, що їх «пріоритети» були порушені значною мірою.

Якщо значення  $BU < 0.15$ , то узгодженість думок експерта вважається прийнятною, і побудовану матрицю парних порівнянь можна використовувати для розрахунку пріоритетів альтернатив.

$$IU = \frac{9,563 - 8}{8 - 1} = 0,195$$

$$BU = \frac{0,195}{1,41} = 0,139$$

Обчислюємо вектори пріоритетів (W) та заносимо їх до таблиці 3.3.

$$W_i = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}.$$

$$W_1 = \sqrt[8]{1 * 3 * 5 * 3 * \frac{1}{2} * 3 * 3 * 1} = 1,94$$

Аналогічним способом розраховуємо наступні вектори пріоритетів.

Для знаходження нормованого вектору скористаємося формулою:

$$\vartheta = \frac{W_1}{\sum W_i}$$

$$\vartheta_1 = \frac{1,94}{9,775} = 0,198$$

Аналогічно розраховуємо наступні нормалізовані вектори, після чого заносимо їх до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Локальні пріоритети альтернатив за критеріями.

|          | Ф     | СП   | ПО | ВПіС          | ПВС           | I  | ЯІБ   | МЗ   | W     | $\vartheta$ |
|----------|-------|------|----|---------------|---------------|----|-------|------|-------|-------------|
| Ф        | 1     | 2    | 4  | 3             | $\frac{1}{2}$ | 3  | 3     | 1    | 1,8   | 0,199       |
| СП       | 1/2   | 1    | 3  | 1             | 5             | 3  | 7     | 1    | 1,76  | 0,175       |
| ПО       | 1/4   | 1/3  | 1  | 1/3           | 1/5           | 1  | 1/6   | 1/5  | 0,332 | 0,034       |
| ВПіС     | 1/3   | 1    | 3  | 1             | 7             | 2  | 5     | 2    | 1,85  | 0,187       |
| ПВС      | 2     | 1/5  | 5  | 1/7           | 1             | 5  | 4     | 1/5  | 1,02  | 0,115       |
| I        | 1/3   | 1/3  | 1  | $\frac{1}{2}$ | 1/5           | 1  | 1/5   | 1/3  | 0,406 | 0,039       |
| ЯІБ      | 1/3   | 1/7  | 6  | 1/5           | $\frac{1}{4}$ | 5  | 1     | 1/3  | 0,627 | 0,064       |
| МЗ       | 1     | 1    | 5  | $\frac{1}{2}$ | 5             | 3  | 3     | 1    | 1,81  | 0,185       |
| $\Sigma$ | 5,422 | 7,35 | 29 | 6,68          | 18,16         | 23 | 23,37 | 6,07 | 9,465 | 1           |

Елементи вектору  $W = (W_1, \dots, W_n)$  нормують так, щоб сума його елементів дорівнювала одиниці, тобто формують нормований вектор  $V = (V_1, \dots, V_n)$ .

Далі обчислюємо глобальні пріоритети.

Таблиця 2.4 - Глобальні пріоритети

|              | Ф     | СП    | ПО    | ВПіС  | ПВС   | І     | ЯІБ   | МЗ    | Глобальні пріоритети |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| Pro/ENGINEER | 0,577 | 0,614 | 0,112 | 0,081 | 0,105 | 0,281 | 0,23  | 0,637 | 0,332                |
| SolidWorks   | 0,342 | 0,268 | 0,192 | 0,188 | 0,258 | 0,135 | 0,112 | 0,258 | 0,265                |
| Unigraphics  | 0,081 | 0,117 | 0,696 | 0,731 | 0,637 | 0,584 | 0,648 | 0,105 | 0,371                |

Як видно з таблиці 2.4 найпривабливішою, з точки зору восьми критеріїв є Unigraphics NX4, який отримав найвищу оцінку 0,371. За результатами розрахунків у якості CAD – системи для проектування 3D – моделі та креслення деталі «Корпус компресора 164.210.04» ми пропонуємо скористатися програмою Unigraphics NX4.

#### 2.2.2 Загальні відомості про можливості блоків програмно - методичного комплексу Unigraphics NX4

**Unigraphics (NX)** — це інтегрована CAD/CAM/CAE-система високого рівня, призначена для автоматизації процесів проектування, інженерного аналізу та підготовки виробництва. Система забезпечує підтримку всіх основних етапів життєвого циклу виробу — від створення концепції та конструкторської документації до розроблення керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) і проектування технологічного оснащення.

Завдяки широкому набору інструментів Unigraphics дозволяє розв'язувати різноманітні інженерні завдання, пов'язані з тривимірним моделюванням, аналізом конструкцій, проектуванням складальних одиниць та автоматизацією виробничих процесів. Для розроблення технологічних процесів виготовлення деталей на універсальному обладнанні та підготовки відповідної технологічної документації відповідно до вимог ЄСКД і ЄСТД

можуть використовуватися додаткові спеціалізовані модулі або програмні комплекси [8].

Однією з переваг системи є її модульна структура, яка дозволяє користувачеві формувати робоче середовище залежно від поставлених завдань.

### **UG/Gateway**

Модуль Gateway є базовим компонентом системи та забезпечує взаємодію користувача з усіма іншими модулями Unigraphics. За його допомогою виконуються основні операції з файлами проєктів, імпорт і експорт даних, управління видами та шарами моделі, аналіз геометричних об'єктів, отримання довідкової інформації та доступ до вбудованої системи допомоги. Робота більшості інших модулів неможлива без використання цього компонента.

### **UG/Advanced Assemblies**

Модуль Advanced Assemblies призначений для роботи зі складними збірками, які можуть містити сотні або навіть тисячі компонентів. Він забезпечує ефективне керування структурою виробу, дозволяє виконувати вибіркове завантаження компонентів, аналізувати взаємне розташування деталей, контролювати зазори між ними та виконувати ваговий аналіз конструкції.

Крім того, модуль підтримує побудову рознесених видів і створення цифрових макетів складних технічних систем, таких як автомобілі, авіаційні двигуни або літальні апарати. Використання спрощених графічних представлень компонентів дозволяє значно скоротити час візуалізації та проведення розрахунків.

### **UG/Assembly Modeling**

Модуль Assembly Modeling забезпечує створення та редагування складальних одиниць із використанням підходів «знизу вгору» та «зверху вниз». Він підтримує роботу з ієрархічною структурою збірки та надає можливість оперативного доступу до будь-якого її елемента.

Особливістю модуля є підтримка концепції проектування в контексті збірки, коли зміни, внесені до окремого компонента, автоматично враховуються в усій конструкції. Це суттєво підвищує ефективність роботи під час проектування складних виробів.

### **UG/Basic Machining and Editing**

Модуль Basic Machining and Editing використовується для формування та редагування траєкторій руху різального інструмента. Він забезпечує розрахунок файлів керування обробкою, створення програм мовою АРТ та підготовку даних для подальшої генерації керуючих програм верстатів з ЧПК.

Застосування цього модуля дозволяє автоматизувати процес підготовки програм для механічної обробки деталей і зменшити ймовірність виникнення помилок під час програмування.

### **UG/CAM Base**

Модуль CAM Base містить базові інструменти, необхідні для функціонування інших САМ-модулів системи. Його основним призначенням є редагування програм керування обробкою, налаштування технологічних операцій та формування типових шаблонів обробки.

Використання шаблонів дозволяє стандартизувати технологічні процеси, скоротити час підготовки виробництва та підвищити ефективність програмування операцій механічної обробки. Особливо це актуально для чорнових і напівчистових операцій, параметри яких часто повторюються під час виготовлення різних деталей.

## **2.3 Основні етапи проектування 3D – моделі та креслення деталі «Корпус компресора 164.210.04»**

Для створення 3D – моделі та креслення деталі нами була обрана програма Unigraphics NX4. Обґрунтування вибору саме цього програмного продукту детально розглянуто у пункті 2.2.

Для створення деталі необхідно запустити програму Unigraphics NX4, натиснувши ЛКМ на ярлик або ПУСК/ Все программы/ Unigraphics NX4. Після цього запускається середовище програми (рисунок 2.3).

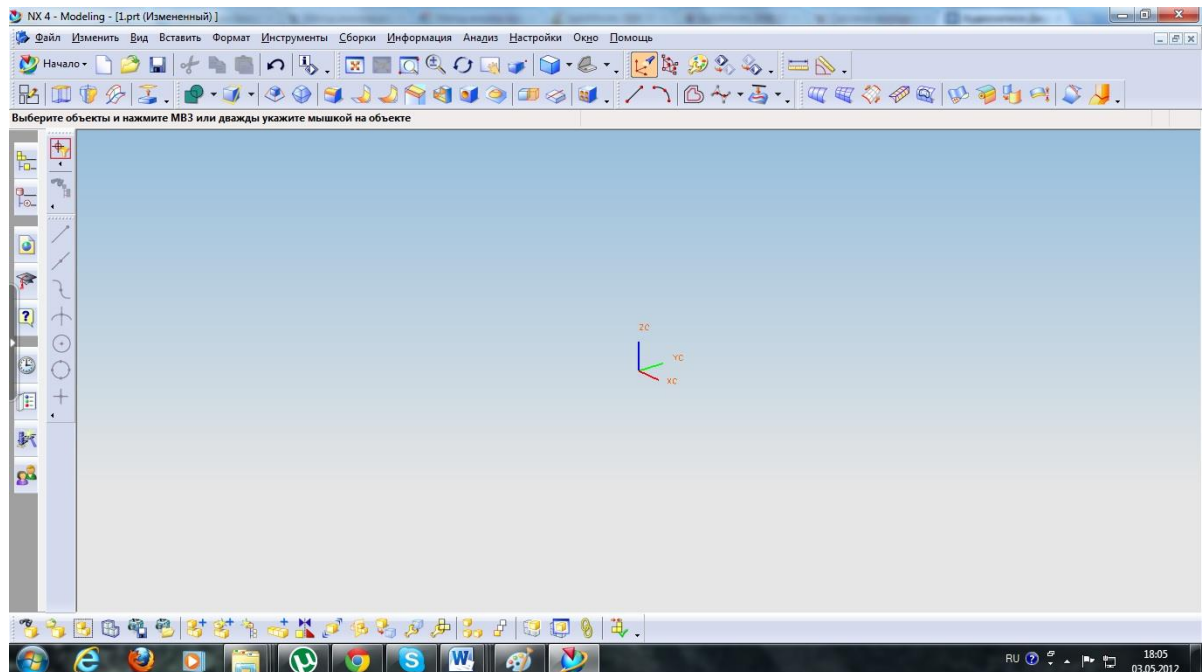


Рисунок 2.3 – Середовище Unigraphics NX4

Створюємо новий документ «new» (програма сприймає тільки латинські літери, та цифри, тому назву деталі можна вказати латинськими літерами або цифрами). Файл / Новый / Имя новой детали. Програма Unigraphics NX4 має відмінності від вже відомих програм таких як SolidWorks, КОМПАС, AutoCAD та інші. Далі потрібно зайти у вікно «Моделирование», для цього натискаємо ЛКМ «Начало» / Моделирование. Після цього з'являються потрібні інструменти для створення деталі. Якщо інструментів що з'явилися не достатньо, можна обрати необхідну роль. Для натискаємо на вкладку «Роли», яка знаходиться на панелі з лівого боку та обираємо необхідну роль.

Створюємо перший ескіз деталі (основу деталі). Для цього натискаємо ЛКМ кнопку , потім необхідно обрати орієнтацію, де буде створений ескіз. Створений ескіз представлений на рисунку 2.4.

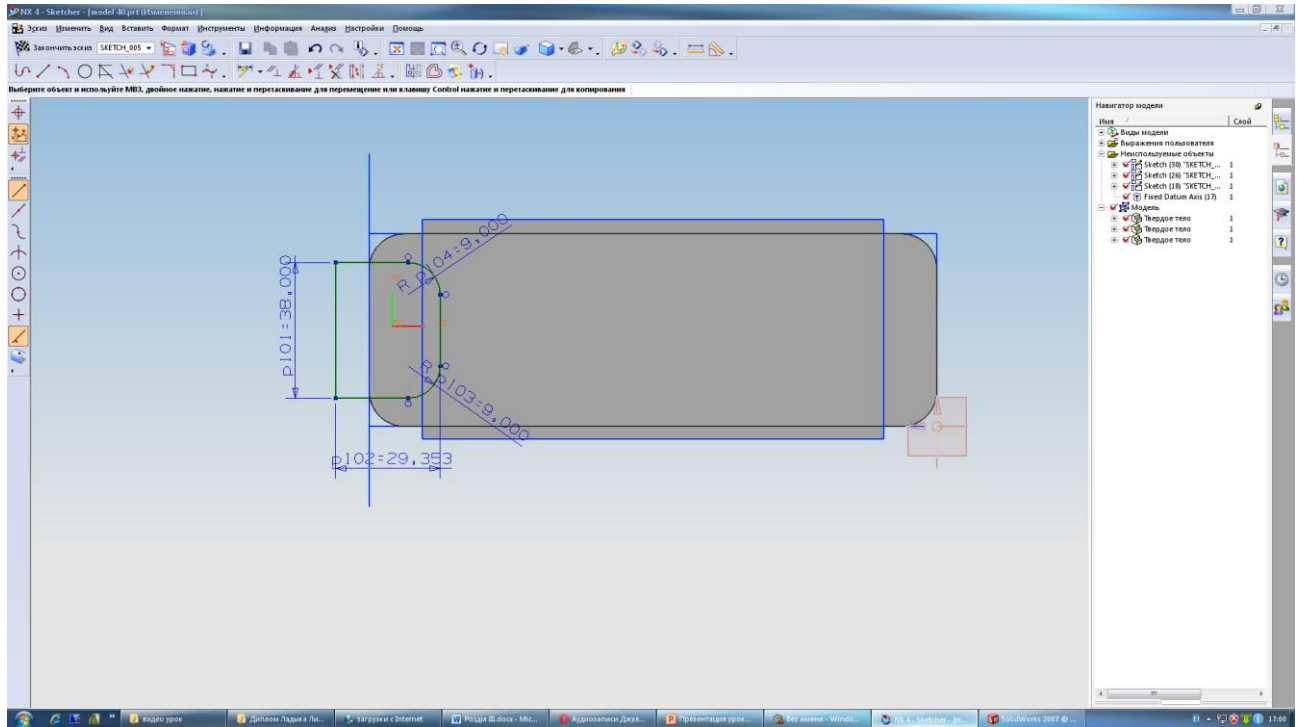


Рисунок 2.4 – Ескіз створення основи деталі

Закінчуємо ескіз натиснувши ЛКМ на панелі інструментів.

Створений ескіз за допомогою операції «Вытягивание» необхідно видавити створений ескіз на відстань 8 мм (рисунок 2.5).

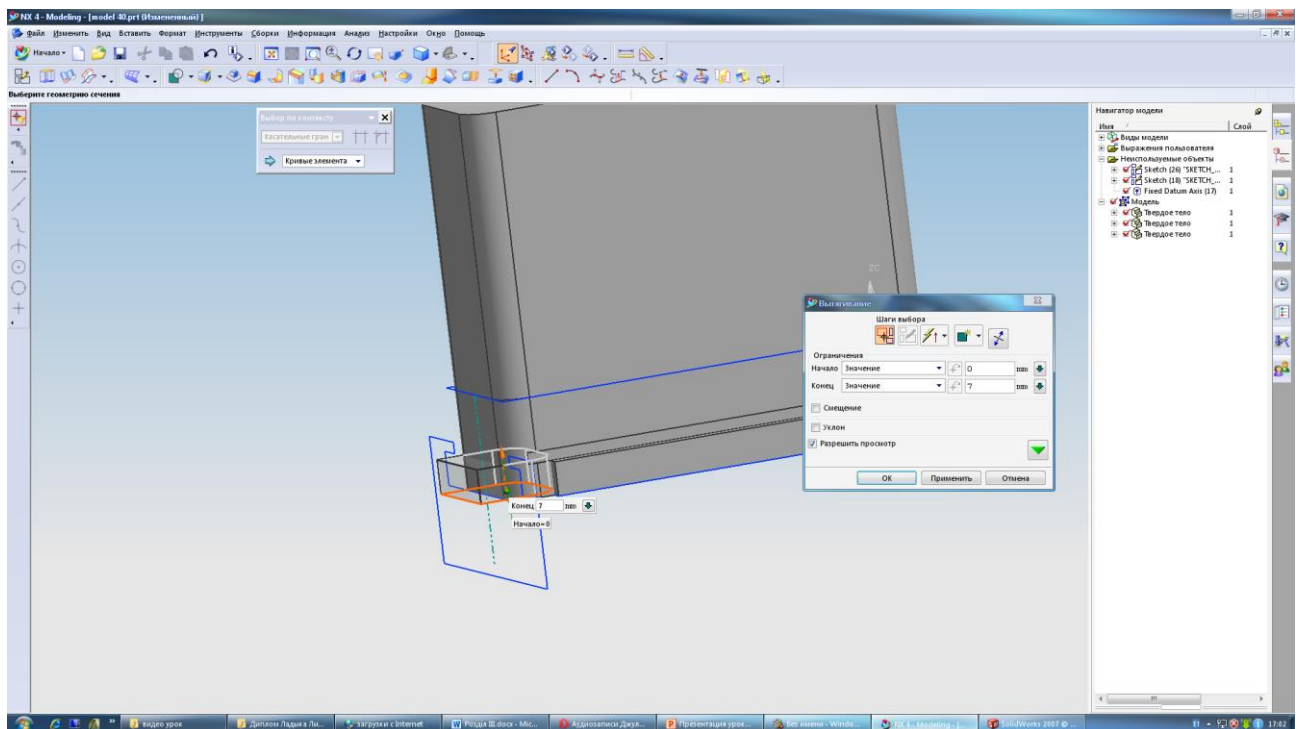


Рисунок 2.5 – Операція «Вытягивание»

Інтерфейс програми Unigraphics NX4 русифікований, тому дуже легко її освоїти.



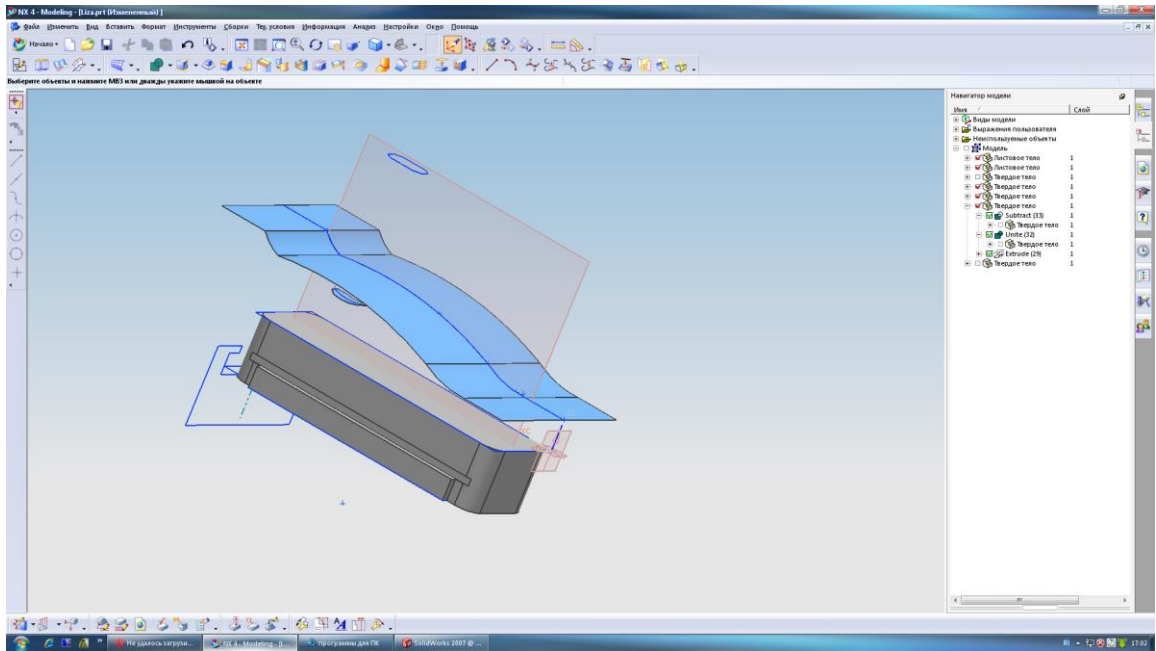


Рисунок 2.6 – Ескіз створення окружностей

#### Етап 5.

Створюємо ескіз за допомогою інструменту «Окружность» діаметром 17 мм у центрі основи моделі деталі. Закінчуємо ескіз і за допомогою операції «Вычесть» віднімаємо створений ескіз на відстань 110 мм.

