

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра електричної інженерії**

## **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до виконання індивідуальної роботи з дисципліни

### **«САПР в енергетиці»**

для студентів спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

усіх форм навчання

Покровськ, 2022

УДК 004.896:621.3

Методичні рекомендації до виконання індивідуальної роботи з дисципліни «САПР в енергетиці», для студентів, спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, усіх форм навчання / Укладач: Едуард НЄМЦЕВ – Покровськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2022. – 69 с.

У методичних рекомендаціях викладено загальні положення та тематичний зміст індивідуальних робіт з дисципліни «САПР в енергетиці». Методичні рекомендації містять вимоги щодо виконання індивідуальних робіт з навчальної дисципліни, інформацію та методичні вказівки для виконання поставлених завдань.

Укладач:

Едуард НЄМЦЕВ, старший викладач кафедри електричної інженерії ДВНЗ ДонНТУ

Рецензент: Валерій КАЛИНИЧЕНКО, к.т.н., доц., завідувач кафедри електромеханіки та машинобудування ДВНЗ ДонНТУ

Відповідальний за випуск: Олександр КОЛЛАРОВ, к.т.н., доц., завідувач кафедри електричної інженерії ДВНЗ ДонНТУ

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,

протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ р.

Розглянуто на засіданні кафедри електричної інженерії

протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ р.

ДВНЗ ДонНТУ, 2022

## Зміст

|                                                                                                          | стор. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Вступ                                                                                                    | 4     |
| Вимоги до оформлення та оцінювання індивідуальних завдань                                                | 5     |
| <b>Завдання №1</b>                                                                                       |       |
| Будова графіків у середовищі Microsoft Excel                                                             | 6     |
| Завдання та варіанти до виконання завдання 1.                                                            | 10    |
| <b>Завдання №2</b>                                                                                       |       |
| Будова у графічному середовищі «Компас-3D» креслень на площині – тіл, що містять криволінійні сполучення | 13    |
| Завдання та варіанти до виконання завдання 2.                                                            | 21    |
| <b>Завдання №3</b>                                                                                       |       |
| Будова у графічному середовищі «Компас-3D» креслень у просторі                                           | 24    |
| Завдання та варіанти до виконання завдання 3.                                                            | 36    |
| <b>Завдання №4</b>                                                                                       |       |
| Будова у середовищі Matlab_Simulink моделей енергетичних систем                                          | 39    |
| Завдання та варіанти до виконання завдання 4.                                                            | 56    |
| Список рекомендованої літератури                                                                         | 60    |
| Додаток А. Приклад оформлення титульного листа                                                           | 61    |
| Додаток Б. Приклад оформлення індивідуальної роботи                                                      | 62    |

## *Вступ*

Проектування енергетичних систем є однією з найважливіших сфер інженерної діяльності і пов'язує наукові дослідження та їх практичну реалізацію. Автоматизоване проектування – це проектування, при якому окремі перетворення об'єкта та/або алгоритму його функціонування здійснюються шляхом взаємодії людини та комп'ютера. Складовими автоматизованого проектування є різноманітні інформаційні технології.

Технічне забезпечення систем автоматизованого проектування (САПР) базується на використанні персональних комп'ютерів на робочих місцях, а математичне забезпечення САПР відрізняється різноманітністю методів обчислювальної математики, статистики, математичного програмування, дискретної математики, штучного інтелекту.

Програмні комплекси САПР відносяться до найбільш складних програмних систем, що базуються на різних операційних системах, мовах програмування, CASE-технологіях, стандартах відкритих систем із залученням процесів обміну даними у мережевих системах.

Знання основ автоматизації проектування та вміння працювати із засобами САПР у сучасному світі є необхідними навичками для інженера-енергетика і дозволяє йому бути конкурентоспроможним на ринку праці.

На сьогодні створено величезну кількість програмно-методичних комплексів для САПР із різним ступенем спеціалізації та прикладної орієнтації.

За допомогою САПР можна створювати та аналізувати роботу найскладніших технічних об'єктів, що дозволяє ставити і вирішувати найскладніші обчислювальні завдання шляхом моделювання технічних пристроїв та процесів. При моделюванні реальний об'єкт замінюється аналогом з урахуванням усіх фізичних та функціональних зв'язків, що характеризують та складають основу досліджуваного об'єкта.