Аналогічним способом робимо наступні отвори (рисунок 2.7).

Так як отвори мають різну відстань віднімання, то і ескизи отворів потрібно робити окремо у новому ескізі. Для коректної роботи операції «Вычесть».

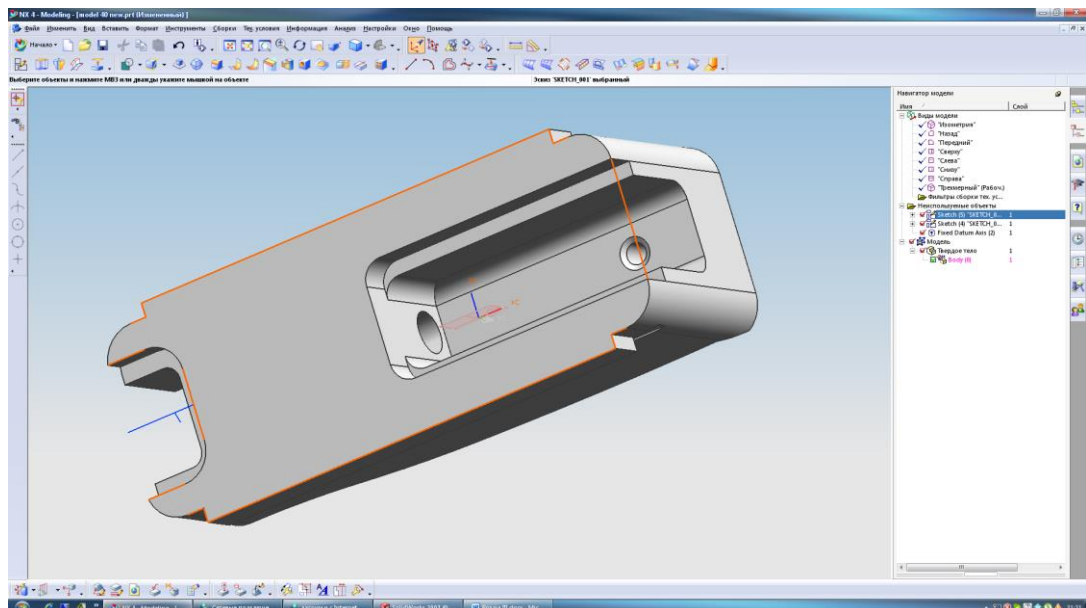


Рисунок 3.7 – Ескіз створення отворів

Після цього потрібно видалити частину окружності. Для цього створимо паралельно бічної частини деталі «Смещенную плоскость» і вже на ній створимо ескіз прямокутника довільних розмірів, для того, щоб потім його можна було витягнути та відняти від основної деталі (рисунок 3.8).

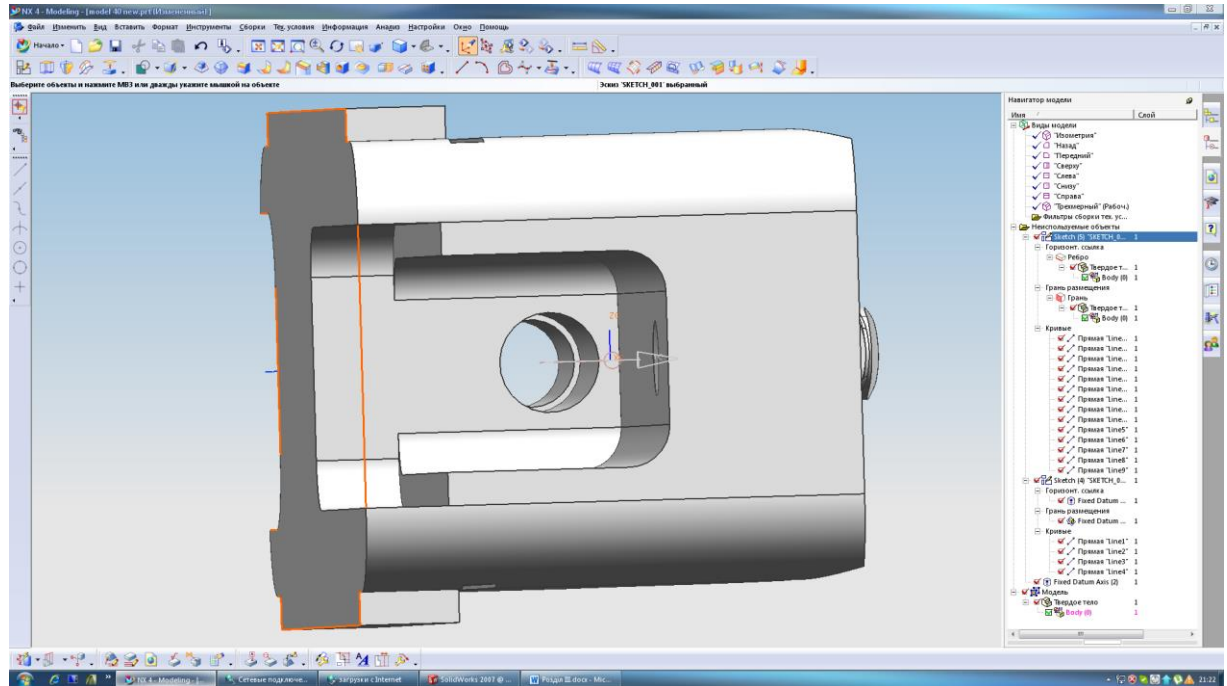


Рисунок 3.8 – Створення ескізу на «Смещенной плоскости»

Таким же чином робимо і з іншого боку деталі.

Радіусом 10 мм. Закругляємо ребро створеної окружності (рисунок 3.9)

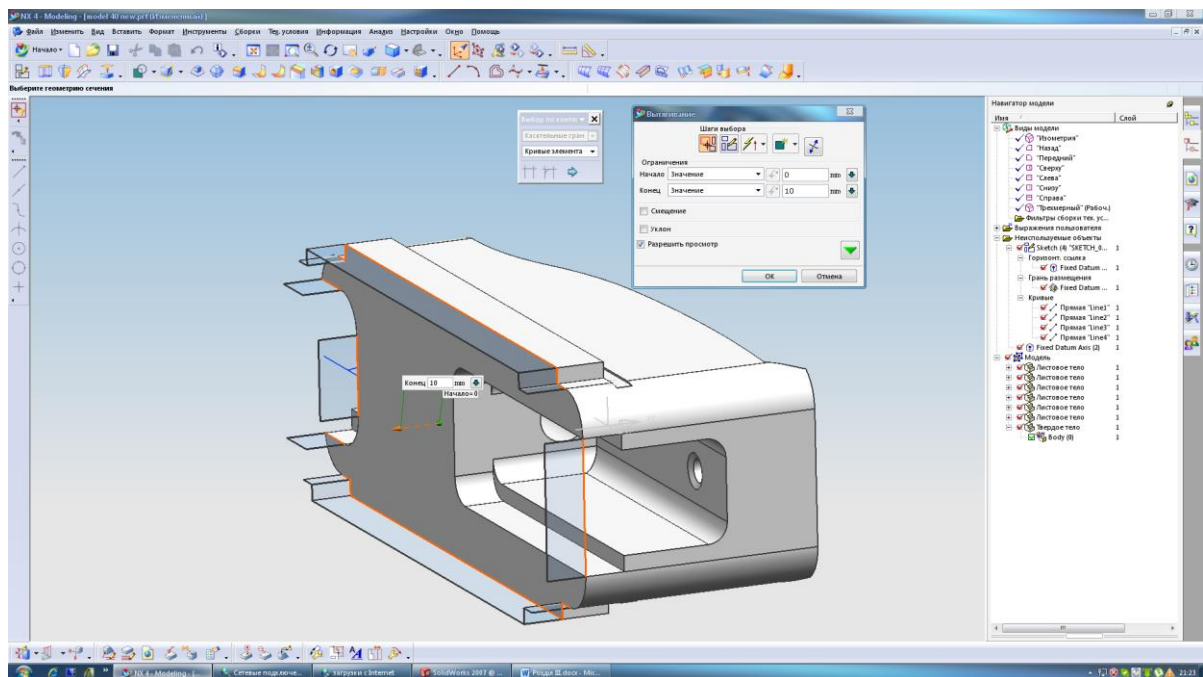


Рисунок 3.9 – Операция закругления ребра окружности.

Закінчуємо ескіз та витягуємо його на відстань 6 мм, напрямком прямий. За допомогою окружності та ліній потрібно накреслити профіль (рисунок 3.10).

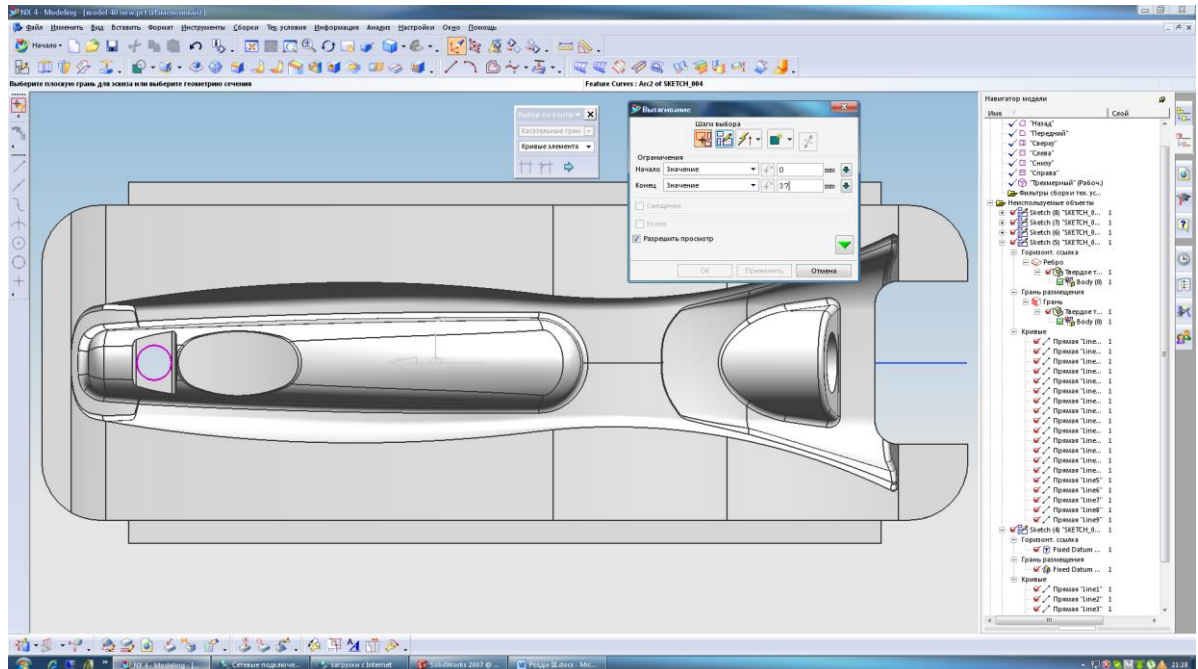


Рисунок 3.10 – Створення профілю.

Готова 3D – модель деталі «Корпус компресора 164.210.04» у програмі Unigraphics NX4 представлена на рисунку 3.12

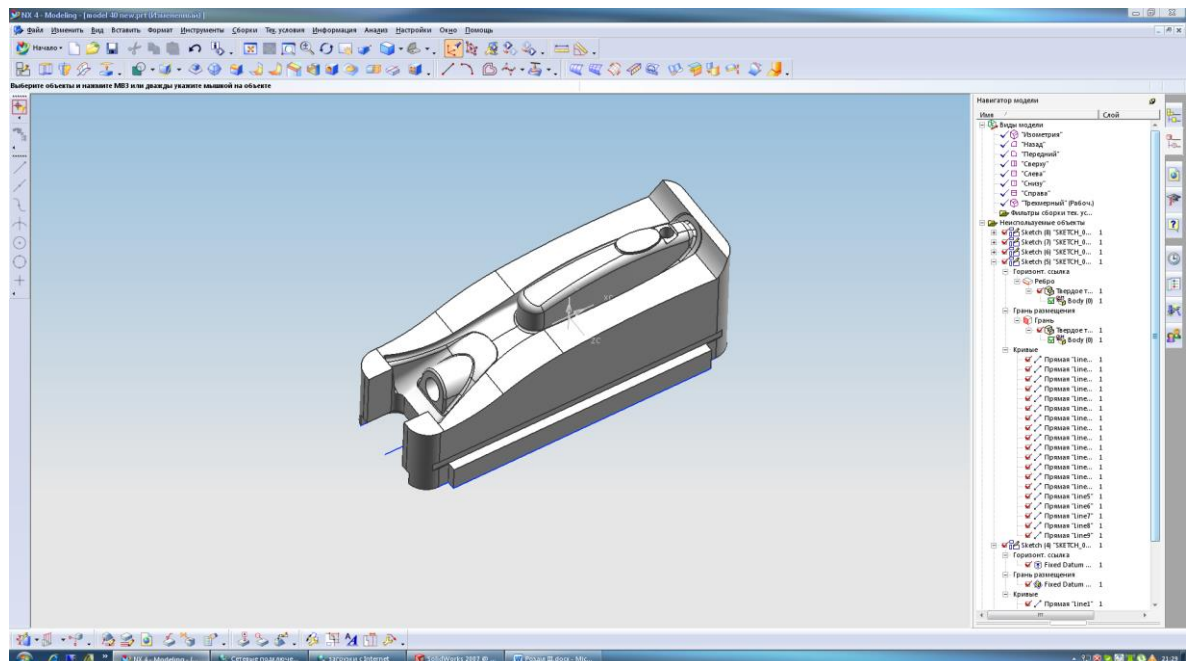


Рисунок 3.12 – Готова 3D – модель деталі «Корпус компресора 164.210.04» у програмі Unigraphics NX4

Зберігаємо готову модель деталі «Корпус компресора». Створення креслення деталі «Корпус компресора» у програмі Unigraphics NX4.

Програма Unigraphics NX4 дозволяє створювати креслення по вже готовій 3D – моделі деталі. Тому створимо креслення у програмі Unigraphics NX4.

Для цього потрібно ЛКМ натиснути кнопку «Начало» та обираємо пункт «Черчение» (рисунок 3.13).

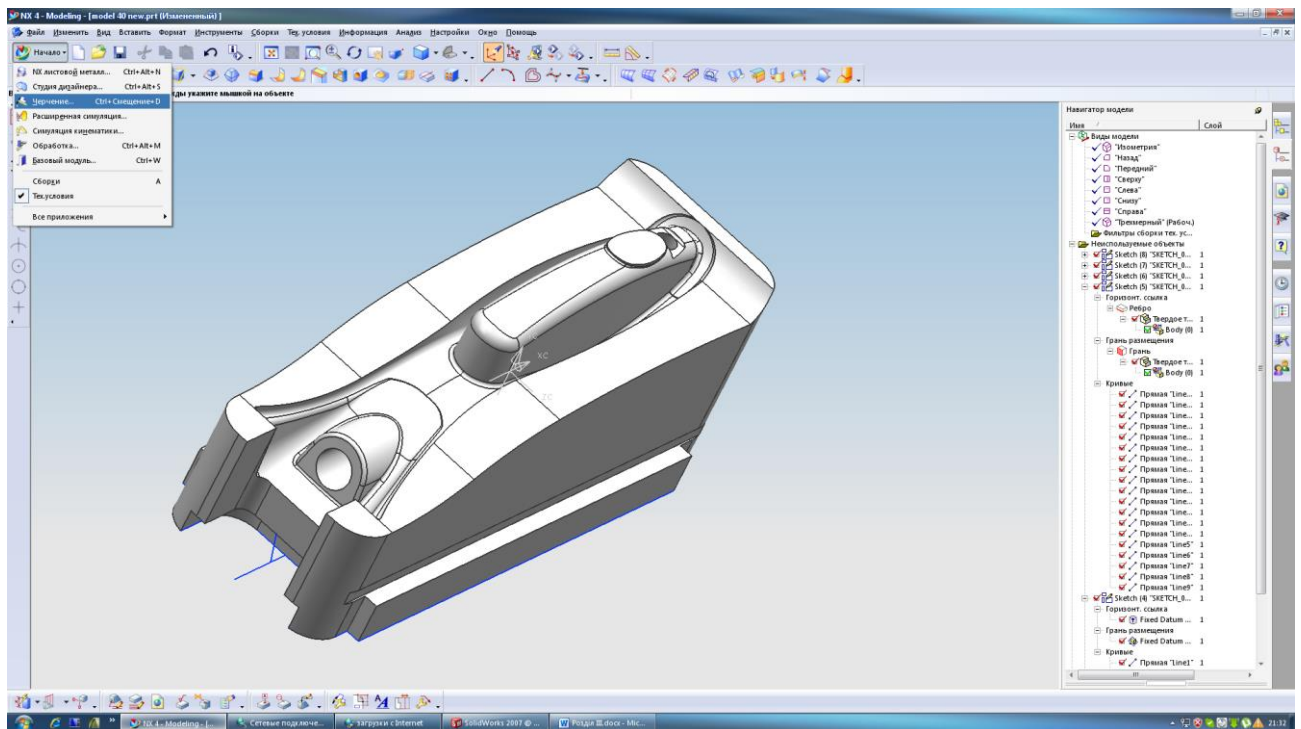


Рисунок 3.13 – Створення креслення з моделі

Вставляємо створену 3D – модель. Для цього на панелі обираємо Вставить/ Вид/ Базовый вид. Модель що з'явилася розміщуємо на листі згідно ГОСТу. Розставляємо необхідні розміри. За допомогою властивостей ліній робимо потрібну товщину.

Вставлений верхній вид з 3D – моделі зображений на рисунку 3.14. Далі потрібно вказати технічні вимоги, не вказану шорсткість та заповнюємо основний надпис. На креслені ми представили вид знизу, зверху та зробили розрізи.



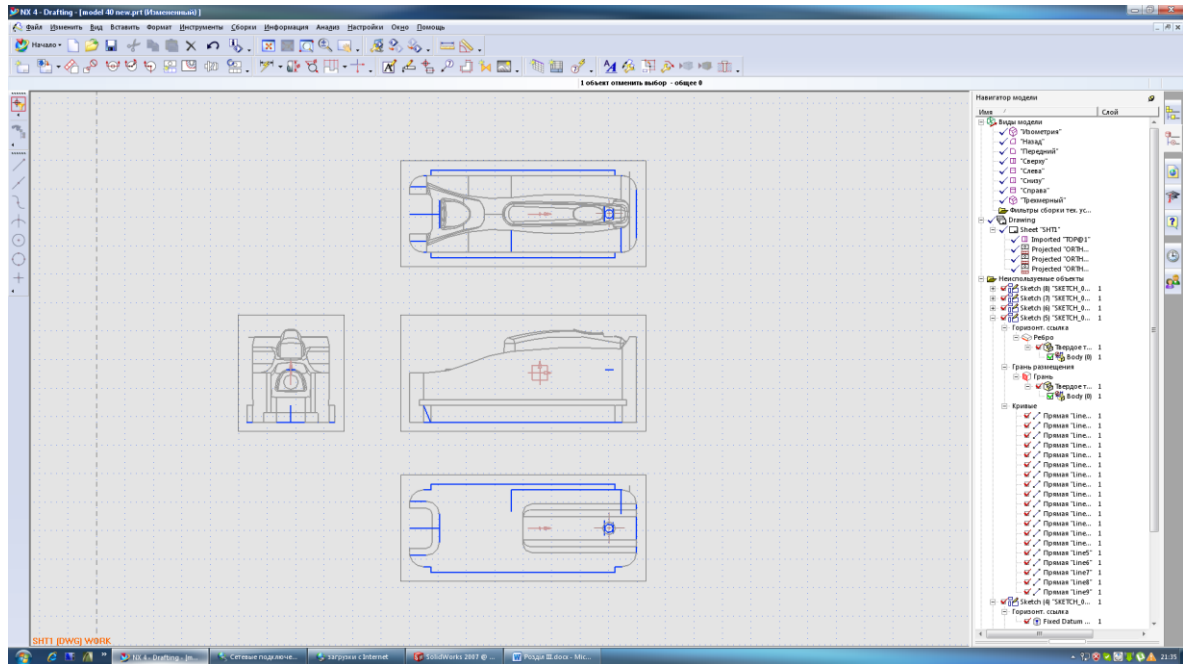


Рисунок 2.14 – Вид зверху вставлений з 3D – моделі

Зберігаємо готове креслення, ім'я пишемо латинськими літерами, або цифрами. Вказуємо шлях до потрібної папки.

Після того, як ми створили креслення у дереві побудови автоматично з'явилося вкладка «Drawing» зі створеним кресленням. Це дуже зручно у процесі роботи.

## 2.4 Розрахунки на міцність ливарної форми деталі «Корпус компресора»

У системі Unigraphics реалізовано широкий набір інструментів для створення та аналізу складних механічних систем із великими відносними переміщеннями елементів. Функціональні можливості програмного комплексу дозволяють виконувати статичний, кінематичний і динамічний аналіз механізмів на етапі проектування.

Однією з важливих переваг системи є можливість імітації руху механізмів у тривимірному середовищі. Це дає змогу наочно оцінити взаємодію окремих деталей та вузлів, виявити можливі помилки конструкції ще до виготовлення дослідного зразка. Однак візуалізація руху є лише одним

із етапів аналізу. Для більш глибокого дослідження роботи механізму система містить інструменти контролю перетинів, аналізу мінімальних зазорів між деталями та відстеження траєкторій рухомих елементів.

Під час моделювання можуть бути задані додаткові умови аналізу, зокрема автоматична зупинка руху при зіткненні деталей або досягненні критичного значення зазору, створення геометрії зони перетину елементів, а також формування повідомлень про виникнення потенційних проблем без припинення процесу моделювання.

Система також забезпечує визначення сил реакції в кінематичних парах і вузлах механізму. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розрахунку деталей на міцність, жорсткість і довговічність. Для виконання розрахунків механічних навантажень, процесів теплопередачі та міцнісного аналізу конструкцій у складі Unigraphics передбачено спеціалізовані модулі, інтегровані з єдиною базою даних системи та пов'язані з геометричною моделлю виробу.

Механізм може бути створений як на основі окремих моделей, розміщених в одному файлі, так і у складі повноцінної складальної одиниці. Такий підхід забезпечує високу гнучкість під час проєктування та аналізу виробів різного рівня складності [8].

Застосування наведених засобів дозволяє оцінити працездатність створеної конструкції ще на стадії проєктування та своєчасно внести необхідні зміни до моделі. Крім власних інструментів аналізу, система Unigraphics підтримує інтеграцію зі спеціалізованими програмними комплексами інженерних розрахунків NASTRAN та ANSYS. Для виконання тривимірного аналізу процесів лиття передбачена можливість передачі моделей ливарних форм до спеціалізованих програмних продуктів Moldflow (для лиття пластмас) та MAGMASOFT (для металевого лиття).

Оскільки деталь «Корпус компресора» використовується як елемент ливарного оснащення та піддається значним механічним навантаженням під час експлуатації, виникає необхідність проведення її міцнісного аналізу.

Метою такого аналізу є визначення напружено-деформованого стану конструкції та перевірка її працездатності в заданих умовах роботи.

Для проведення розрахунків на міцність у середовищі Unigraphics необхідно перейти до модуля інженерного аналізу (Simulation). Після запуску відповідного застосунку система пропонує обрати модель, що підлягає дослідженню, а також тип розрахункового модуля. У даній роботі для виконання міцнісного аналізу використовується розв'язувач NX Nastran, який забезпечує проведення структурних і теплових розрахунків методом скінченних елементів. Для дослідження напружено-деформованого стану деталі обирається структурний тип аналізу.

У нашому випадку для аналізу силових розрахунків будемо застосовувати «Структурный» аналіз. Також можна додати опис деталі, але можна і не додавати. Діалогове вікно створення нової симуляції представлено на рисунку 2.16. Далі натискаємо кнопку «ОК».

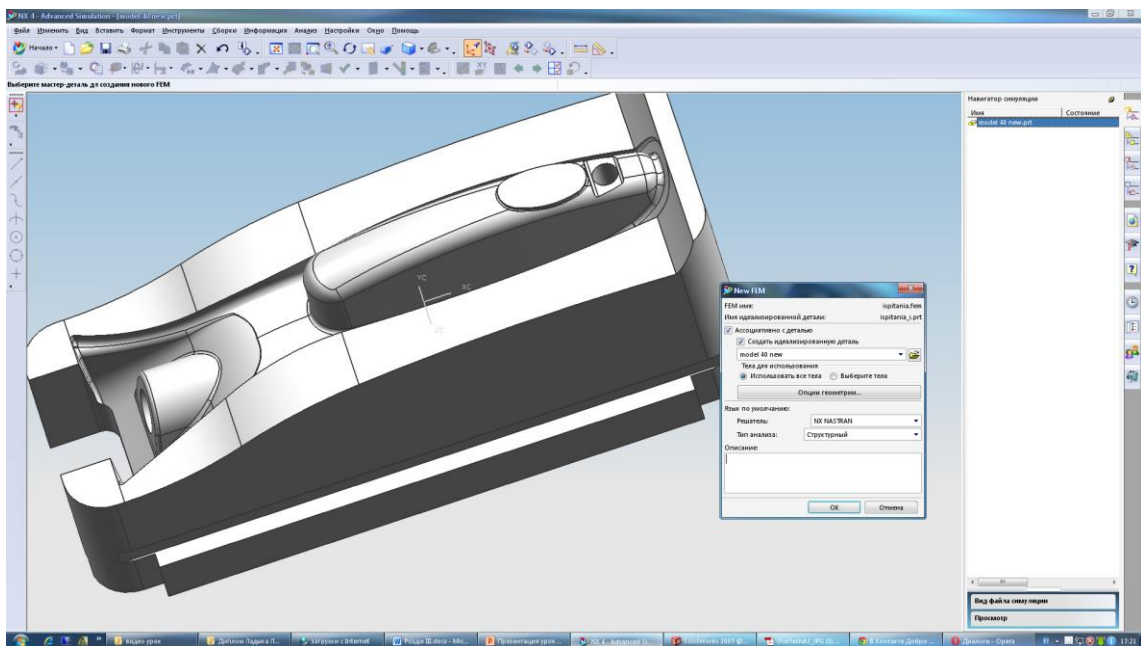


Рисунок 2.16 – Діалогове вікно створення нової симуляції

Наступним кроком потрібно створити рішення. Після того як ми створили нову симуляцію автоматично з'являється нове вікно, яке пропонує створити тип рішення. Все залишаємо без змін, ставимо галочку у графі «Итерационный решатель для NX Nastran 2.0 и выше» (рисунок 2.17).

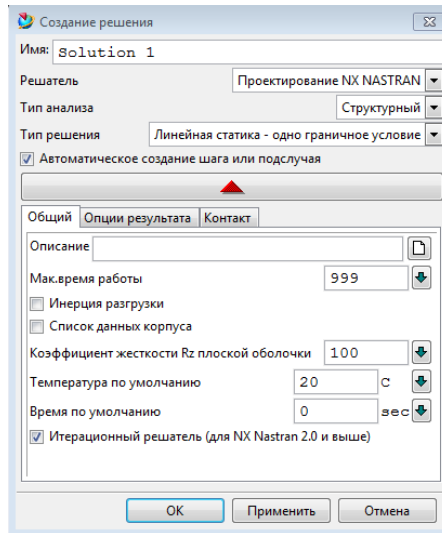


Рисунок 2.17 – Діалогове вікно створення рішення

Також можна задати своє ім'я рішенню, або залишити без змін. Воно не буде впливати ні на що. Після обраних дій натискаємо кнопку «ОК».

Для початку симуляції потрібно обрати матеріал із якого буде створена деталь. Враховуючи те, що деталь «Корпус компресора 164.210.04» буде виготовлятися зі сталі обираємо її із бібліотеки матеріалів. На панелі інструментів натискаємо ЛКМ на кнопку та обираємо потрібний метал (рисунок 2.18).

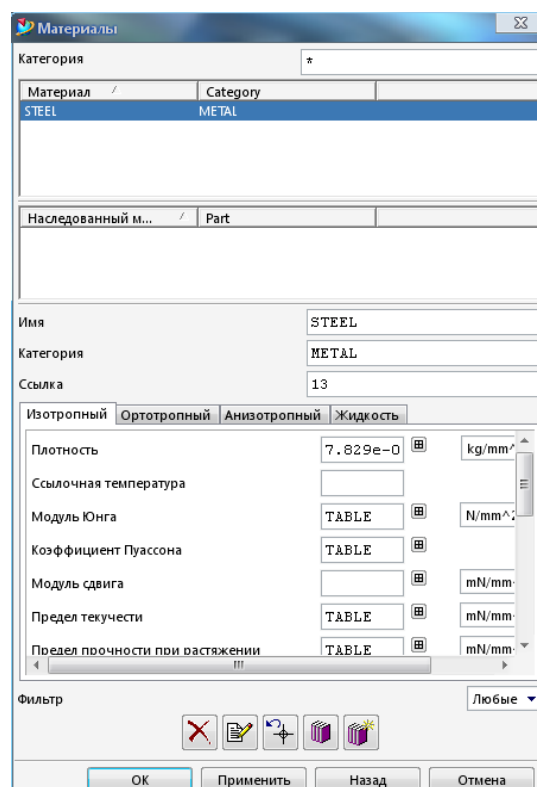




Рисунок 2.18 – Вибір матеріалу із бібліотеки програми

Одночасно можна подивитися властивості обраного матеріалу. Натискаємо кнопку «ОК». Обраний матеріал застосувався до нашої деталі. Тепер можна приступати до створення навантажень, ставити обмеження та накладати сітку. Для цього спочатку натискаємо ЛКМ на кнопку та у вікні, що з'явилося вказуємо потрібну силу, у нашому випадку сила дорівнює 1000 N. Також вказуємо «Тип распространения» для нашої деталі «Геометрическое распространение». Та вказуємо куди потрібно прикладати силу. Так як дана деталь являється ливарною формою то подаємо силу на верхню частину деталі, яка саме і створює виріб (рисунок 2.19).

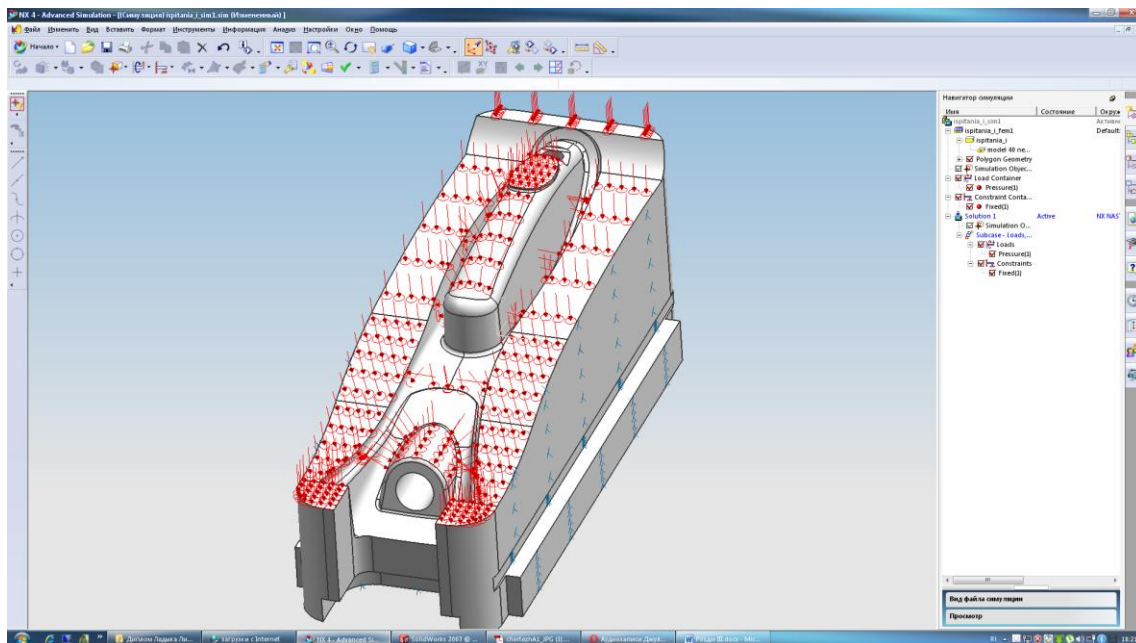


Рисунок 2.19 – Вікно створення навантаження на деталь «Корпус компресора 164.210.04»

Наступним кроком буде встановлення обмежень. Натискаємо на кнопку, та обираємо яку частину пресформи потрібно зафіксувати, натискаємо «ОК», встановлення обмежень закінчено (рисунок 2.20).

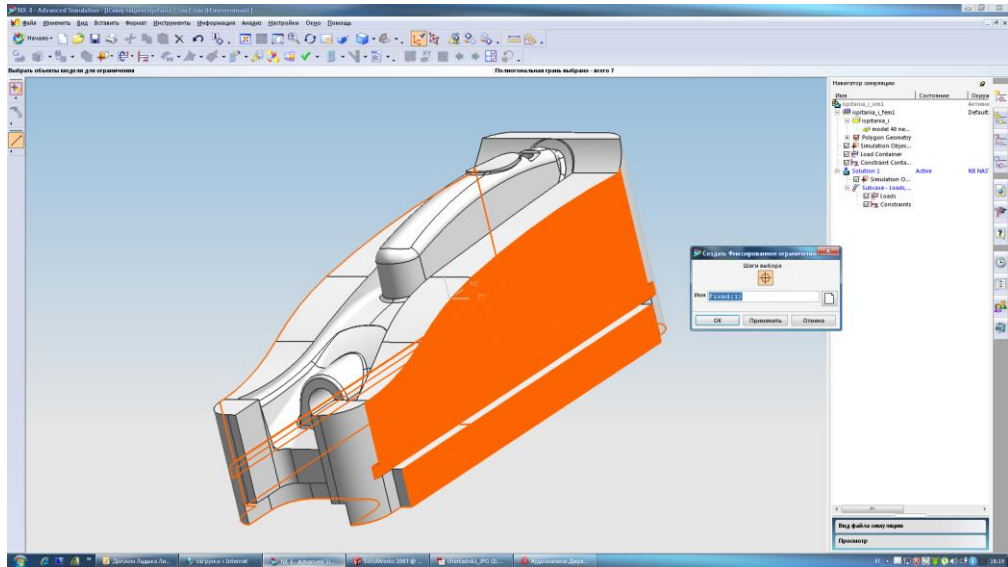


Рисунок 2.20 – Вікно створення обмежень для деталі «Корпус компресора 164.210.04»

Завершальним етапом є створення «3D тетраэдральной сетки». Натискаємо ЛКМ на кнопці у діалоговому вікні обираємо деталь та натискаємо на кнопку, яка автоматично розраховує припущений розмір елемента. Більше нічого незмінюючи натискаємо кнопку «ОК» (рисунок 2.21). Потім програма автоматично генерує сітку на натягує її на задану деталь.

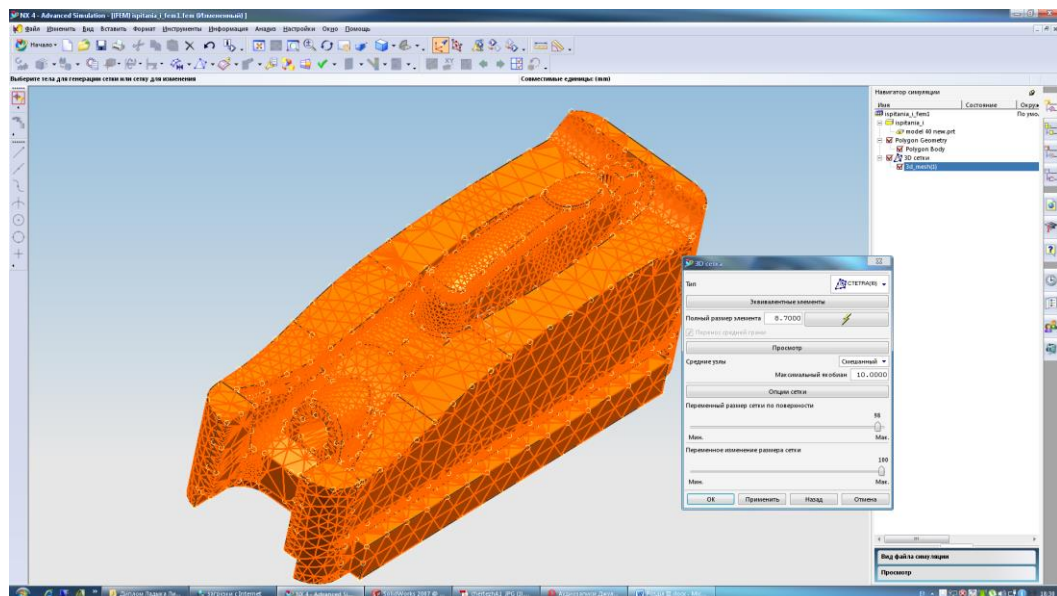


Рисунок 2.21 – Вікно створення «3D тетраэдральной сетки» для деталі «Корпус компресора 164.210.04»

Далі потрібно розрахувати, для цього натискаємо ЛКМ на кнопку. У діалоговому вікні натискаємо кнопку «ОК» і програма проводить аналіз та вказує місця де більш за все буде деформуватися деталь. Готовий аналіз деталі «Корпус компресора 164.210.04» на силові навантаження (напругою) представлений на рисунку 2.22.

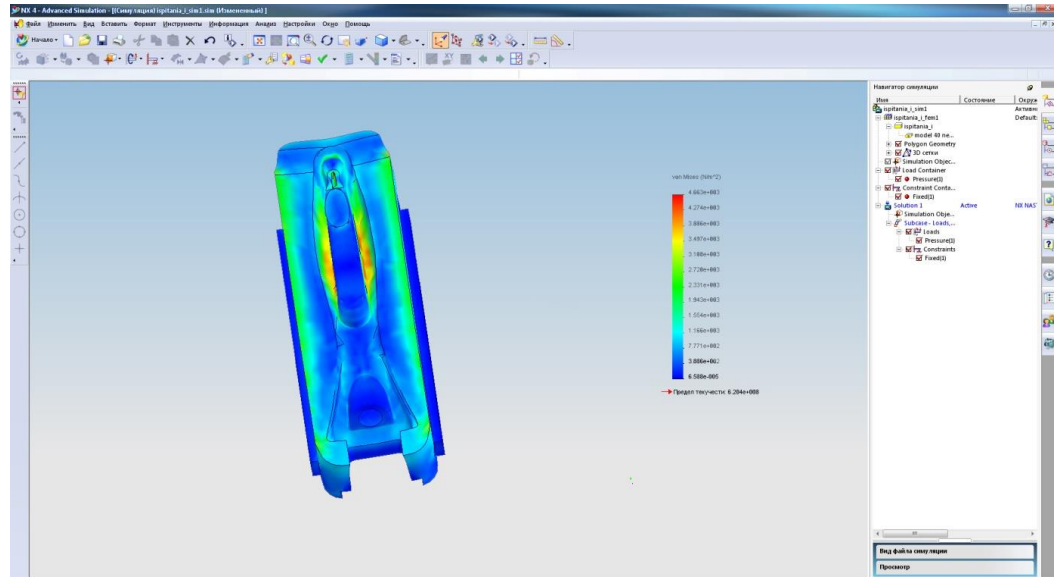


Рисунок 2.22 – Готовий аналіз деталі «Корпус компресора 164.210.04» навантаження напругою

На рисунку 2.22 зображений готовий аналіз деталі «Корпус компресора 164.210.04» на силові навантаження (деформація).

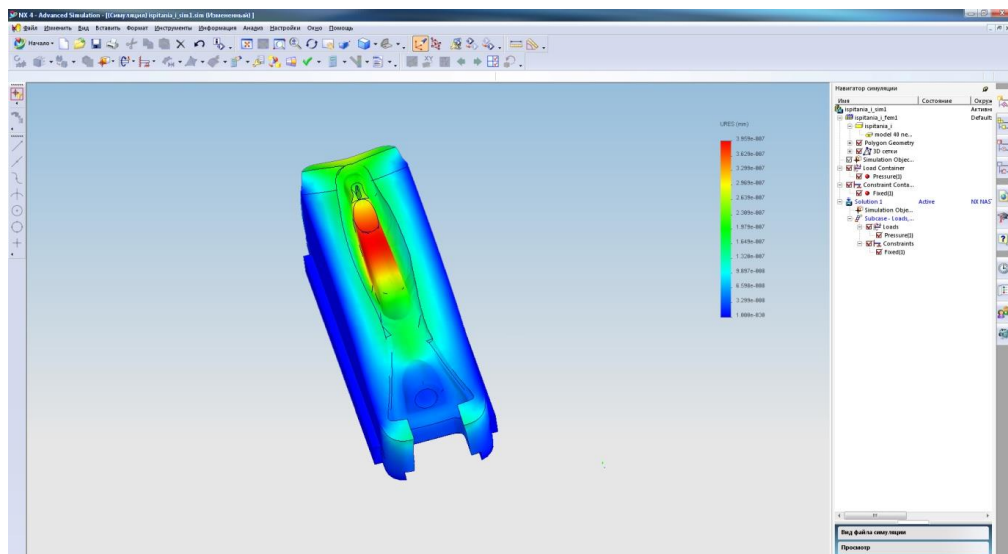


Рисунок 2.23 – Готовий аналіз деталі «Корпус компресора 164.210.04» на силові навантаження (деформація)

Після проведених розрахунків потрібно зберегти отримані результати у вигляді звіту, а також зберегти створений проект.