Знання студентами основ моделювання та досвід практичного їх застосування дозволить з більшою ефективністю виконувати реальні проектні завдання та розширити коло навчальних знань.

## ***Вимоги до оформлення та оцінювання індивідуальних завдань***

Індивідуальні завдання відповідають змісту дисципліни, що вивчається. Номер варіанта за замовчуванням обирається згідно порядкового номеру студента у «Журналі обліку контролю навчально-виховної роботи» або визначається викладачем дисципліни.

При виконанні індивідуального завдання обов'язковою умовою є опанування відповідного теоретичного матеріалу, підкріпленого виконанням практичних робіт, передбачених робочим планом. Вихідні дані для виконання завдання наведено в кінці рекомендацій до виконання завдання.

Для виконання індивідуального завдання необхідно використання відповідного програмного забезпечення та комп'ютерної техніки. Завдання виконується у відповідній програмі згідно варіанту та зберігається у електронному вигляді з розширенням відповідної програми (для Microsoft Excel – \*.xls або \*.xlsx; для креслень на площині у Компас – \*.cdw, для креслень у просторі в Компас – \*.m3d, для моделей у Matlab\_Simulink – \*.slx).

Для здачі індивідуального завдання для реєстрації та перевірки, усі окремі завдання необхідно роздрукувати на аркушах формату А4. Першою сторінкою індивідуального завдання є титульний лист (Додаток А). Усі сторінки завдання, окрім першої, повинні бути пронумеровані та скріплені. Кожне завдання необхідно починати з нової сторінки та мати відповідний номер (додаток Б). Для зручності формування повного завдання рекомендується скористуватися засобами «фотографування» екрану монітора (Print Screen) з виділенням відповідної його частини.

Робота, яку оформлено не у відповідності до зазначених вимог, на перевірку не приймається. Якщо робота виконана не вірно або в роботі є помилки вона повертається на доопрацювання.

Максимальна кількість балів, отриманих за виконання індивідуального завдання, визначається робочою програмою дисципліни і складає 16 балів, які розподіляються наступним чином: завдання 1 – 3 бали, завдання 2 – 4 бали, завдання 3 – 4 бали, завдання 4 – 5 балів.

Розподіл балів має наступний характер:

- «15 – 16 балів»/«зараховано» – оцінюються роботи, зміст яких повністю відповідає поставленим завданням,

- «12 – 14 балів»/«зараховано» – оцінюються роботи, зміст яких містить неточності виконання, мають помилки оформлення,

- «9 – 11 балів»/«зараховано» – оцінюються роботи, зміст яких містить критичні неточності виконання, не містять окремих елементів оформлення,

- «0 – 8 балів»/«не зараховано» – оцінюються роботи, зміст яких містить грубі неточності виконання, відсутнє визначене завданням і прикладами оформлення.

## *Завдання №1*

### **БУДОВА ГРАФІКІВ У СЕРЕДОВИЩІ MICROSOFT EXCEL**

*Мета роботи:* Набути навичок будови у середовищі Microsoft Excel графіків визначення режиму роботи технологічного процесу енергетичної системи.

#### *Рекомендації до виконання завдання*

Розглянемо роботу насосної установки для транспортування води по трубопроводу.

Рівняння напірної характеристики трубопроводу має вигляд:

$$H_m = 555 + 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2 \quad (1.1)$$

Рівняння, що характеризує роботу насоса, має вигляд:

$$H_n = 7 \cdot (85,9 + 7,32 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2) \quad (1.2)$$

Рівняння, що характеризує ККД насоса, має вигляд:

$$\eta_n = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 - 4,0 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3 \quad (1.3)$$

Для визначення робочого режиму насоса будуємо в однаковому масштабі у загальній системі координат напірні характеристики насоса і трубопроводу – точка перетину їх і визначить робочий режим насоса.

Розрахунки для трубопровідної мережі здійснюємо за формулою (1.1). З метою будови графіків за формулами (1.1) – (1.3) складемо табл.1.1, у якій для ряду значень подавань ( $Q$ ) визначаємо ряд значень напорів ( $H$ ).