## 2.5 Проектування технологічного процесу для виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора»

Проектування технологічних процесів виготовлення деталей і складання вузлів є складним, трудомістким та багатоваріантним завданням. Саме тому його виконують поетапно, послідовно уточнюючи та вдосконалюючи прийняті технічні рішення.

На початковому етапі розробляється попередній варіант технологічного процесу. Надалі він уточнюється та деталізується на основі технологічних розрахунків, аналізу виробничих умов і технічних вимог до виробу. У результаті послідовного опрацювання формується завершений технологічний процес, придатний для практичного впровадження у виробництво. Вибір найбільш раціонального рішення, як правило, здійснюється шляхом розроблення та порівняння декількох альтернативних варіантів технологічного процесу [9].

Ступінь деталізації технологічного процесу значною мірою залежить від типу виробництва. В умовах масового виробництва технологічні процеси розробляються детально для кожної деталі виробу. Такі процеси називаються операційними. Відповідна технологічна документація містить повну інформацію про технологічні операції та переходи, режими обробки, міжопераційні розміри, застосовуваний інструмент, оснащення та інші необхідні виробничі дані.

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва зазвичай застосовують спрощене опрацювання технологічних процесів, оскільки детальна розробка в таких випадках є економічно недоцільною. Такі технологічні процеси називаються маршрутними. Вони визначають загальну

послідовність виконання операцій без детального опису кожного технологічного переходу.

Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє значно підвищити ефективність технологічної підготовки виробництва. Для цього використовуються спеціалізовані системи автоматизованого проєктування технологічних процесів. Однією з таких систем є САПР ТП «ВЕРТИКАЛЬ», у якій реалізовано сучасні підходи до організації технологічних баз даних на основі об'єктно-орієнтованих методів.

Система підтримує використання COM-технологій, має відкриту архітектуру та забезпечує можливість інтеграції з іншими програмними продуктами завдяки застосуванню ActiveX-компонентів. Такі рішення дозволяють автоматизувати процес розроблення технологічної документації, скоротити терміни підготовки виробництва та підвищити якість прийнятих технологічних рішень.

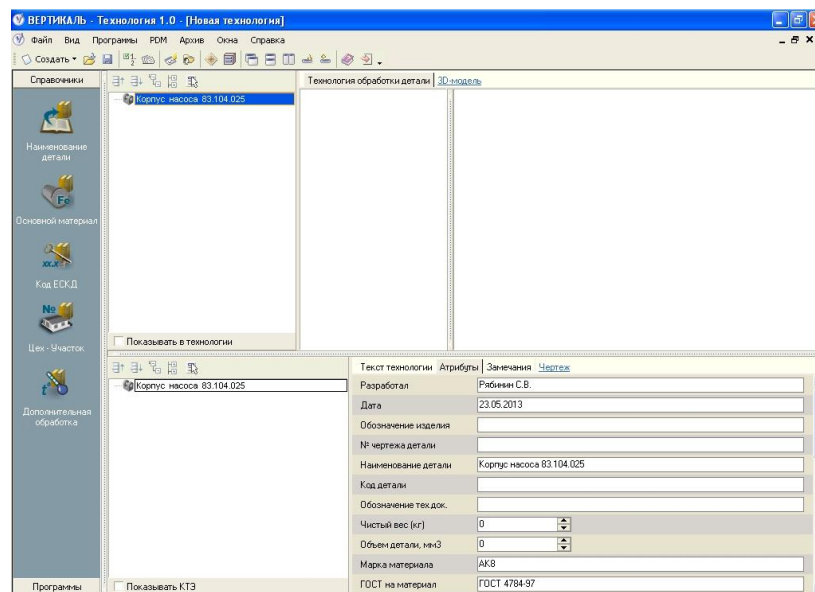


Рисунок 2.24 – Інтерфейс програмного пакету «Вертикаль»

Систему може швидко освоїти користувач практично з будь-яким рівнем «комп'ютерної» підготовки; буквально з перших днів її використання істотно зростає як швидкість, так і якість розроблення технологічної документації.

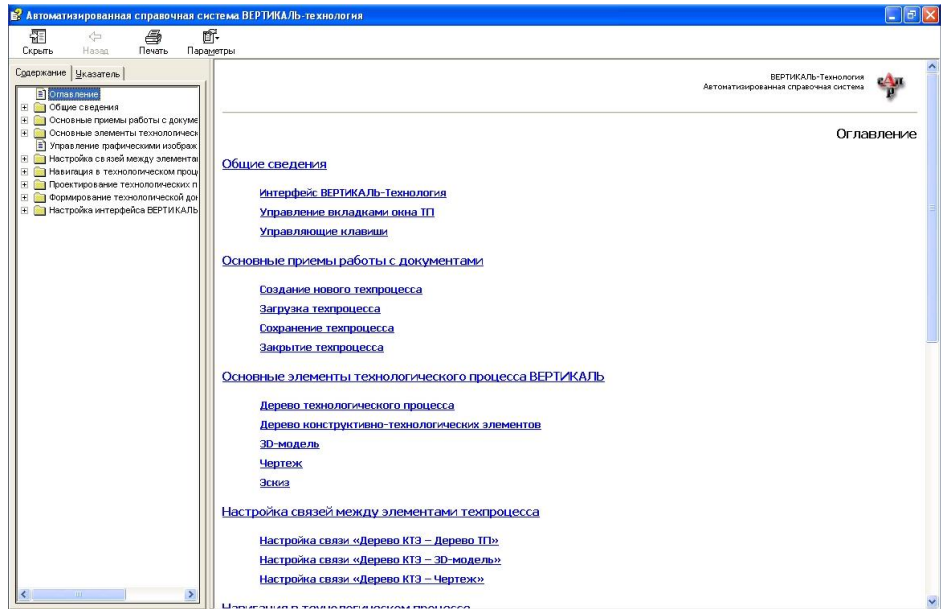


Рисунок 2.25 – Автоматизована довідкова система

Влаштована довідкова система за допомогою декілька кліків дозволить користувачеві розв'язати майже всі проблемні питання, стосовно створення, редагування та доповнення ТП.

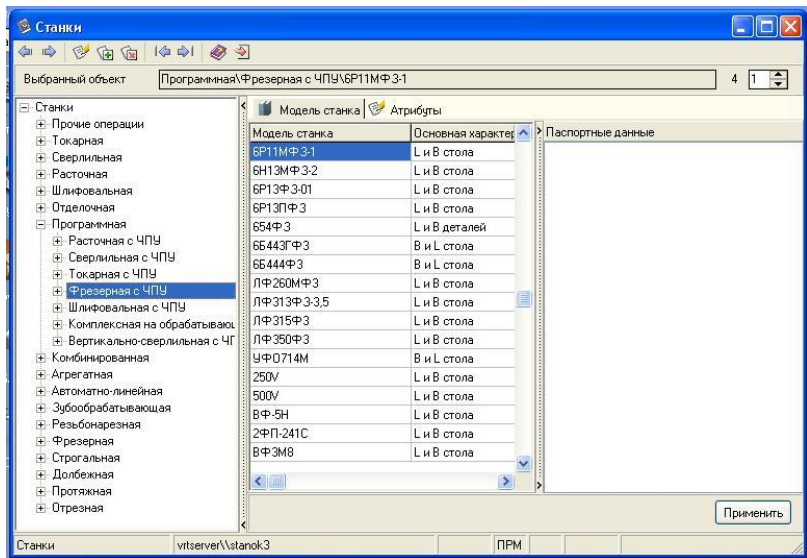


Рисунок 2.26 - Вибір обладнання в САМ-системі «Вертикаль»

У системі САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ передбачено також можливість роботи технолога з тривимірними моделями виробів та усіма видами графічних документів (кресленнями, ескізами).



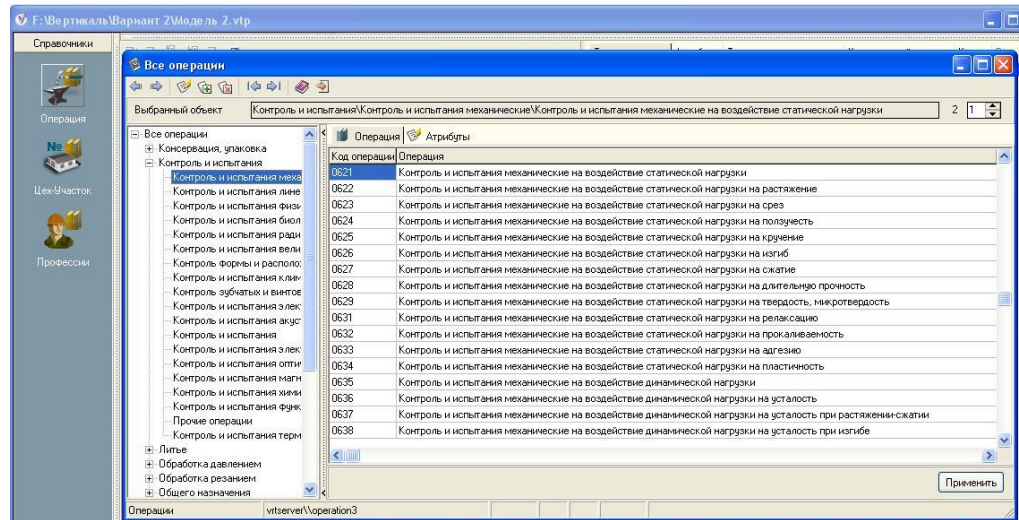


Рисунок 2.27 - Типы контрольных операций

Система САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ дозволяє користувачу оперувати конструкторсько-технологічними елементами (КТЕ), котрі об'єднують у собі конструкторську і технологічну інформацію про елементи, з яких складається деталь.

## Висновки до другого розділу

Один з найважливіших етапів виробничого процесу є технологічна підготовка виробництва. Рівень підготовки відбувається не лише на термінах виготовлення, але і на якості виробленої продукції, та її конкурентоздатності. Існуючий ТП на обробку деталі «Корпус компресора 164.210.04» був недосконалим та потребував змін, після доробки було отримано новий більш досконалий ТП, який був розроблений у програмному пакеті ВЕРТИКАЛЬ-Технология.

Сформований технологічний процес відповідає всім вимогам єдиної системи технологічної документації. Для обробки деталі на верстаті з ЧПУ була розроблена керуюча програма за допомогою програми Unigraphics NX4, для цього були використані тривимірна модель та заготовка деталі «Корпус».

Обрані стратегії для обробки даної деталі є оптимальними. Автоматизація технічної підготовки не лише дозволяє освоїти нові технології і реорганізує виробництво, але і дозволяє підвищити його економічну ефективність, підняти на більш конкурентоспроможний рівень в умовах сучасного ринку.



### РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ ДЕТАЛІ «КОРПУС КОМПРЕСОРА» ДЛЯ ПІДПІЄМСТВА ТОВ «МЕЛІТОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД ТУРБОКОМПРЕСОРІВ»

#### 3.1 Створення програмного забезпечення проектування ливарної форми деталі «Корпус компресора» із застосуванням API – технологій

Більшість застосовуваних в промисловості тривимірних САПР можуть бути використані як основа для побудови спеціалізованої САПР, яка вирішує завдання розрахунку і проектування певного класу виробів. При цьому необхідно об'єднати розрахунковий модуль, який визначає розмірні та інші параметри об'єкту, що проектується з вже наявними в САПР тривимірним геометричним ядром (рисунок 3.28).[21]

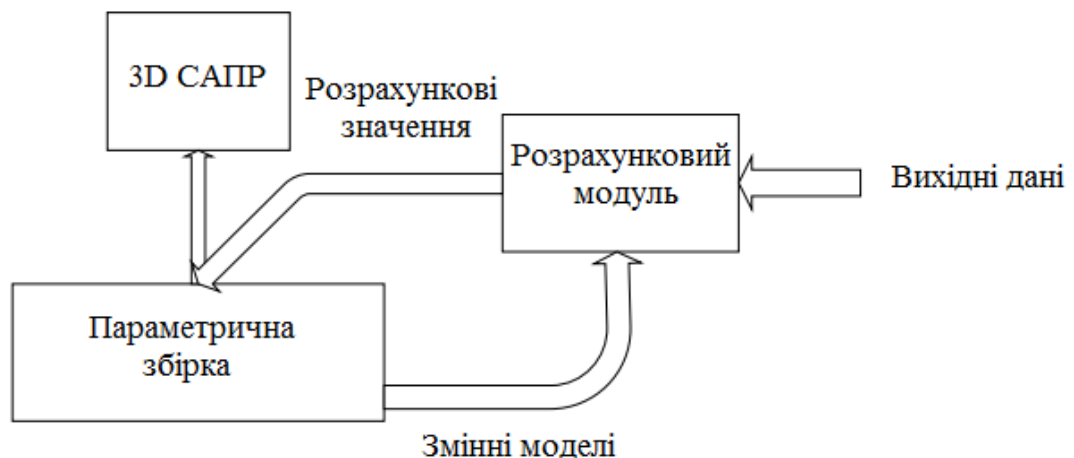


Рисунок 3.1 – Структура спеціалізованої САПР

Для реалізації такого підходу спочатку створюється параметрична збірка проєктованого механізму, в якій частина геометричних параметрів задається у вигляді змінних моделі. Розрахунковий модуль, який може бути реалізований у вигляді зовнішнього виконуваного файлу (EXE) або динамічної бібліотеки (DLL), виконує необхідні розрахунки та автоматично передає отримані значення параметрів до САД-системи. У результаті

відбувається автоматичне оновлення геометричної моделі та формується новий варіант тривимірної збірки.

Такий підхід забезпечує оперативне отримання нової геометрії виробу без необхідності ручного редагування моделі. Водночас він має певні обмеження, пов'язані з можливостями параметричного моделювання. Зокрема, система дозволяє змінювати значення параметрів існуючих елементів конструкції, але не передбачає автоматичного додавання або видалення деталей чи конструктивних елементів. Наприклад, у межах такої моделі неможливо автоматично сформувати зубчасте колесо з довільною кількістю зубців шляхом зміни лише параметрів існуючої геометрії.

Разом із тим у більшості практичних випадків робота конструктора полягає саме в коригуванні раніше створених моделей відповідно до нових розрахункових даних. Тому використання параметричних моделей у поєднанні з розрахунковими модулями дозволяє суттєво автоматизувати процес проєктування, поєднуючи інженерні розрахунки та побудову геометричної моделі в єдиному інформаційному середовищі [20].

Основна складність під час реалізації такого підходу полягає не стільки у виконанні самих розрахунків, скільки в організації ефективної взаємодії між розрахунковим модулем і CAD-системою. Більшість сучасних систем автоматизованого проєктування використовують власні програмні інтерфейси для взаємодії із зовнішніми застосунками, що ускладнює процес інтеграції.

Як правило, обмін даними між зовнішньою програмою та CAD-системою здійснюється за допомогою API (Application Programming Interface) — програмного інтерфейсу застосунків. API надає розробнику набір функцій і процедур для керування системою автоматизованого проєктування та виконання необхідних операцій із моделлю. Водночас доступ до внутрішніх об'єктів системи через API часто є менш зручним порівняно з використанням об'єктно-орієнтованих технологій, що може призводити до збільшення обсягу програмного коду та ускладнення його структури.

Для використання API-інтерфейсу системи SolidWorks у середовищі Delphi необхідно підключити спеціальні програмні модулі, які містять описи процедур, функцій і типів даних інтерфейсу програмування. До таких файлів належать **ksAuto.pas**, **ksTLB.pas**, **LDefin2D.pas** та **LDefin3D.pas**.

Зазначені файли входять до складу комплекту розробника (SDK) системи SolidWorks та зазвичай розміщуються в каталозі встановлення програмного забезпечення. Їх використання забезпечує можливість створення прикладних програм для автоматизації проектування, виконання параметричних розрахунків та інтеграції зовнішніх розрахункових модулів із CAD-системою.

### 3.1.1 Розробка інформаційної моделі системи

Інформаційна модель являє собою сукупність відомостей про об'єкт, процес або явище, які відображають їхні найбільш суттєві властивості, параметри, стани та взаємозв'язки із зовнішнім середовищем. Вона дозволяє досліджувати поведінку об'єкта, аналізувати його характеристики та прогнозувати можливі зміни стану за різних умов функціонування.

У системах управління інформаційна модель використовується як засіб відображення стану об'єкта керування, параметрів зовнішнього середовища та роботи самої системи. На основі отриманої інформації здійснюється аналіз поточної ситуації та приймаються відповідні управлінські рішення.

Інформаційна модель може бути представлена в різних формах залежно від поставленого завдання. Найбільш поширеними є текстові описи, таблиці, графіки, креслення, блок-схеми, карти, мнемосхеми, а також фото-, відео- та інші візуальні матеріали. Усі ці засоби слугують для зручного подання та обробки інформації про досліджуваний об'єкт.

Особливістю інформаційних моделей є те, що вони не мають безпосереднього матеріального втілення і існують у вигляді даних, знань або уявлень про об'єкт. Саме тому їх часто називають уявними або логічними

моделями. Фактично більшість знань людини про навколишній світ формується та зберігається у вигляді різноманітних інформаційних моделей.

Залежно від призначення інформаційна модель може використовуватися для опису структури об'єкта, аналізу його функціонування, прогнозування поведінки або підтримки процесів прийняття рішень. У сучасних інформаційних системах та системах автоматизованого проєктування інформаційні моделі є основою для зберігання, обробки та передачі даних між різними етапами життєвого циклу виробу.

### 3.1.2 Інженерні вимоги до програмного забезпечення

Аналіз вимог полягає у визначенні потреб і умов, які висуваються до нового або модернізованого продукту з урахуванням можливих суперечностей між вимогами різних зацікавлених сторін, зокрема користувачів, замовників та бенефіціарів.

Якісний аналіз вимог є одним із ключових чинників успішної реалізації проєкту. Вимоги повинні бути чітко сформульованими, документованими, вимірюваними, такими, що підлягають перевірці, відповідати бізнес-потреbam та містити достатній рівень деталізації для подальшого проєктування системи. Залежно від призначення вони можуть бути архітектурними, структурними, функціональними, поведінковими або нефункціональними.

Процес аналізу вимог включає декілька основних етапів:

- **виявлення вимог** — встановлення взаємодії із замовниками та користувачами з метою визначення їхніх потреб і очікувань. Цей етап також називають збором вимог;
- **аналіз вимог** — перевірка отриманої інформації на наявність неточностей, неповноти, неоднозначностей або суперечностей та їх подальше усунення;
- **документування вимог** — формалізація результатів аналізу у вигляді відповідної документації.

Вимоги можуть бути представлені в різних формах: текстових описах природною мовою, прецедентах використання, користувацьких історіях, специфікаціях процесів або інших документах, що відображають функціонування майбутньої системи.

Аналіз вимог є складним і відповідальним процесом, який потребує не лише технічних знань, а й розвинених комунікативних та аналітичних навичок. Впровадження нових систем часто змінює виробниче середовище, організаційні процеси та взаємодію між людьми. Саме тому важливо своєчасно визначити всіх зацікавлених сторін, врахувати їхні потреби та забезпечити розуміння наслідків, які можуть виникнути в результаті впровадження нової системи.

Для збору та уточнення вимог аналітики використовують різноманітні методи. Традиційними підходами є проведення інтерв'ю, анкетування, організація фокус-груп або робочих нарад (майстерень вимог), а також формування переліків вимог. До сучасних методів належать прототипування, моделювання бізнес-процесів та використання прецедентів. Залежно від складності проєкту та його специфіки може застосовуватися комбінація кількох методів, що дозволяє отримати повний і достовірний набір вимог та забезпечити відповідність майбутньої системи потребам замовника і цілям бізнесу.

### 3.1.3 Етапи створення програмного модуля для ливарної форми деталі «Корпус компресора»

Для автоматизації процесу проєктування було розроблено спеціалізовану САПР, призначену для розрахунку параметрів деталі «Корпус компресора» та автоматичного формування її тривимірної моделі. На першому етапі відповідно до конструкторської документації створюється геометрична модель деталі в середовищі SolidWorks. Після завершення побудови моделі виконується її параметризація, що забезпечує можливість

автоматичної зміни геометричних параметрів на основі результатів розрахунків.

Розрахунковий модуль, окрім виконання необхідних інженерних розрахунків, повинен забезпечувати реалізацію таких функцій:

- підключення до системи SolidWorks та завантаження параметричної моделі;
- отримання поточних значень змінних параметрів моделі, а також інформації про деталі та складальні одиниці;
- зміну значень параметрів, автоматичне перебудування геометричної моделі та її подальше збереження.

### **Етап 1. Створення змінних моделі**

Після відкриття створеної моделі деталі активується інструмент «Рівняння», у результаті чого з'являється додаткове вікно «Змінні». У цьому вікні відображається структура моделі та перелік параметрів, що використовуються під час її побудови. Для кожного параметра система автоматично формує ідентифікатор, який надалі може бути використаний для організації зовнішнього керування моделлю.

### **Етап 2. Оголошення зовнішніх змінних**

Для забезпечення можливості зміни параметрів із зовнішньої програми необхідно оголосити відповідні розміри як змінні моделі. У системі SolidWorks змінними можуть бути геометричні розміри ескізів, а також параметри формоутворювальних операцій, наприклад висота видавлювання або глибина вирізу.

Для доступу до цих параметрів із зовнішнього програмного забезпечення їм призначаються унікальні імена (псевдоніми), після чого змінні переводяться в режим зовнішнього використання.

### **Етап 3. Призначення параметрів моделі**

На цьому етапі відкриваються необхідні ескізи та операції моделі, для яких визначаються параметри, що підлягатимуть автоматичній зміні. Після створення або редагування розміру він автоматично відображається у списку змінних. У полі «Вираз» для кожного параметра задається відповідне ім'я

змінної, що дозволяє надалі використовувати його під час програмного керування моделлю.

Аналогічні дії виконуються для всіх геометричних параметрів, які необхідно змінювати в процесі автоматизованого проектування.

#### Етап 4. Налаштування зовнішнього доступу до параметрів

Після завершення параметризації моделі всі необхідні змінні переводяться у статус зовнішніх. Це забезпечує можливість їх зміни за допомогою розрахункового модуля без безпосереднього втручання користувача в процес редагування моделі.

Для перевірки правильності виконаної параметризації змінюється значення одного або декількох параметрів, після чого виконується перебудова моделі. Якщо геометрія деталі коректно змінюється відповідно до нових значень параметрів, параметризацію можна вважати успішною.

Після завершення перевірки модель зберігається та використовується на наступних етапах розроблення спеціалізованої системи автоматизованого проектування. У разі виявлення помилок або некоректної перебудови моделі здійснюється коригування параметрів і повторна перевірка їх роботи.

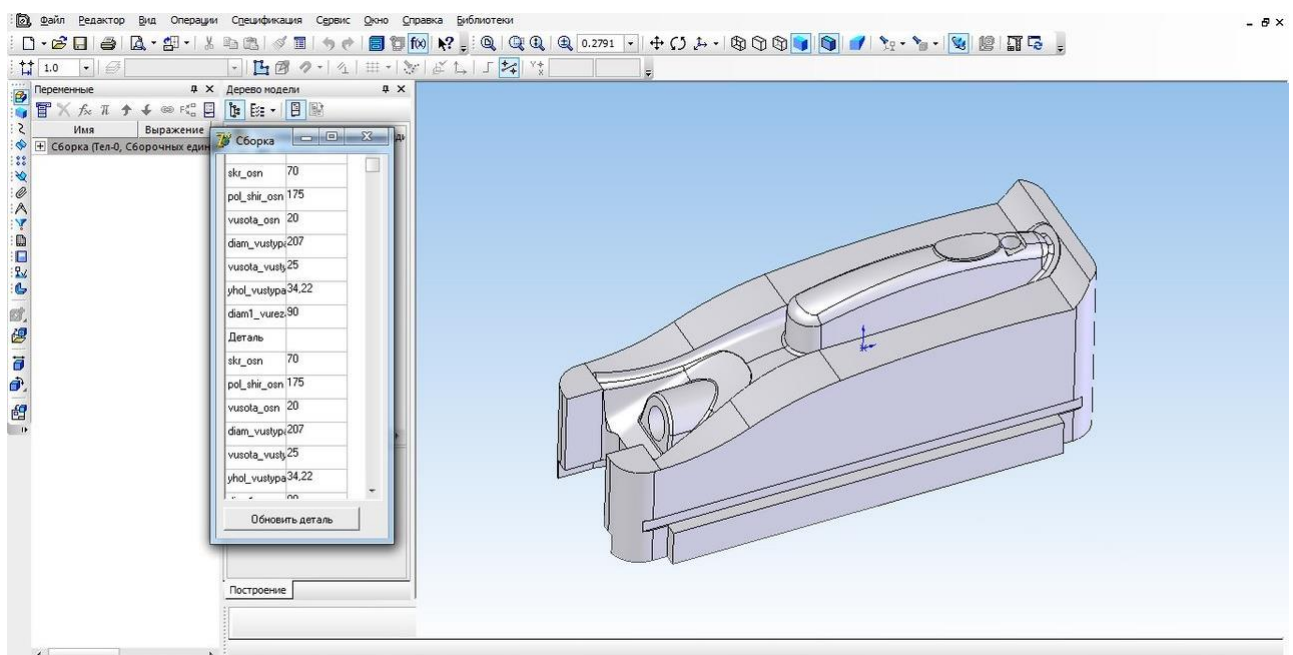


Рисунок 3.1 – Параметризована модель деталі «Корпус компресора» зі змінними

## Етап 5. Створення складальної моделі та інтеграція з програмним модулем

Після завершення параметризації деталі створюється складальна модель, до складу якої додається розроблена 3D-модель деталі «Корпус компресора». Для цього в системі SolidWorks формується новий документ типу «Складальна одиниця», після чого до нього імпортується створена раніше параметрична модель деталі.

Створення складальної моделі є необхідним етапом, оскільки подальша взаємодія розрахункового модуля із CAD-системою здійснюється саме через об'єкти складальної структури. Після додавання компонента та збереження збірки підготовка моделі в середовищі SolidWorks вважається завершеною.

Наступним етапом є розроблення програмного модуля в середовищі Delphi, який забезпечує автоматичний обмін даними між розрахунковою частиною системи та параметричною моделлю. Для цього створюється новий проєкт і до його складу підключаються програмні модулі, що входять до комплекту розробника (SDK) системи SolidWorks. Зокрема, використовуються файли, які містять опис інтерфейсів програмування та забезпечують доступ до функцій автоматизації системи.

Для реалізації взаємодії з SolidWorks до головного модуля проєкту підключаються необхідні бібліотеки, серед яких **ComObj**, **OleCtrls**, **ksTLB** та **ComCtrls**. Вони забезпечують роботу з COM-об'єктами та API системи SolidWorks.

Таким чином забезпечується інтеграція розрахункового модуля з CAD-системою, що дозволяє автоматизувати процес розрахунку параметрів деталі та формування її тривимірної моделі.

### 3.1.4 Тестування програмного продукту



Також у середовище Delphi ми вставили креслення з розставленими змінними, для зручності користування програмним модулем.

При зміні необхідних розмірів моделі натискаємо кнопку «Перестроить». Після чого відкривається вікно програми SolidWorks, де буде відбуватися перебудова деталі і новими розмірами. На рисунку 3.2 представлена деталь до внесення зміни розмірів. А на рисунку 3.3 деталь після внесення змін. Для більшої наочності ми зробили отвори на нижній стороні деталі різного діаметру.

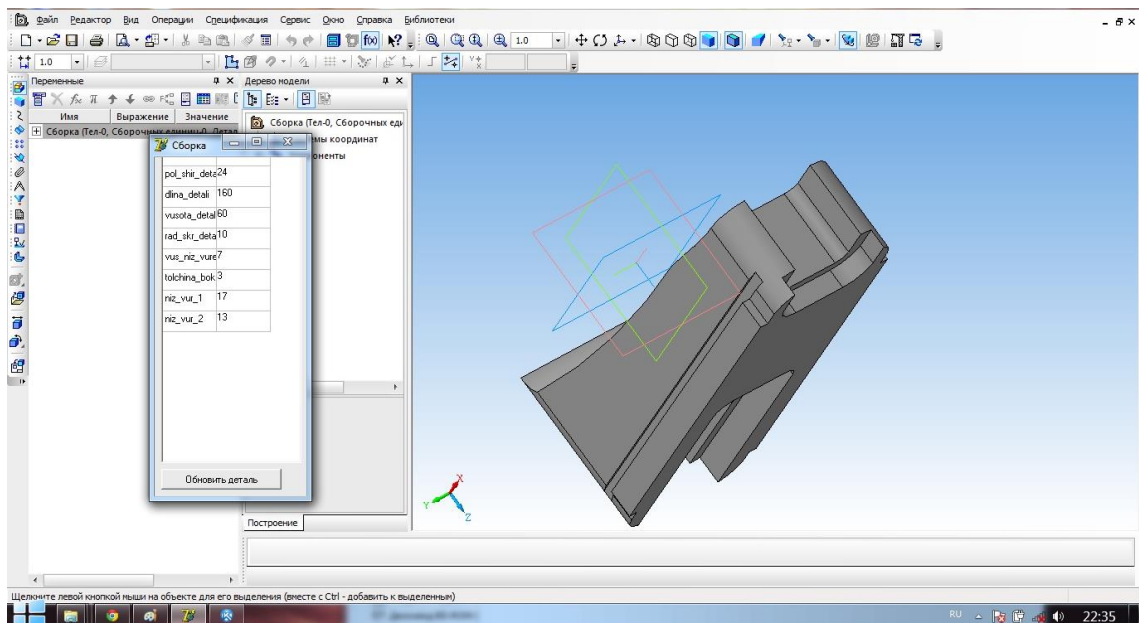


Рисунок 3.2 – Деталь до внесення зміни розмірів

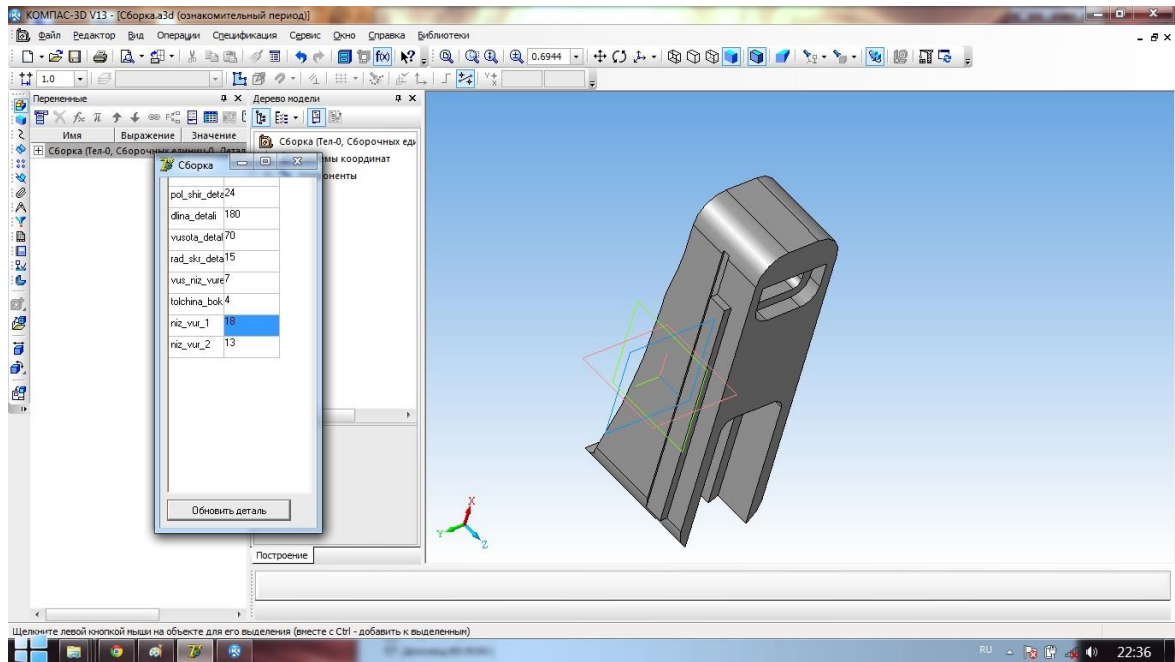


Рисунок 3.3 – Деталь після внесення зміни розмірів

Деталь до змін та після представлена також на плакаті 4, що додається.

Таким чином можна зробити висновок, що за допомогою модуля API досить швидко можна змінювати деякі параметри створеної деталі. Але все ж таки виявилися ще певні мінуси у даному модулі. Цей модуль дозволяє змінювати тільки деякі параметри (в загальні розміри отворів, глибину вирізів, і т.п), а додавати якісь нові, або створювати нові конструкторські елементи він не може.

### 3.2 Розробка постпроцесору для верстату з ЧПУ

Проектувальна частина модуля ADEM CAM (процесор) призначена для формування послідовності команд обробки в універсальному форматі CLDATA. Програмний модуль, який виконує перетворення цих команд із формату CLDATA у формат, що підтримується конкретною системою числового програмного керування (ЧПК), називається постпроцесором або адаптером.

У процесі роботи адаптер використовує постпроцесор, налаштований для конкретного верстата, та формує на робочому диску файл PLENT.TAP, який містить текст керуючої програми у форматі ASCII.

Оскільки різні системи ЧПК можуть використовувати власні стандарти кодування символів, що відрізняються від ASCII (наприклад, ISO, БЦК та інші), виникає необхідність виконання додаткового перетворення даних. Для цього використовується спеціальний модуль перекодування, який автоматично запускається після завершення роботи адаптера.

У результаті перекодування формується файл PROG.TAP, що містить керуючу програму в форматі, сумісному з конкретною системою ЧПК та готовому до завантаження на верстат.

Таким чином, модуль ADEM GPP забезпечує адаптацію універсальних траєкторій обробки до вимог конкретного обладнання, що дозволяє використовувати єдину модель технологічного процесу для різних типів верстатів із числовим програмним керуванням.

Для налаштування процесу генерації керуючих програм використовується модуль ADEM GPP (Generator of Postprocessors) — генератор постпроцесорів. Даний модуль призначений для створення, редагування та налаштування постпроцесорів, які забезпечують коректне формування керуючих програм відповідно до особливостей конкретних систем ЧПК. Використання генератора постпроцесорів дозволяє адаптувати вихідні дані ADEM CAM до вимог різних моделей верстатів та систем керування, що значно розширює можливості застосування програмного комплексу у виробництві.

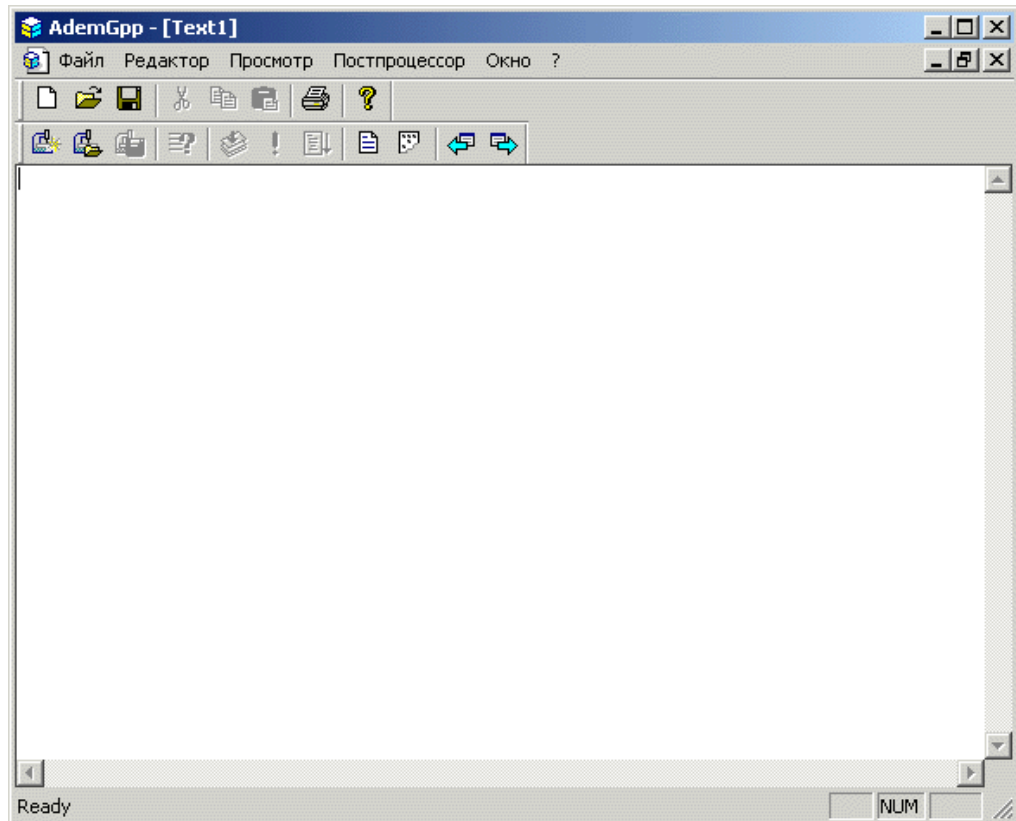


Рисунок 3.4 - Головне вікно програми

Генератор постпроцесорів дозволяє виконати наступні дії: створити новий постпроцесор. Натисніть кнопку Створити постпроцесор Відкриється діалог «Новий постпроцесор».

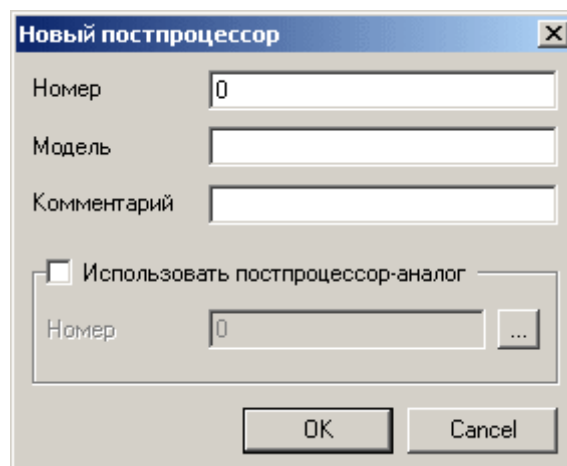


Рисунок 3.5 - Новый постпроцесор

У полі «Номер» введіть номер постпроцесора

У полі «Модель» введіть модель верстата

У полі «Коментар» введіть коментар

Для створення постпроцесора можна використовувати аналогічний постпроцесор, розроблений до цього. Для цього встановіть прапорець «

Використовувати постпроцесор - аналог » і в полі «Номер» введіть номер аналогічного пост-процесора. Можна вибрати постпроцесор зі списку, якщо натиснути кнопку біля поля «Номер». Після заповнення діалогу натисніть клавішу ОК.

Щоб відкрити постпроцесор натисніть кнопку Відкрити постпроцесор. З'явиться діалог «Відкрити постпроцесор».

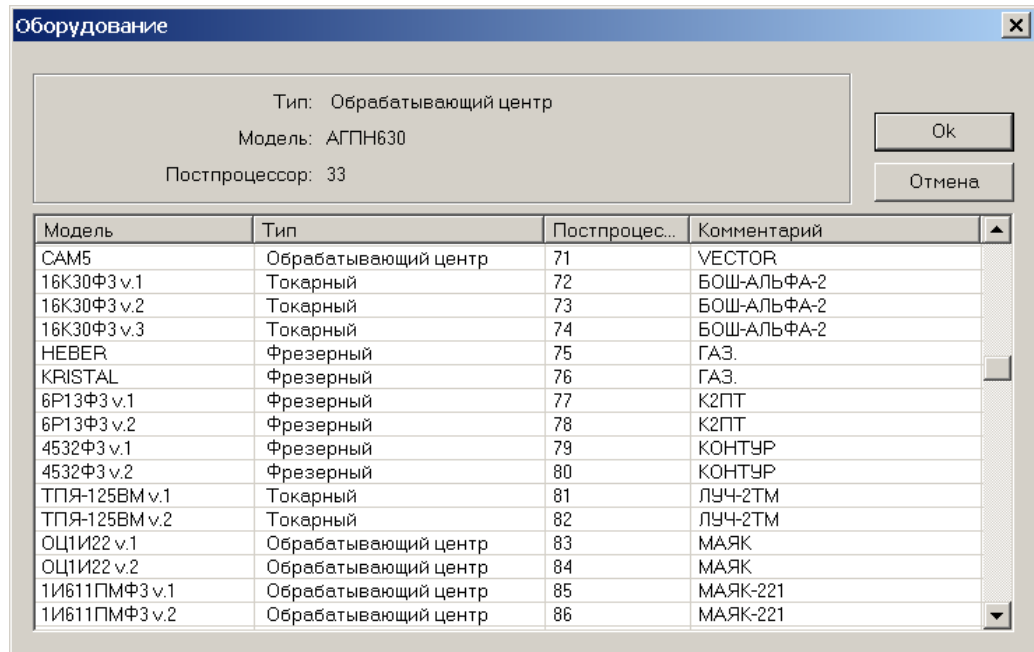


Рисунок 3.6 - Відкрити постпроцесор

Відкриється діалог вибору постпроцесорів. Зі списку виберіть потрібний постпроцесор і натисніть ОК. Якщо відомий номер вашого постпроцесора, то введіть номер у полі «Номер постпроцесора» та натисніть ОК.