Таблиця 1.1 складається у середовищі Microsoft Excel. Значення для подавання ( $Q$ ) спочатку приймаються від «0» до «1000» м<sup>3</sup>/год., а потім зменшуються або збільшуються у відповідності від отриманих графічних будов. Крок зміни  $Q$  можна приймати кратним «10», «15», «25», «50», «100», «150» або «200» м<sup>3</sup>/год., щоб отримати від 8 до 10 значень – з наступним коректуванням. Максимальне значення та крок зміни подачі ( $Q$ ) залежить від типорозміру насоса, а підбір цих значень і розкриває зміст автоматизованого проектування у середовищі Microsoft Excel. При зміні одного із вихідних значень автоматично будуть змінюватися величини, що залежать від цих значень.

Наприклад, приймаємо зміну подачі ( $Q$ ) від «0» до «800» м<sup>3</sup>/год. з кроком зміни «100» м<sup>3</sup>/год. – отримаємо табл. 1.1, представлену на рис. 1.1. На рис. 1.1 також можна побачити розрахункову формулу у комірці «С3». Дану таблицю необхідно скласти таким чином, щоб одні комірки залежали

від інших (наприклад, значення у комірках «C3», «C4», «C5» повинні залежати від значення у комірці «C2»; у комірках «D3», «D4», «D5» – від значення у комірці «D2» і т.д.) – це дозволить отримати автоматичний розрахунок відповідних значень напорів ( $H$ ) і ККД ( $\eta$ ) при необхідності зміни подачі ( $Q$ ) та відповідною перебудовою графіків.

|    |                                                                    |     |       |                    |       |       |       |       |       |       |
|----|--------------------------------------------------------------------|-----|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C3 |                                                                    |     | $f_x$ | $=555+0,0005*C2^2$ |       |       |       |       |       |       |
|    | A                                                                  | B   | C     | D                  | E     | F     | G     | H     | I     | J     |
| 1  | Таблиця 1.1 - Розрахункові параметри напірних характеристик та ККД |     |       |                    |       |       |       |       |       |       |
| 2  | $Q, \text{м}^3/\text{год.}$                                        | 0   | 100   | 200                | 300   | 400   | 500   | 600   | 700   | 800   |
| 3  | $H_M, \text{м}$                                                    | 555 | 560   | 575                | 600   | 635   | 680   | 735   | 800   | 875   |
| 4  | $H_H, \text{м}$                                                    | 601 | 639   | 648                | 629   | 582   | 508   | 405   | 274   | 115   |
| 5  | $\eta$                                                             | 0   | 0,228 | 0,436              | 0,600 | 0,696 | 0,700 | 0,588 | 0,336 | 0,080 |

Рисунок 1.1 – Перша спроба складання табл. 1.1

Виділивши таблицю (рис. 1.2) обираємо у вкладці «Вставка» серед усього різноманіття діаграм – «Точкову» діаграму (на відміну від неї діаграма «Графік» буде ці графіки не завжди коректно), а серед точкових – «Точкову з гладкими кривими і маркерами».