Для того, щоб зберегти постпроцесор натисніть кнопку Зберегти постпроцесор. Система збереже активний постпроцесор. Заповнити паспорт верстата можна за допомогою кнопки Параметри. З'явиться діалог «Постпроцесор».

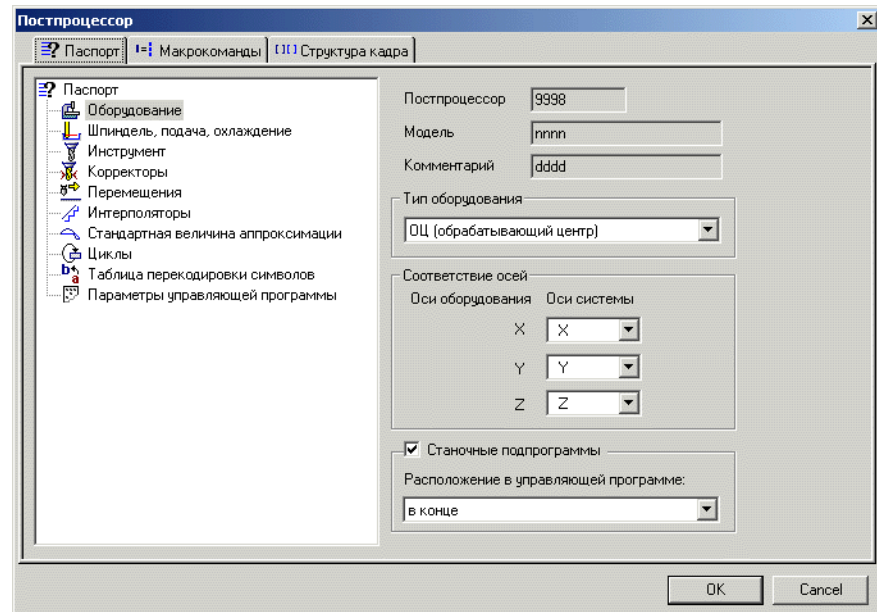


Рисунок 3.7 - Заполнения паспорта

Далі натисніть кнопку Створити. Відкриється вікно з порожнім текстовим файлом. Щоб відкрити алгоритм натисніть кнопку Відкрити і виберіть файл алгоритму. Система відкриє вибраний файл. Зберегти зміни в алгоритмі можна за допомогою кнопки Зберегти. Система збереже зміни в данному алгоритмі.

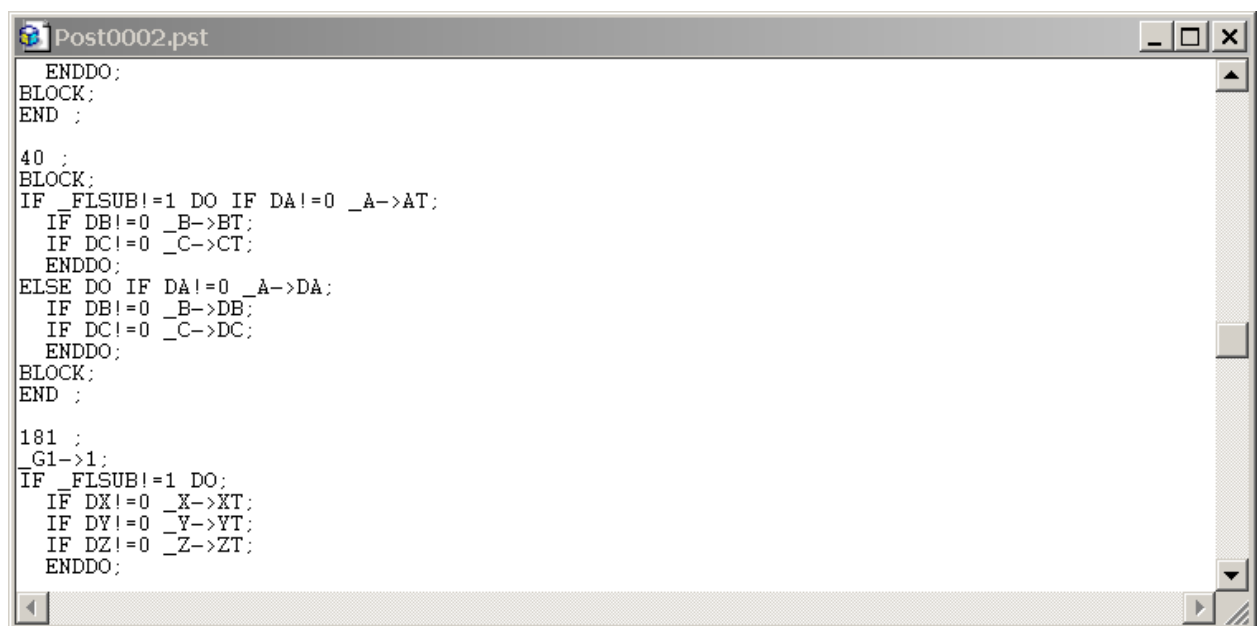


Рисунок 3.8 - Фрагмент коду постпроцесора

Для того, щоб перевірити цей постпроцесор, ви повинні увійти в модуль ADEM CAM, командою ВЕРСТАТ встановити верстат, для якого створили постпроцесор, запустити (можливо, повторно) Процесор, потім Адаптер і переглянути вийшла УП. Якщо в постпроцесорі виявилися помилки, знову поверніться в ADEM GPP і змініть його.

### 3.3 Розробка управляючої програми для верстату з числовим програмним управлінням

#### 3.3.1 Інформаційна модель системи розробки управляючої програми для верстата з ЧПУ та інженерні вимоги до програмного забезпечення

Готову деталь отримують шляхом обробки заготовки, характеристики та параметри якої визначаються заготівельною операцією технологічного процесу механообробки. Для обробки ливарної форми корпусу компресора прораховуємо заготівку.

3D-модель заготовки моделюється на основі 3D-моделі ливарної форми корпусу компресора, отриманого при використанні розробленого нами програмного забезпечення.

Створена 3D-модель ливарної форми корпусу компресора у програмному середовищі Unigraphics представлена на рисунку 3.9, він є вихідними даними для початку розробки керуючої програми.

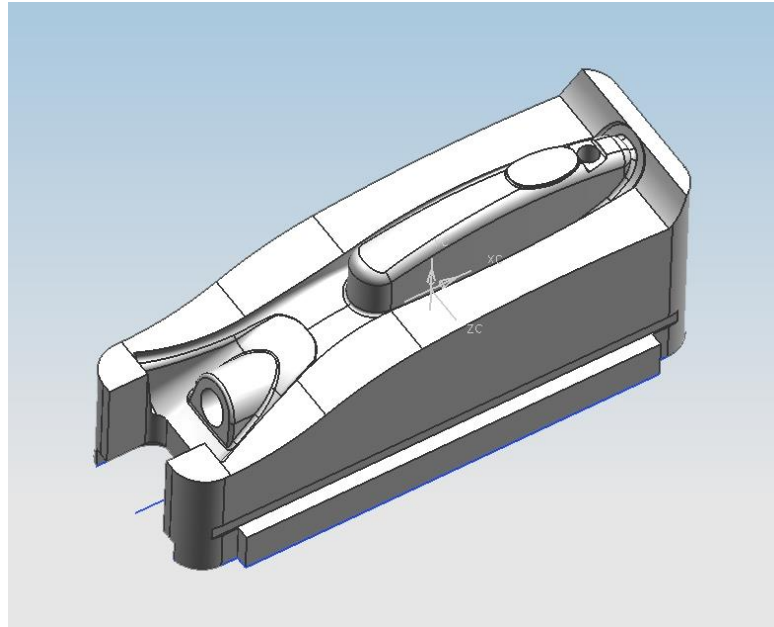


Рисунок 3.9 – 3D-модель робочого деталі в Unigraphics

### 3.3.2 Основні етапи створення управляючої програми

Для розрахунку керуючої програми, необхідно визначити заготовку. В Unigraphics існує можливість створення заготовки в автоматичному режимі, вказавши припуск на обробку деталі. Створену в такому режимі засобами Unigraphics 3D-модель заготовки і встановлюємо аналогічну точку відліку на нашій деталі.

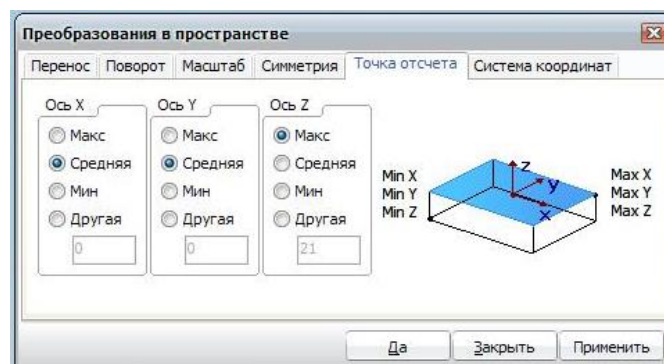


Рисунок 3.10 – Вибір заготовки в просторі середовища Unigraphics

У Unigraphics проектування технологічного процесу починається з вибору верстата, на якому проводитиметься обробка. Від типу верстата і його



параметрів залежить набір доступних операцій, їх можливості, параметри за умовчанням і подальша поведінка системи.

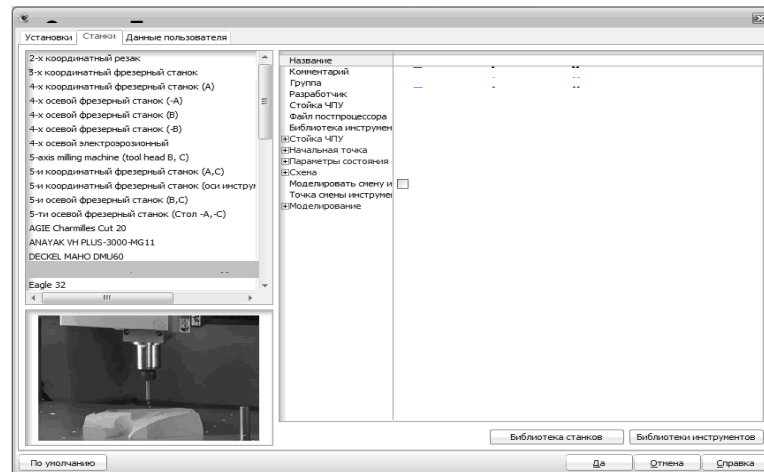


Рисунок 3.11 – Вікно вибору верстату

Після вибору верстата створюємо операцію чорнової обробки деталі. Вікно вибору операцій та стратегій обробки представлено на рисунку 3.12.

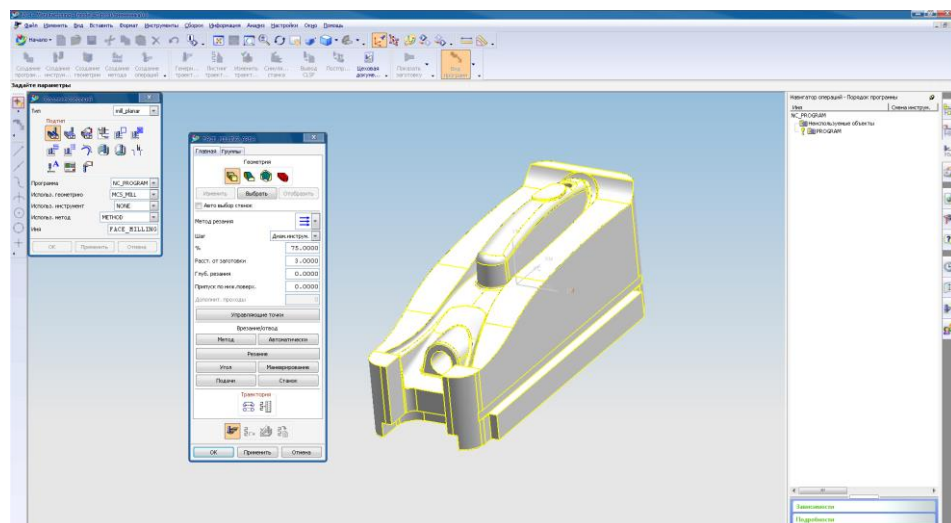


Рисунок 3.12 – Вікно вибору операцій та стратегій обробки деталі

В параметрах обраної чорнової пошарової операції вибираємо інструмент. Ним буде циліндрична кінцева фреза діаметром 20мм. Проводимо вибір відповідної оправки і вильоту інструменту для розрахунку можливого зіткнення. Визначаємо режими різання відповідно до вибраної фрези. Найбільш прийнятним вибором є інструмент з механічно-змінними

пластинами. Характеристики обраного інструменту зображені на рисунку 3.13 у вікні вкладки вибору інструменту.

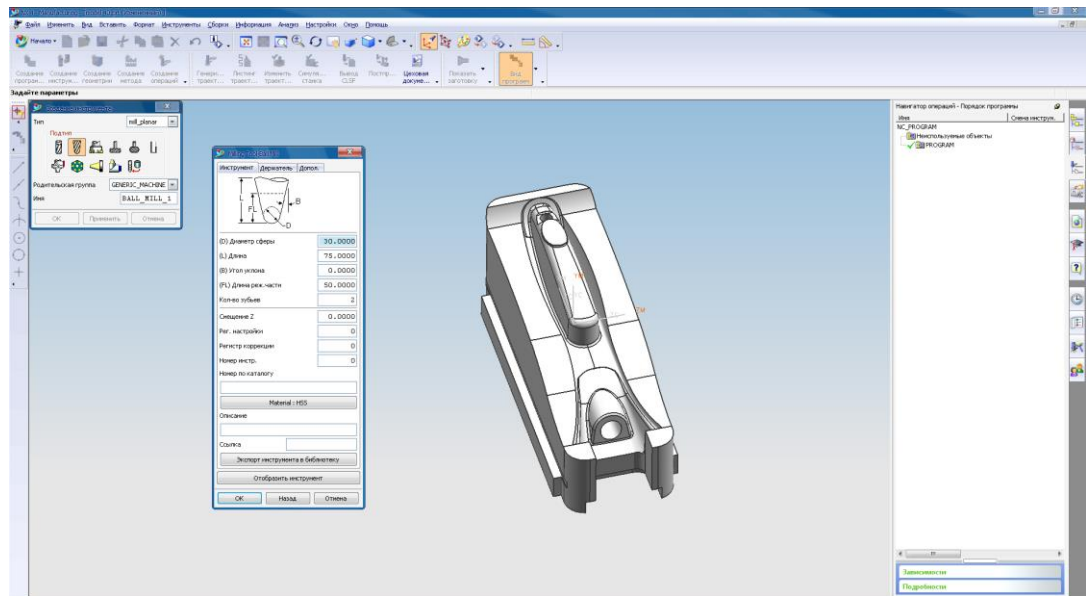


Рисунок 3.13 – Вікно вкладки вибору інструменту

На вкладці обрання параметрів чорнової пошарової операції обробки, що представлена на рисунку 5.9, задаємо радіальний припуск після чорнової обробки що дорівнює 0,3мм і кут відступу в 3 градуси.

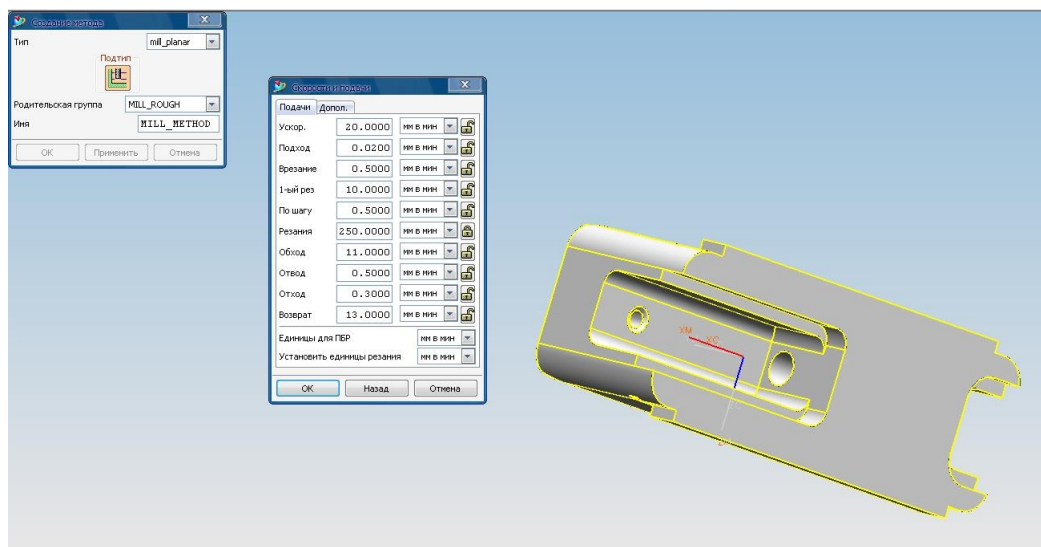


Рисунок 3.14 – Вікно вкладки параметрів операцій

Після визначення всіх параметрів запускаємо розрахунок траєкторії. Правильно розрахована траєкторія без співударянь і зарізань позначається зеленою галочкою, траєкторія з помилками червоним знаком оклику. У

робочій області відображення приводиться траєкторія та оброблена за цією траєкторією заготовка. Аналогічно проводимо розрахунок чистової пошарової операції.

Параметри встановлюємо аналогічні попередній операції та розраховуємо траєкторію.

Із модуля «Обработка» здійснюється доступ до постпроцесора для генерації керуючих програм. Файли налаштування на різні системи ЧПУ формуються інваріантним постпроцесором. Режим «Листинг траектории», призначений для емуляції процесу обробки, спроектованого в модулі «Обработка». Окрім реалістичного відображення процесу обробки проводиться контроль на зіткнення інструменту і оправки з деталлю та оснащенням, а також контроль на перевищення допустимих значень технологічних параметрів. В модулі «Обработка» проводимо налаштування точності візуалізації та запускаємо на виконання процес обробки. Реалістична візуалізація процесу обробки дозволяє оцінити якість її обробки, технологічність, а також виявити можливі недоліки. [8]

### 3.3.3 Тестування програмного продукту

Після завершення підготовчих операцій виконується формування **НС-файлу керуючої програми**. Система також забезпечує автоматичне створення **розрахунково-технологічної карти (РТК)**. РТК є технологічним документом, який містить сукупність рішень, прийнятих на попередніх етапах технологічної підготовки виробництва, та відображає завершений проект обробки деталі на верстаті з ЧПК у вигляді графічного представлення траєкторій руху інструмента з необхідними поясненнями і розрахунковими параметрами [10].

На підставі даних РТК програміст може розробити керуючу програму для автоматизованої обробки деталі без додаткового звернення до креслень або інших конструкторських документів. Засобами програмного комплексу розрахунково-технологічна карта автоматично формується у форматі HTML.

Параметри її генерації задаються у вікні системних налаштувань на вкладці «РТК».

Сформований документ містить такі основні розділи:

- ескізи деталі та траєкторій руху інструмента із зазначенням габаритних розмірів і прив'язкою до нульової точки;
- таблицю технологічних операцій і переходів із нормами часу, необхідними для визначення трудомісткості обробки (до таблиці включаються лише виконані операції);
- перелік ріжучого інструменту, що використовується під час обробки;
- таблицю координат отворів для попереднього засвердлювання, опускання інструмента та виконання контрольних операцій.

Після налаштування параметрів генерації РТК документ зберігається для подальшої передачі налагоджувальнику верстата з числовим програмним керуванням.

Генерація керуючої програми здійснюється за допомогою постпроцесора шляхом перетворення послідовності технологічних команд і розрахованих траєкторій руху інструмента у формат, який підтримується обраною системою ЧПК. Вибір необхідної системи керування виконується шляхом завантаження відповідного файлу налаштувань постпроцесора з розширенням \*.spp.

Сформована керуюча програма зберігається у текстовому файлі та може бути передана на верстат будь-яким способом, прийнятим на підприємстві. Це може бути локальна мережа, зовнішній носій інформації або прямий зв'язок між комп'ютером і системою ЧПК.

Конкретна система ЧПК визначається обраним файлом налаштувань постпроцесора. У відповідних полях інтерфейсу відображаються назва системи керування та модель верстата, для яких призначений даний постпроцесор. Каталог пошуку файлів налаштувань задається в параметрах системи [22].

Після запуску процедури генерації програми система автоматично формує керуючу програму для вибраної системи ЧПК. Результати генерації одночасно відображаються у вікні перегляду керуючої програми та зберігаються у вихідному файлі для подальшого використання у виробничому процесі.

Результат виведення розробленої керуючої програми у вікно програми Unigraphics зображений на рисунку 3.14.

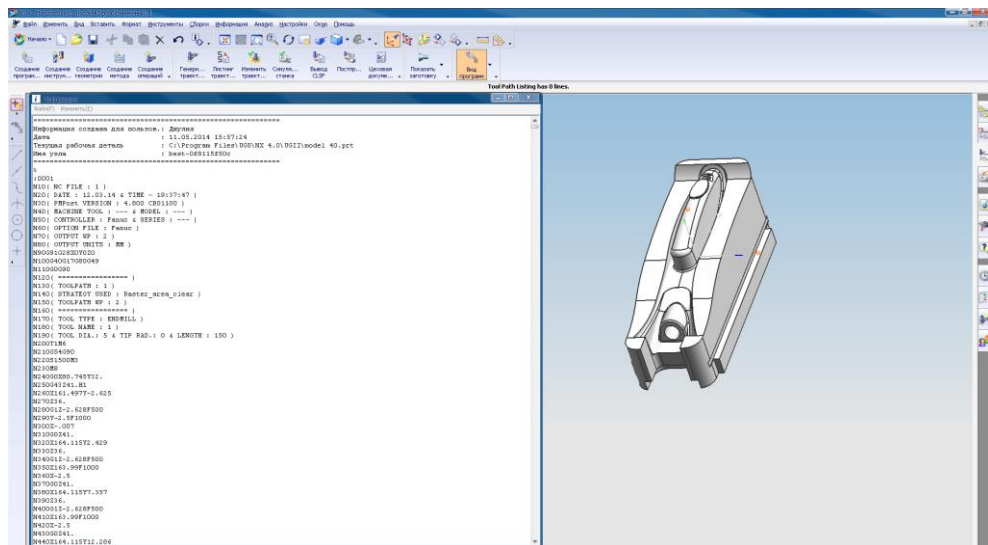


Рисунок 3.14 – Результат виведення розробленої керуючої програми

Якщо текст керуючої програми не підтримується стійкою, потрібно розробити або редагувати файл, що відповідає за формування керуючої програми за допомогою генератора постпроцесора. Файл налаштування постпроцесора на конкретну систему ЧПК використовується виконуючою системою для формування відповідної керуючої програми.

Таким чином згідно завданню від підприємства в програмному продукті Unigraphics була розроблена керуюча програма виготовлення ливарної форми корпусу компресора. Текст керуючої програми наведений в додатках.

Висновки до третього розділу

Використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПУ) для обробки деталей нині залишається надзвичайно актуальним. Сучасні засоби розробки керуючих програм стають дедалі потужнішими й дозволяють автоматизувати значну частину проектних операцій, проте ключові інженерні рішення й надалі приймає проектувальник.

У цьому розділі дипломного проекту поставлено завдання розробити технологічний процес виготовлення ливарної форми деталі **«Корпус компресора»** та створити відповідну керуючу програму для верстата з ЧПУ. Завдання виконано повністю: для розробки використовувалися САМ-модулі програмного комплексу **Unigraphics**, а перевірка розробленої керуючої програми здійснена засобами програмно-методичного комплексу **Unigraphics**.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз умов праці інженера - програміста та небезпечні чинники

На сьогоднішній день комп'ютерна техніка широко застосовується у всіх областях діяльності людини. При роботі з комп'ютером людина піддається впливу ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів: електромагнітних полів (діапазон радіочастот: ВЧ , УВЧ і НВЧ), інфрачервоного і іонізуючого випромінювань , шуму і вібрації , статичної електрики тощо.

Робота з комп'ютером характеризується значною розумовою напругою і нервово-емоційним навантаженням операторів, високою напруженістю зорової роботи і достатньо великим навантаженням на м'язи рук при роботі з клавіатурою ЕОМ. Велике значення має раціональна конструкція і розташування елементів робочого місця, що важливе для підтримки оптимальної робочої пози людини-оператора [33].

У процесі роботи з комп'ютером необхідно дотримувати правильний режим праці та відпочинку. В іншому випадку у персоналу наголошуються значна напруга зорового апарату з появою скарг на незадоволеність роботою, головні болі , дратівливість , порушення сну , втому і хворобливі відчуття в очах, в поясниці , в області шиї і руках.

Нормальна і безпечна робота інженера-програміста за екраном дисплея в чому залежить від того, якою мірою умови його роботи відповідають оптимальним. При цьому, під умовами роботи включають комплекс фізичних, хімічних, біологічних і психофізичних чинників, встановлених стандартами з безпеки праці.

Більш детально усі чинники представлені на таблиці 5.1, де вказані не тільки їх назви , а й ще джерела виникнення.

Таблиця 5.1 - Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників

| №  | Назва чинника                               | Джерело виникнення                                                                                                   |
|----|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Пожежонебезпека приміщення                  | Наявність горючих матеріалів і можливих джерел запалювання                                                           |
| 2  | Недостатня освітленість                     | Стан системи природного та штучного освітлення                                                                       |
| 3  | Підвищений рівень шуму                      | Зовнішній шум , вентиляція                                                                                           |
| 4  | Електромагнітні випромінювання              | ЕПТ-монітора                                                                                                         |
| 5  | Підвищений потенціал електростатичного поля | ЕПТ-монітора , діелектричні поверхні                                                                                 |
| 6  | Іонізація повітря робочої зони              | Рентгенівські випромінювання монітора , статична електрика                                                           |
| 7  | Електричний струм                           | Живить електрична мережа                                                                                             |
| 8  | Несприятливий мікроклімат приміщення        | Незадовільний стан системи вентиляції та опалення                                                                    |
| 9  | Пряма і відбита блискість                   | Наявність джерел природного та штучного освітлення і блискучих поверхонь                                             |
| 10 | Психофізіологічні навантаження              | Монотонність праці , розумове напруження , перенапруження зорових аналізаторів , статичність і незручність пози тощо |

Робочі місця з комп'ютерною технікою активно впроваджуються в усі сфери господарської діяльності в нашій країні. Відповідно, все більша кількість працівників використовують ПЕОМ у своїй повсякденній діяльності. Разом з тим ні інструкції з експлуатації, ні супровідна комп'ютери



технічна документація не містять у даний час практично ніякої інформації з питань зниження ризиків для здоров'я користувачів ПЕОМ [32].

#### 4.2 Ергономічні вимоги до робочого місця

Проектування робочих місць, забезпечених комп'ютерами, відноситься до числа найважливіших проблем ергономічного проектування в області обчислювальної техніки.

Робоче місце і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця програміста повинні бути дотримані наступні основні умови [31]:

- оптимальне розміщення устаткування, що до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;
- необхідно природне і штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення.
- достатня вентиляція робочого місця;

Ергономічними аспектами проектування комп'ютеризованих робочих місць є: висота робочої поверхні, розміри простору для ніг, вимоги до розташування документів на робочому місці (наявність і розміри підставки для документів, можливість різного розміщення документів, відстань від очей користувача до екрану, документа, клавіатури і т.д.), характеристики робочого крісла, вимоги до поверхні робочого столу, можливість регулювання робочого місця і його елементів.

Головними елементами робочого місця програміста є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення програміста. Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів,

засобів праці і документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташовано в зоні легкої досяжності робочого простору.

Моторне поле - простір робочого місця, в якому можуть здійснюватися рухові дії людини. Максимальна зона досяжності рук - це частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, що описуються максимально витягнутими руками при русі їх у плечовому суглобі.

Оптимальна зона - частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними передпліччями при русі в ліктьових суглобах з опорою в точці ліктя і з відносно нерухомим плечем.

Характеристики оптимального робочого місця:

- висота робочої поверхні столу 750 мм;
- висота простору для ніг 650 мм;
- висота сидіння над рівнем підлоги 450 мм;
- поверхня сидіння м'яка з закругленим переднім краєм ;
- передбачена можливість розміщення документів праворуч і ліворуч ;
- відстань від ока до екрана 700 мм;
- відстань від ока до клавіатури 400 мм;
- відстань від ока до документів 500 мм;
- можливе регулювання екрана по висоті, по нахилу, у лівому і в правому напрямках;

Створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць на виробництві має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення його привабливості, позитивно впливає на продуктивність праці [31].

Забарвлення приміщень і меблів повино сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття, гарного настрою. У службових приміщеннях, у яких виконується одноманітна розумова робота, що вимагає значної нервової напруги і великого зосередження, забарвлення повинна бути спокійних тонів - малонасичені відтінки холодного зеленого або блакитного кольорів.

#### 4.3 Розрахунки на освітленість та вентиляцію

При розробці оптимальних умов праці програміста необхідно враховувати освітленість, шум і мікроклімат.

Розрахунок освітленості.

Рациональне освітлення робочого місця є одним з найважливіших факторів, що впливають на ефективність трудової діяльності людини, що попереджають травматизм і професійні захворювання. Правильно організоване освітлення створює сприятливі умови праці, підвищує працездатність і продуктивність праці. Освітлення на робочому місці програміста повинно бути таким, щоб працівник міг без напруги зору виконувати свою роботу. Стомлюваність органів зору залежить від ряду причин [30]:

- недостатність освітленості;
- надмірна освітленість;
- неправильний напрямок світла.

Недостатність освітлення приводить до напруги зору, послаблює увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає осліплення, роздратування і різь в очах. Неправильний напрямок світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Всі ці причини можуть призвести до нещасного випадку або профзахворювань, тому такий важливий правильний розрахунок освітленості.

Розрахунок освітленості робочого місця зводиться до вибору системи освітлення, визначенню необхідного числа світильників, їхнього типу і розміщення. Процес роботи програміста в таких умовах, коли природне освітлення недостатньо або відсутній. Виходячи з цього, розрахуємо параметри штучного освітлення.

Штучне освітлення виконується за допомогою електричних джерел світла двох видів: ламп розжарювання і люмінесцентних ламп. Будемо використовувати люмінесцентні лампи, які в порівнянні з лампами розжарювання мають суттєві переваги:

- по спектрального складу світла вони близькі до денного, природного освітлення;
- володіють більш високим ККД (у 1.5-2 рази вище, ніж ККД ламп розжарювання);
- мають підвищену світловіддачу (у 3-4 рази вище, ніж у ламп розжарювання);
- більш тривалий термін служби.

Розрахунок освітлення проводиться для кімнати площею 36 м<sup>2</sup>, ширина якої 4.9 м, висота - 4.2 м. Скористаємося методом світлового потоку. Для визначення кількості світильників визначимо світловий потік, падаючий на поверхню за формулою [30]:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n}, \quad (4.1)$$

де F - розраховується світловий потік, Лм

E - нормована мінімальна освітленість, Лк ( визначається за таблицею ).

Роботу програміста, відповідно до цієї таблиці, можна віднести до розряду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде E = 300 Лк при газорозрядних лампах;

S - площа освітлюваного приміщення (у нашому випадку S = 36 м<sup>2</sup> );

Z - відношення середньої освітленості до мінімальної ( звичайно приймається рівним 1.1-1.2, приймаємо Z = 1.1);

K - коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників у процесі експлуатації (його значення визначається за таблицею коефіцієнтів запасу для різних приміщень і в нашому випадку K = 1.5);

n - коефіцієнт використання, (виражається відношенням світлового потоку, що падає на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і

обчислюється в частках одиниці; залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, фарбування стін і стелі, які характеризуються коефіцієнтами відображення від стін ( $R_c$ ) і стелі ( $R_p$ )), значення коефіцієнтів  $R_c$  і  $R_p$  визначимо по таблиці залежностей коефіцієнтів відображення від характеру поверхні:  $R_c = 30\%$ ,  $R_p = 50\%$ . Значення  $n$  визначимо по таблиці коефіцієнтів використання різних світильників. Для цього обчислимо індекс приміщення по формулі [30]:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A+B)}, \quad (4.2)$$

де  $S$  - площа приміщення,  $S = 36 \text{ м}^2$ ;

$h$  - розрахункова висота підвісу,  $h = 3.39 \text{ м}$ ;

$A$  - ширина приміщення,  $A = 4.9 \text{ м}$ ;

$B$  - довжина приміщення,  $B = 7.35 \text{ м}$ .

Підставивши значення отримаємо:

Знаючи індекс приміщення  $I$ ,  $R_c$  і  $R_p$ , по таблиці знаходимо  $n = 0.28$ .

Підставами всі значення в формулу для визначення світлового потоку  $F$ :

$$F = \frac{300 \cdot 1.5 \cdot 36 \cdot 1.1}{0.28} = 63642,857 \text{ лм}$$

Для освітлення вибираємо люмінесцентні лампи типу ЛБ40 - 1, світловий потік яких  $F_{\text{л}} = 4320 \text{ лм}$ .

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}, \quad (4.3)$$

де  $N$  - обумовлений число ламп;

$F$  - світловий потік,  $F = 63642,857 \text{ лм}$ ;

$F_{\text{л}}$  - світловий потік лампи,  $F_{\text{л}} = 4320 \text{ лм}$ .

$$N = \frac{63642,857}{4320} = 14 \text{ шт}$$

При виборі освітлювальних приладів використовуємо світильники типу ОД.

Кожен світильник комплектується двома лампами.

Розрахунок вентиляції.

Системи опалення та системи кондиціонування слід встановлювати так, щоб ні тепле, ні холодне повітря не направлявся на людей. На виробництві рекомендується створювати динамічний клімат з певними перепадами показників. Температура повітря в поверхні підлоги і на рівні голови не повинна відрізнятися більш, ніж на 5 градусів. У виробничих приміщеннях крім природної вентиляції передбачають приточно - витяжну вентиляцію. Основним параметром, що визначає характеристики вентиляційної системи, є кратність обміну, тобто скільки разів за годину зміниться повітря в приміщенні.

Розрахунок для приміщення:

$V_{\text{вент}}$  - об'єм повітря, необхідний для обміну;

$V_{\text{пом}}$  - об'єм робочого приміщення.

Для розрахунку приймемо такі розміри робочого приміщення:

- довжина  $B = 7.35$  м;

- ширина  $A = 4.9$  м;

- висота  $H = 4.2$  м.

Відповідно обсяг приміщення дорівнює [29]:

$$V_{\text{приміщення}} = A * B * H = 151,263 \text{ м}^3$$

Необхідний для обміну об'єм повітря  $V_{\text{вент}}$  визначимо виходячи з рівняння теплового балансу:

$$V_{\text{вент}} * C * (t_{\text{мин}} - t_{\text{прихід}}) * Y = 3600 * Q_{\text{надл}}, \quad (4.4)$$

де  $Q_{\text{надл}}$  - надлишкова теплота (Вт);

$C = 1000$  - питома теплопровідність повітря (Дж / КГК);

$Y = 1.2$  - щільність повітря (мг / см).

Температура минає повітря визначається за формулою:

$$t_{\text{мин}} = t_{\text{р.м.}} + (H - 2) t, \quad (4.5)$$

де  $t = 1-5$  градусів - перевищення  $t$  на 1м висоти приміщення;

$t_{\text{р.м.}} = 25$  градусів - температура на робочому місці;

$H = 4.2$  м - висота приміщення;

$t_{\text{прихід}} = 18$  градусів.

$$t_{\text{мин}} = 25 + (4.2 - 2) 2 = 29.4$$

$$Q_{\text{надл}} = Q_{\text{надл.1}} + Q_{\text{надл.2}} + Q_{\text{надл.3}}, \quad (4.6)$$

де  $Q_{\text{надл}}$  - надлишок тепла від електроустаткування і освітлення.

$$Q_{\text{надл.1}} = E * p, \quad (4.7)$$

де  $E$  - коефіцієнт втрат електроенергії на тепловідвід ( $E = 0.55$  для освітлення);

$p$  – потужність.

$$p = 40 \text{ Вт} * 15 = 600 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{надл.1}} = 0.55 * 600 = 330 \text{ Вт}$$

$Q_{\text{надл.2}}$  - теплонадходження від сонячної радіації,

$$Q_{\text{надл.2}} = m * S * k * Q_{\text{с}}, \quad (4.8)$$

де  $m$  - число вікон, прийmemo  $m = 4$ ;

$S$  - площа вікна,  $S = 2.3 * 2 = 4.6 \text{ м}^2$ ;

$k$  - коефіцієнт, що враховує скління. Для подвійного скління  $k = 0.6$ ;

$Q_{\text{с}} = 127 \text{ Вт / м}^2$  - теплонадходження від вікон.

$$Q_{\text{надл.2}} = 4.6 * 4 * 0.6 * 127 = 1402 \text{ Вт};$$

$Q_{\text{надл.3}}$  - тепловиділення людей;

$$Q_{\text{надл.3}} = n * q, \quad (4.9)$$

де  $q = 80 \text{ Вт / чел.}$ ;

$N$  - число людей ( $n = 15$ );

$$Q_{\text{надл.3}} = 15 * 80 = 1200 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{надл}} = 330 + 1402 + 1200 = 2932 \text{ Вт};$$

З рівняння теплового балансу слід:

$$V_{\text{вент}} = \frac{3600 * 2932}{1.2 * 1000 (29.4 - 18)} = 771,5 \text{ м}^3$$

Оптимальним варіантом є кондиціонування повітря, тобто автоматична підтримка його стану в приміщенні відповідно до певних вимог (задана температура, вологість, рухливість повітря) незалежно від зміни стану зовнішнього повітря й умов у самому приміщенні [29].

#### 4.4 Розробка Карти умов праці на робочому місці

Вивчення та розв'язання проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових та безпечних умов, в яких протікає праця людини - одна з найбільш важливих завдань у розробці нових технологій і систем виробництва.

Вивчення і виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів та вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні і сприятливі умови для праці людини [4].

Комфортні і безпечні умови праці - один з основних факторів, що впливають на продуктивність співробітників підприємства. Робота співробітників підприємства безпосередньо пов'язана з комп'ютером, а відповідно з додатковим шкідливим впливом.

Головний показник, на основі якого можна визначати заходи з відновлення вихідного до робочого стану є категорія важкості праці. На підставі короткої характеристики технологічного процесу або виду трудової діяльності складається карта умов праці, яка дозволяє визначити категорію важкості праці.

Складемо карту умов праці інженера - програміста, яка представлена на листі графічної частини, враховуючи специфічні чинники та особливості, які стосуються нашого підприємства.

З'ясуємо за допомогою карти умов праці, що робота інженера - програміста в нашому підприємстві визначається III категорією важкості праці, а це означає, що необхідно передбачити спеціальні заходи з відновлення вихідного до робочого стану: це відпочинок і перерви після роботи раціоналізація режиму праці та відпочинку, оздоровлення умов праці.

З карти видно, що основне навантаження інженера - програміста - психологічне. Це напруга пам'яті, уваги, монотонність роботи. З фізичних навантажень найбільшим показником категорії тяжкості праці є напруга зору (адже інженер - програміст увесь свій робочий час проводить перед монітором). Решта фізичних показників, такі як рівень шуму або фізичне навантаження, невеликі і не виходять за межі допустимих норм.



## Висновки до четвертого розділу

Темпи зростання числа користувачів ПЕОМ неухильно зростають. Одночасно з цим стає все більш очевидною можлива небезпека для здоров'я працюючих на ПЕОМ.

Під час роботи з комп'ютером найбільшому ризику піддаються зорова, опорно-рухова, нервово-психічна системи і репродуктивна функція у жінок.

Крім того, відеодисплейний термінал порушує рівновагу між позитивно і негативно зарядженими іонами в повітрі.

При роботі з комп'ютером шкідливими і небезпечними чинниками є: електростатичні поля; електромагнітне випромінювання; наявність потужних іонізуючих випромінювань; локальне стомлення, загальна втома; стомлюваність очей; небезпека ураження електричним струмом; пожежонебезпека.