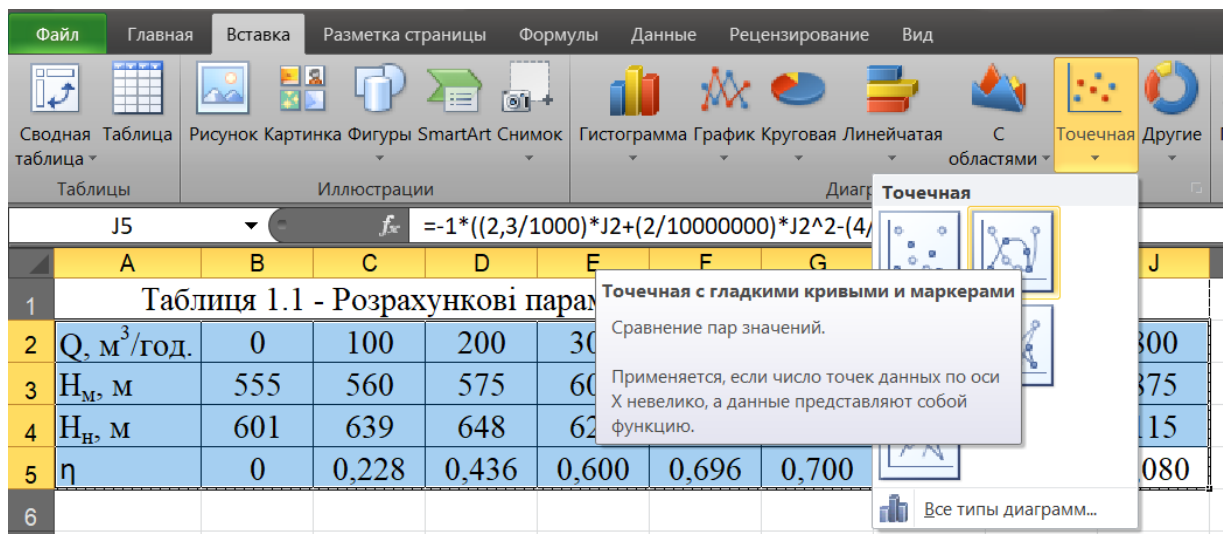


Рисунок 1.2 – Обрання типу діаграми

Після обрання і натискання на відповідний тип діаграми отримаємо результат – рис. 1.3.

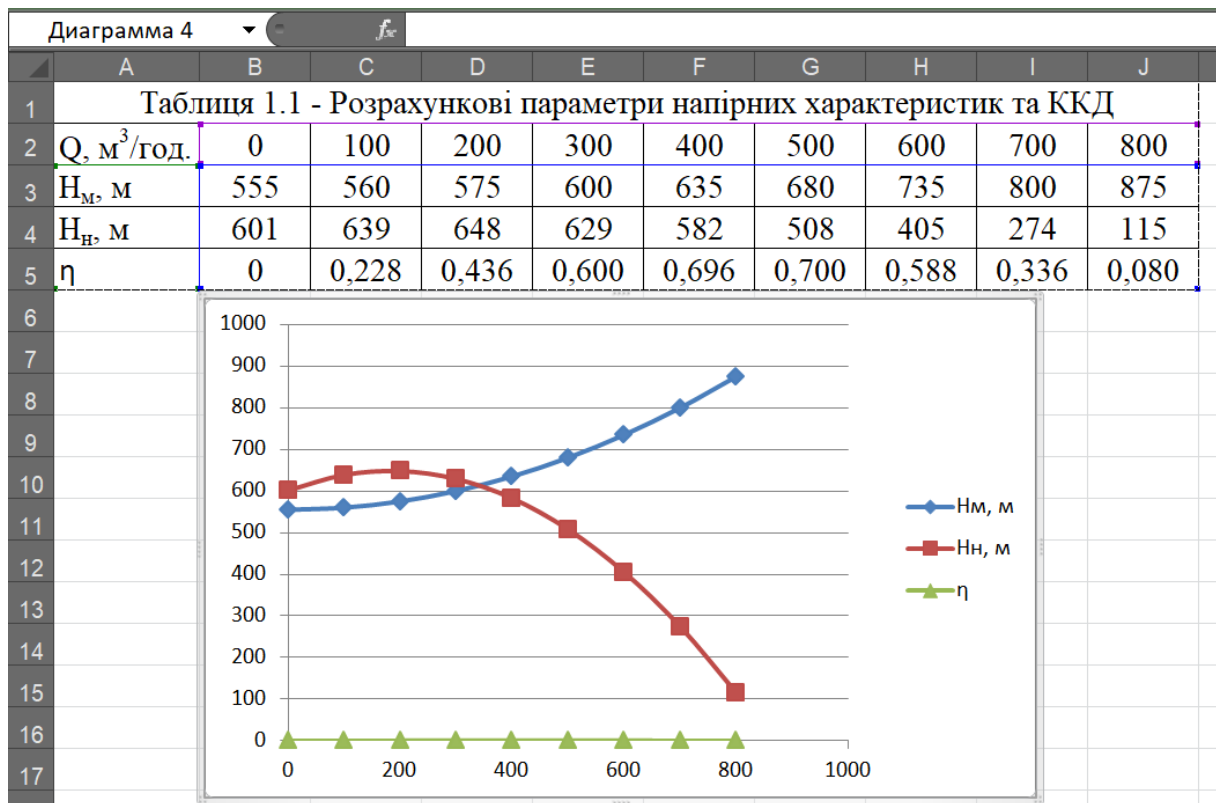


Рисунок 1.3 – Результат будови обраного типу діаграми

Виходячи з досягнення поставленої мети: знаходження точки перетину двох графіків – характеристики трубопроводу і насоса – так званої «робочої точки», до отриманих будов (рис. 1.3) можна зробити наступні «зауваження»:

- значення напорів після точки перетину графіків не мають змісту, тому можна обмежитись максимальним значенням подачі на рівні 400  $\text{м}^3/\text{год.}$ ,

- значення ККД у порівнянні зі значеннями напору досить мале (менше 1), що вимагає застосування додаткової осі,

- так звана «Легенда», що визначає вигляд тієї чи іншої характеристики може бути видалена, але вимагатиме додаткових позначень (нанесених вручну за допомогою засобів, що надає середовище Microsoft Excel),

- графіки краще розміщувати на окремому листі,

- необхідно обмежити максимальні і мінімальні значення величин по осям «у розумних межах» та для «наочності» визначення робочого режиму.

- нанести основні горизонтальні та вертикальні лінії сітки.

Остаточню табл. 1.1 набуде вигляду – рис. 1.4, а графічні залежності – рис. 1.5.

|    |                                                                    |                             |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C3 |                                                                    | $f_c = 555 + 0,0005 * C2^2$ |       |       |       |       |       |       |       |       |
|    | A                                                                  | B                           | C     | D     | E     | F     | G     | H     | I     | J     |
| 1  | Таблиця 1.1 - Розрахункові параметри напірних характеристик та ККД |                             |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 2  | $Q, \text{м}^3/\text{ГОД.}$                                        | 0                           | 50    | 100   | 150   | 200   | 250   | 300   | 350   | 400   |
| 3  | $H_M, \text{м}$                                                    | 555                         | 556   | 560   | 566   | 575   | 586   | 600   | 616   | 635   |
| 4  | $H_H, \text{м}$                                                    | 601                         | 623   | 639   | 647   | 648   | 642   | 629   | 609   | 582   |
| 5  | $\eta$                                                             | 0                           | 0,115 | 0,228 | 0,336 | 0,436 | 0,525 | 0,600 | 0,658 | 0,696 |