В аварійних ситуаціях комп'ютер повинен негайно відключений від мережі: при відключенні електричної енергії; при пожежі; при появі запаху диму.

Найбільш жорсткі вимоги в світі до комп'ютерної техніки пред'являють шведи, які провели якнайповніші дослідження впливу всіх видів випромінювань на здоров'я людини. Країни Європейського союзу при створенні єдиного стандарту ЄС орієнтувалися саме на шведські норми ТСО 92.

## РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ВПРОВА-ДЖЕНІ ПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ ПРЕКТУВАННЯ

### 5.1 Розрахунок економічної ефективності

Трудомісткість обробки за існуючою технологією надає підприємство. Відомо, що норма часу при існуючому ТП становить 370 хв. Собівартість механічної обробки становить 193 грн.

Пропонуємо порівняти існуючий та пропонуванний технологічний процес виготовлення деталі та виявити більш економічний при виготовленні однієї деталі.

Розрахуємо норми часу та техніко-економічні показники пропонуваної деталі, для того щоб порівняти її технологічні процеси виготовлення.

В основі всіх робіт за розрахунком продуктивності праці лежить технічне нормування – визначення норми часу, тобто часу, в перебігу якого робітник повинен виконати задану йому роботу.

Технічною нормою штучного часу називається час, встановлений для виконання даної операції при визначених організаційно-технічних умовах і найбільш ефективному використанні всіх засобів виробництва з врахуванням передового виробничого досвіду. Основним методом визначення технічної норми штучного часу є розрахунок, який базується на аналізі операції по складових її елементах і визначенні тривалості окремих елементів, і операції в цілому. Аналітично норму штучного часу (хв) можна представити в наступному вигляді [28]:

$$T_{шт} = T_o + T_{доп} + T_{дод}, \text{ хв.} \quad (5.1)$$

де:  $T_o$  – сумарне основне (машинне) час на всю операцію;

$T_{доп}$  – допоміжний час, зв'язаний з установкою і закріпленням деталі, а також з переходом;

$T_{\text{дод}}$  – додатковий час.

Основними складовими штучного часу є основний і допоміжний час.

Сумарний основний час визначається як сума основного машинного часу усіх переходів та операції.

Допоміжний час  $T_{\text{доп}}$  - це час установлення та знімання деталі, пуск і зупинку верстату, встановлення та знімання, підведення та відведення різця, вимірювання деталі, переключення швидкості й подачі, вибору перерізу стружки тощо.

$$T_{\text{доп}} = \sum_{i=1}^i t_{\text{уст}} + \sum_{i=1}^i t_{\text{пер}}, \text{ хв.} \quad (5.2)$$

де  $t_{\text{уст}}$  - час, який витрачається на установку деталі, хв.;

$t_{\text{пер}}$  – допоміжний час на природні потреби робітника, хв.

Додатковий час - це час на організаційно-технічне обслуговування, відпочинок та природні потреби [28].

$$T_{\text{дод}} = \frac{\alpha}{100} \cdot (T_o + T_{\text{доп}}), \text{ хв} \quad (5.3)$$

де:  $\alpha$  – відсотковий коефіцієнт на відпочинок та природні потреби і дорівнює 7-8%.

$$T_{\text{шт}} = 13,66 + 4,56 + 8,18 = 26,4 \text{ хв.}$$

Розрахуємо річну економію норми часу:

$$T_{\text{шт}}^e = (370 - 26,4) \times 60 = 17139,2 \text{ хв} = 206 \text{ год}.$$

## 5.2 Техніко-економічні показники

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$\eta_m = \frac{\sigma_d}{\sigma_z}, \quad (5.4)$$

де:  $\sigma_d$ ,  $\sigma_z$  - маса деталі і заготовки відповідно.

Оскільки форма та технологія виготовлення заготовки не змінилася, то коефіцієнт використання матеріалу залишився незмінним.

Коефіцієнт використання верстата по потужності [28]:

$$\eta = \frac{N_e}{N_{дв} \cdot \eta_{вер}}, \quad (5.5)$$

де  $N_e$  – потужність, споживана на різання для найбільш завантаженого переходу, кВт;

$N_{дв}$  - потужність електродвигуна верстата, кВт;

$\eta_{вер}$  - ККД верстата,  $\eta_{вер} = 0,8 - 0,9$ .

$$\eta = \frac{3,12}{13,6 \cdot 0,8} = 0,286$$

Коефіцієнт використання верстата за часом

$$\eta_{ч} = \sum \frac{T_o}{T_{шк}}, \quad (5.6)$$

$$\eta_{ч} = \frac{13,66}{26,4} = 0,517$$

Собівартість механічної обробки деталі

$$C = S \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right), \quad (5.7)$$

де  $H$  – відсоток накладних витрат;

$H = 1200 \%$ ;

$S$  - заробітна плата робітника.

$$S = S_i \cdot K \cdot \frac{T_{шт}}{60}, \text{ грн} \quad (5.8)$$

де  $S_i$  - годинна тарифна ставка робітника 1 розряду;

$$S_i = 20 \text{ грн.}$$

$K$  – тарифний коефіцієнт (вибирається по таблиці 5.1);

$T_{\text{шт.к.}}$  – штучно-калькуляційний час.

$$S = 20 * 1.33 * (26.4/60) = 11.33 \text{ грн}$$

$$C = 11,33 * (1 + (1200/100)) = 160,46 \text{ грн}$$

Таблиця 5.1 - Діючі тарифні коефіцієнти для верстатників з погодинною оплатою

|                        |     |      |      |      |     |      |
|------------------------|-----|------|------|------|-----|------|
| Розряд<br>робітника    | 1   | 2    | 3    | 4    | 5   | 6    |
| Тарифний<br>коефіцієнт | 1,0 | 1,09 | 1,21 | 1,33 | 1,5 | 1,75 |

Розрахуємо річний економічний ефект [28]:

$$E_{\text{річ}} = (C_1 - C_2) \cdot A_2, \quad (5.9)$$

де:  $C_1, C_2$  – виробнича собівартість відповідно до і після впровадження заходів по зниженню собівартості.

$A_2$  – річна програма випуску продукції, складає 125 шт.

$$E_{\text{річ.}} = (193,6 - 160,46) * 125 = 9500 \text{ грн}$$

## Висновки до п'ятого розділу

В данному розділі проведений розрахунок економічної частини дипломного проекту. В результаті проведених розрахунків було порівняно існуючий та пропонуванний технологічний процес виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора 164.210.04» та виявлено, що пропонуванний технологічний процес більш економічний, про що свідчить річний економічний ефект, який склав 1091,04 грн.

Трудомісткість обробки за існуючою технологією надало приватне підприємство ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів». Норма часу при існуючому ТП становить 370 хв.

В модернізованому технологічному процесі ливарної форми деталі «Корпус компресора 164.210.04» виготовляється за 3 операції і за тратою штучно-калькуляційного часу, який складає 26,4 хв.

Коефіцієнт використання верстату по потужності склав 0,286 та за часом – 0,517. Собівартість механічної обробки ливарної форми деталі «Корпус компресора 164.210.04» в результаті задіяння верстатів з ЧПК складає 160,46 грн. На підприємстві ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів» собівартість механічної обробки становить 193,6 грн.

В результаті проведених розрахунків річна економія нормо часу склала 206 год. В свою чергу, річний економічний ефект від цього складає 9500 грн.

Робота, яка була проведена по розробці технологічного процесу виробництва ливарної форми деталі «Корпус компресора 164.210.04» підприємства ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів» з використанням автоматизованих систем проектування дала очікуваний економічний ефект. Про що свідчить, зменшення нормо часу на виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора 164.210.04» в рік та річний економічний ефект від цієї розробки.

## ВИСНОВКИ

Деталь, представлена для дипломного проектування – ливарна форма «Корпус компресора».

Корпус компресора служить для кріплення напрямних і спрямляючий апаратів (лопаток) і є несучим елементом ГТУ. В результаті аналізу напружено-деформованого стану ливарної форми деталі «Корпус компресора» в програмному комплексі для проведення інженерних розрахунків Unigraphics NX 4 були виявлені деякі недоліки конструкції деталі.

Подальші дослідження показали правильність цього розв'язку, коефіцієнт запасу міцності деталі збільшився з 1,03 до 3, що робить деталь більш міцною й дозволяє впирається динамічним навантаженням.

При розробці нового технологічного процесу враховувалися негативні сторони наявного технологічного процесу. Для цього пропонується використання новішого устаткування – верстатів з ЧПК.

Новий технологічний процес був розроблений з використанням програми Вертикаль-Технологія 1.0 фірми Аскон.

Переваги нового ТП:

- зменшено час на виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора»;
- обробка деталі з використанням верстату з ЧПУ;
- скорочено час на обробку і знижена собівартість виготовлення деталі;

На основі розробленого нового технологічного процесу розроблено дві керуючі програми у програмно-методичному комплексі Unigraphics NX 4.

Проведений розрахунок економічної частини дипломного проекту. В результаті проведених розрахунків були порівняні існуючий та новий технологічний процеси виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора».

Розроблений технологічний процес є більш економічним в порівнянні з існуючим.

Про це свідчить річний економічний ефект, який склав 9500 грн. В результаті проведених розрахунків - річна економія нормо часу склала 206 год.

Розрахунок економічної частини диплому мав очікуваний ефект.

Про це свідчать факти зменшення нормо часу на виготовлення ливарної форми деталі «Корпус компресора» в рік та річний економічний ефект від цієї розробки.

Даний дипломний проект пройшов апробацію та рекомендований до впровадження в умовах підприємства.

Розроблений комплект конструкторської документації задовольняє всім показникам якості: ефективність, безпечність, ергономічність та економічність.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. MasterCAM Довідник користувача / Київ.: Вища школа, 2015 - 143с.
2. Гжиров Р.И., Серебrenицький П.П. Програмування обробки на верстатах з ЧПУ - Харків. «Технокнига»: 2020. - 590 с.
3. Гольдштейн Г.Я. Стратегічний іноваційний менеджмент. Навч. посібник - Одеса: Вид-во ОПІ, 2014.- 340с.
4. ДСТУ 12.1.005-2016
5. ДСТУ 34.601-2021 «Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Стадії створення»
6. ДСТУ 34.602 - 2021 «Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Технічне завдання на створення автоматизованої системи»
7. ДСанПіН 3.3.2.007-2021. «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин»
8. ДСН 3.3.6.042-2021
9. Закон про затвердження «Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» (від 17.06.2019)
10. Закон «Про охорону праці» (від 14.10.2019)
11. Кунву Ли Основи САПР CAD/CAM/CAE. Київ: «Машинобудування», 2014 – 305 с.
12. Кині Р.Л., Райфа Х. Прийняття рішень при багатьох критеріях - Дніпро.: Радіо і зв'язок, 2022.- 560 с.
13. Норенков І.П. Введення в автоматизоване проектування технічних пристроїв та систем. - К.: Вища школа, 2000. – 260 с.
14. Оліфер В.Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи.- К: Вища школа 2001. – 670 с.
15. СН 4088-2000
16. Санітарно-гігієнічні норми № 2152-2019

- 17.Сааті Т., Кернс К Аналітичне планування. Організація систем. - Вінниця.: «Книжкова палата», 2022. - 224с.
18. Федотова Д.Е., Семенов Ю.Д., Чижик К.Н. – CASE-технології: Практикум. - Харків.: Гаряча лінія-Телеком 2005.-160 с.
- 19.Глолватенко Г.В. Організація безпечного доступу до інформаційних ресурсів під час вивчення комп'ютерних дисциплін студентами вищих. / Матеріали XIII Всеукр. наук.- техн. конф., 05 травня 2026 р. Запоріжжя: ТДАТУ, 2026. С. 129-130
20. [www.memz.com.ua](http://www.memz.com.ua)
21. [www.calscenter.com](http://www.calscenter.com)
22. [www.osp.ua](http://www.osp.ua)
23. [www.intersed.kiev.ua](http://www.intersed.kiev.ua)
24. [www.sapr.ua](http://www.sapr.ua)
25. [www.sapr2k.ua](http://www.sapr2k.ua)
26. [www.tflex.ua](http://www.tflex.ua)
27. [www.mastercam.ua](http://www.mastercam.ua)
28. [www.solidworks.ua](http://www.solidworks.ua)
29. [www.intuit.ua](http://www.intuit.ua)
30. [www.foxtrot.com.ua](http://www.foxtrot.com.ua)
31. [www.computer-table.ua](http://www.computer-table.ua)
32. [www.comfy.ua](http://www.comfy.ua)
33. [www.imp.lg.com.ua](http://www.imp.lg.com.ua)
34. [www.xerox.ua](http://www.xerox.ua)
35. [www.ibase.ua](http://www.ibase.ua)
36. [www.microsoft.ua](http://www.microsoft.ua)
37. [www.kaspersky.ua](http://www.kaspersky.ua)
38. [www.delcam.ua](http://www.delcam.ua)

## ДОДАТКИ

ДОДАТОК А  
Фрагмент коду УП

```
%  
:0001  
N10( NC FILE : 1 )  
N20( DATE : 12.03.14 & TIME - 19:37:47 )  
N30( PMPost VERSION : 4.800 CB01100 )  
N40( MACHINE TOOL : --- & MODEL : --- )  
N50( CONTROLLER : Fanuc & SERIES : --- )  
N60( OPTION FILE : Fanuc )  
N70( OUTPUT WP : 2 )  
N80( OUTPUT UNITS : MM )  
N90G91G28X0Y0Z0  
N100G40G17G80G49  
N110G0G90  
N120( ===== )  
N130( TOOLPATH : 1 )  
N140( STRATEGY USED : Raster_area_clear )  
N150( TOOLPATH WP : 2 )  
N160( ===== )  
N170( TOOL TYPE : ENDMILL )  
N180( TOOL NAME : 1 )  
N190( TOOL DIA.: 5 & TIP RAD.: 0 & LENGTH : 150 )  
N200T1M6  
N210G54G90  
N220S1500M3  
N230M8  
N240G0X80.745Y32.  
N250G43Z41.H1  
N260X161.497Y-2.625  
N270Z36.  
N280G1Z-2.628F500  
N290Y-2.5F1000  
N300X-.007  
N310G0Z41.  
N320X164.115Y2.429  
N330Z36.  
N340G1Z-2.628F500  
N350X163.99F1000  
N360X-2.5  
N370G0Z41.  
N380X164.115Y7.357  
N390Z36.  
N400G1Z-2.628F500  
N410X163.99F1000  
N420X-2.5  
N430G0Z41.  
N440X164.115Y12.286  
N450Z36.  
N460G1Z-2.628F500  
N470X163.99F1000
```

N480X-2.5  
N490G0Z41.  
N500X164.115Y17.214  
N510Z36.  
N520G1Z-2.628F500  
N530X163.99F1000  
N540X-2.5  
N550G0Z41.  
N560X164.115Y22.143  
N570Z36.  
N580G1Z-2.628F500  
N590X163.99F1000  
N600X-2.5  
N610G0Z41.  
N620X164.115Y27.071  
N630Z36.  
N640G1Z-2.628F500  
N650X163.99F1000  
N660X138.266  
N670X137.667Y26.425  
N680X136.677Y25.736  
N690X135.687Y25.218  
N700X134.697Y24.873  
N710X128.59Y23.586  
N720X125.787Y23.31  
N730X122.817Y23.421  
N740X120.749Y23.769  
N750X116.878Y23.502  
N760X112.918Y23.358  
N770X106.978Y23.348  
N780X101.039Y23.642  
N790X94.954Y24.575  
N800X93.119Y25.08  
N810X91.701Y25.565  
N820X88.17Y27.015  
N830X88.064Y27.071  
N840X-2.5  
N850G0Z41.  
N860X88.064  
N870Z36.  
N880G1Z-2.628F500  
N890X86.19Y28.075F1000  
N900X85.61Y28.535  
N910X84.671Y29.525  
N920X84.21Y30.3  
N930X83.832Y31.505  
N940Y32.  
N950X-2.5  
N960G0Z41.  
N970X83.832  
N980Z36.  
N990G1Z-2.628F500  
N1000Y32.495F1000  
N1010X84.21Y33.64

N1020X84.67Y34.475  
 N1030X85.2Y35.075  
 N1040X86.19Y35.929  
 N1050X88.057Y36.929  
 N1060X-2.5  
 N1070G0Z41.  
 N1080X164.115Y32.  
 N1090Z36.  
 N1100G1Z-2.628F500  
 N1110X163.99F1000  
 N1120X140.21  
 N1130G0Z41.  
 .....

## ДОДАТОК Б

### Лістинг програмного коду API

```

unit uMain;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, ksTLB, StdCtrls, ComObj, ComCtrls, Grids, Buttons;
const
  MasReal: array [0..10] of char = ('0','1','2','3','4','5','6','7','8','9','.');
type
  TVal = class(TForm)
    OpenDialog1: TOpenDialog;
    StringGrid1: TStringGrid;
    BitBtn1: TBitBtn;
    LError: TLabel;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure StringGrid1SetEditText(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
      const Value: String);
    procedure StringGrid1DrawCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
      Rect: TRect; State: TGridDrawState);
    procedure StringGrid1Click(Sender: TObject);
  private
    AllOk: byte;
    CheckArray: array of byte;
    { Private declarations }
    function CheckReal(str: string): boolean;
  public
    { Public declarations }
  end;
TPartVar=RECORD
  VarName:STRING;
  VarValue:REAL;
  VarNote:STRING;
END;
TPartVars=ARRAY OF TPartVar;
var
  Val: TVal;
  Kompas:KompasObject;
  Doc:ksDocument3D;
  KompasHandle:THandle;
  mas: TPartVars;
  s: TStringList;
implementation
{$R *.dfm}
function GetPartVars(partname:STRING):TPartVars;
var vr:ksVariableCollection;
parts:ksPartCollection;
part:ksPart;
univar:ksVariable;
top,cur,vrr:TTreeNode;
j, numpart:WORD;

```

```

begin
parts:=ksPartCollection(doc.PartCollection(true));
part:=ksPart(parts.GetByName(partname,True,True));
vr:=ksVariableCollection(part.VariableCollection);
numpart:=vr.GetCount;
SetLength(result,numpart);
for j:=0 to numpart-1 do
begin
univar:=ksVariable(vr.GetByIndex(j));
with result[j] do
begin
VarName:=univar.name;
VarNote:=univar.note;
VarValue:=univar.value
end
end
end;
function StartKompas(filename:string):boolean;
const ka='Kompas.Application.5';
begin
Result:=true;
try
kompas:=KompasObject(GetActiveOleObject(ka));
except
try
kompas:=KompasObject(CreateOleObject(ka));
except
result:=false;
exit;
end;
end;
KompasHandle := kompas.ksGetHWindow;
kompas.Visible:=true;
Doc := ksDocument3D(kompas.ActiveDocument3D);
if Assigned(Doc) then
Doc.close;
Doc := ksDocument3D(kompas.Document3D);
Doc.Open(Trim(filename), False);
kompas.ActivateControllerAPI();
end;
procedure ReadParts(s:TStringList);
var i:word;
parts:ksPartCollection;
part:ksPart;
num: integer;
begin
parts:=ksPartCollection(doc.PartCollection(true));
num:=parts.GetCount;
s.Clear;
s.Add(ksPart(doc.GetPart(-1)).name);
for i := 0 to num-1 do
begin
part:=ksPart(parts.GetByIndex(i));
s.Add(part.name);

```



```

end;
end;
PROCEDURE ChangeVar(partname, varname: STRING; value_:REAL);
VAR vr:ksVariableCollection;
parts:ksPartCollection;
part:ksPart;
vvv:ksVariable;
BEGIN
parts:=ksPartCollection(doc.PartCollection(true));
part:=kspart(parts.GetByName(partname,true,true));
vr:=ksVariableCollection(part.VariableCollection);
vvv:=ksVariable(vr.GetByName(varname,true,true));
part.BeginEdit;
vvv.value:=value_;
part.Update;
part.RebuildModel;
part.EndEdit(true);
parts.refresh
END;
procedure TVal.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var i: integer;
    part: string;
begin
for i := 0 to StringGrid1.RowCount-1 do
begin
if (StringGrid1.Cells[1, i] = "") then part := StringGrid1.Cells[0, i] else
    ChangeVar(part, StringGrid1.Cells[0, i], StrToFloat(StringGrid1.Cells[1, i]));
end;
Doc.Save;
s.Free;
end;
function TVal.CheckReal(str: string): boolean;
var i, j: integer;
    z: byte;
begin
Result := TRUE;
for i := 1 to Length(str) do
begin
z := 1;
if (str[i] = MasReal[j]) then
begin
z := 0;
.....

```