Рисунок 1.4 – Остаточний вигляд табл. 1.1

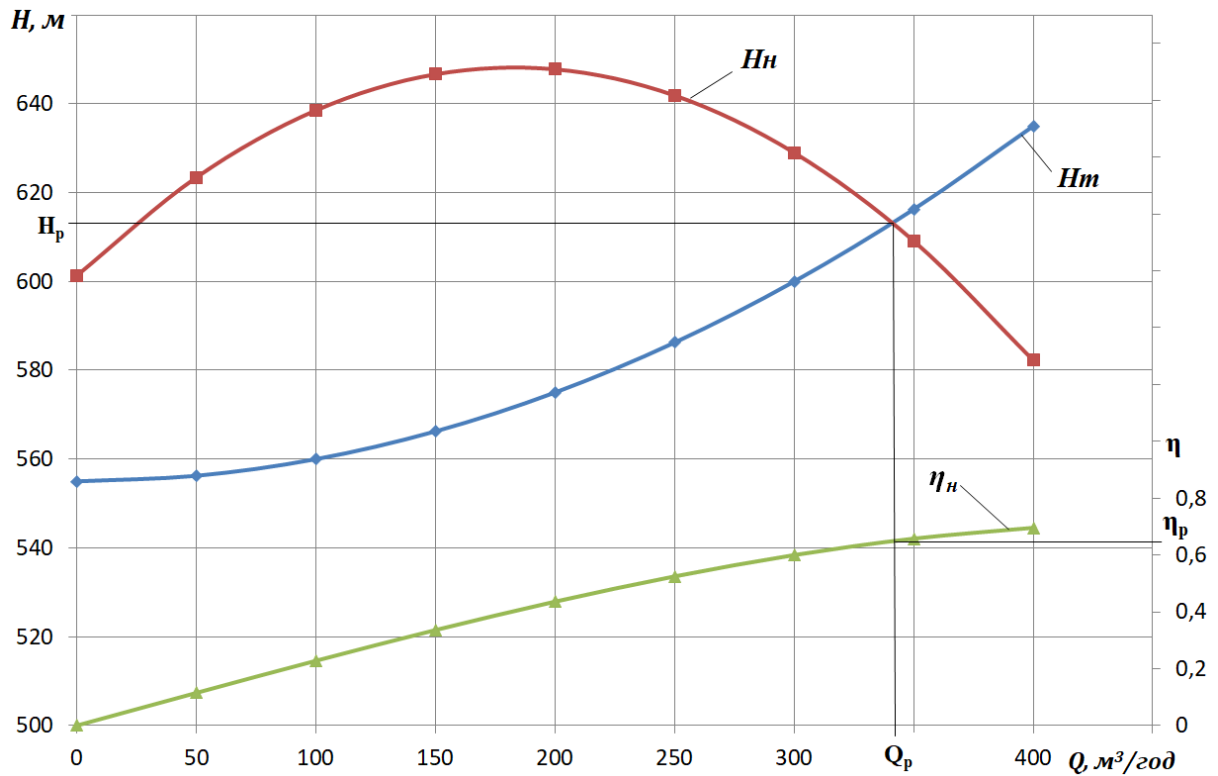


Рисунок 1.5 – Остаточний вигляд графічних залежностей та визначення робочого режиму

З графічних будов (рис. 1.5) виходить, що робочий режим насоса характеризується наступними значеннями: подача  $Q_p = 337 \text{ м}^3/\text{год.}$ , напір  $H_p = 612 \text{ м}$ , коефіцієнт корисної дії  $\eta_p = 0,65$ .

Література: [1, 2, 3, 4, 5].

### ***Завдання та варіанти до виконання завдання 1.***

Побудувати графічні залежності для напірної характеристики насоса, характеристику ККД насоса та характеристику трубопроводу. Визначити значення, що відповідають робочому режиму.

#### ***Варіант 1***

|                             |                                                                                                   |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 474 + 3,0 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2$                                                         |
| Характеристика насоса       | $H_n = 5 \cdot (106,73 + 9,65 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 7,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$               |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 1,04 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 5,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 6,0 \cdot 10^{-8} \cdot Q^3$ |

#### ***Варіант 2***

|                             |                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 583 + 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                           |
| Характеристика насоса       | $H_n = 9 \cdot (66,9 + 4,01 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,21 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                  |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 5,97 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 1,47 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 + 9,69 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

#### ***Варіант 3***

|                             |                                                                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 634 + 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                        |
| Характеристика насоса       | $H_n = 8 \cdot (85,9 + 7,32 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 - 4,0 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

#### ***Варіант 4***

|                             |                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 373 + 7,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                           |
| Характеристика насоса       | $H_n = 7 \cdot (66,9 + 4,01 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,21 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                  |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 5,97 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 1,47 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 9,69 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

#### ***Варіант 5***

|                             |                                                                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 456 + 10,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                       |
| Характеристика насоса       | $H_n = 6 \cdot (80,9 + 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                 |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 6,2 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 2,0 \cdot 10^{-8} \cdot Q^3$ |

*Варіант 6*

|                             |                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 304 + 9,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                           |
| Характеристика насоса       | $H_n = 5 \cdot (67,0 + 4,01 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,21 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                  |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 5,97 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 1,47 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 9,69 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

*Варіант 7*

|                             |                                                                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 325 + 4,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                        |
| Характеристика насоса       | $H_n = 5 \cdot (85,9 + 7,32 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 - 4,0 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

*Варіант 8*

|                             |                                                                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 525 + 7,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                        |
| Характеристика насоса       | $H_n = 5 \cdot (85,9 + 7,32 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 - 4,0 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

*Варіант 9*

|                             |                                                                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 416 + 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                        |
| Характеристика насоса       | $H_n = 6 \cdot (85,9 + 7,32 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 - 4,0 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

*Варіант 10*

|                             |                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 535 + 9,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                           |
| Характеристика насоса       | $H_n = 9 \cdot (66,9 + 4,01 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,21 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                  |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 5,97 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 1,47 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 9,69 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

*Варіант 11*

|                             |                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 428 + 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                           |
| Характеристика насоса       | $H_n = 7 \cdot (67,0 + 4,01 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,21 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                  |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 5,97 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 1,47 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 9,69 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

*Варіант 12*

|                             |                                                                                                     |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 223 + 10,2 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2$                                                          |
| Характеристика насоса       | $H_n = 5 \cdot (67,0 + 4,01 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,21 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                  |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 5,97 \cdot 10^{-3} \cdot Q - 1,47 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 + 9,69 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

## Завдання №2

### БУДОВА У ГРАФІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ «КОМПАС-3D» КРЕСЛЕНЬ НА ПЛОЩИНІ – ТІЛ, ЩО МІСТЯТЬ КРИВОЛІНІЙНІ СПОЛУЧЕННЯ

*Мета роботи:* Набути навичок будови у графічному середовищі «Компас-3D» креслень на площині тіл, що містять криволінійні сполучення.

#### *Рекомендації до виконання завдання*

На рис. 2.1 наведено деталь, яку необхідно у графічному середовищі «КОМПАС-3D» побудувати креслення на площині та проставити розміри.

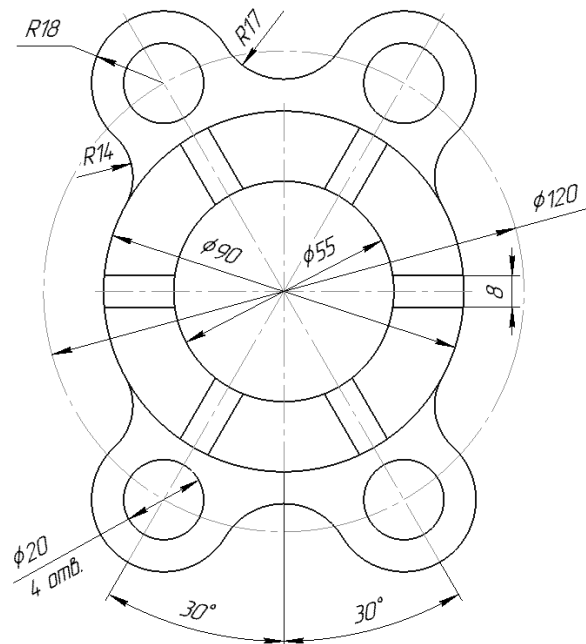
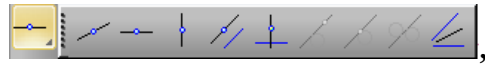


Рисунок 2.1 – Завдання до виконання графічної роботи

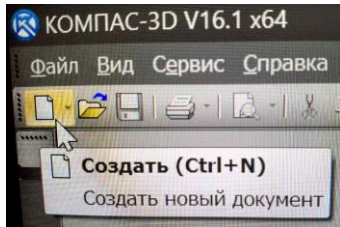
Роботу виконуємо у графічному редакторі «КОМПАС-3D». Відкриваємо програму, на панелі інструментів вибираємо команду «Створити» («Создать») – рис. 2.2 а. У діалоговому вікні, що відкрилося вказуємо тип створюваного документа – «Креслення» («Чертёж») і натискаємо «Ок» – рис. 2.2 б.

*Етап 1.* Проаналізувавши завдання, бачимо, що деталь є симетричною відносно вертикальної та горизонтальної осі, тому, для зручності креслення через умовну точку по середині аркуша креслення проводимо дві допоміжні лінії – вертикальну і горизонтальну. Для цього на бічній панелі «Геометрія» («Геометрия») – , обираємо команду «Допоміжна лінія» («Вспомогательная линия») за допомогою якої створюються

горизонтальні та вертикальні лінії почергово які і будуємо – рис. 2.3.



а)



б)

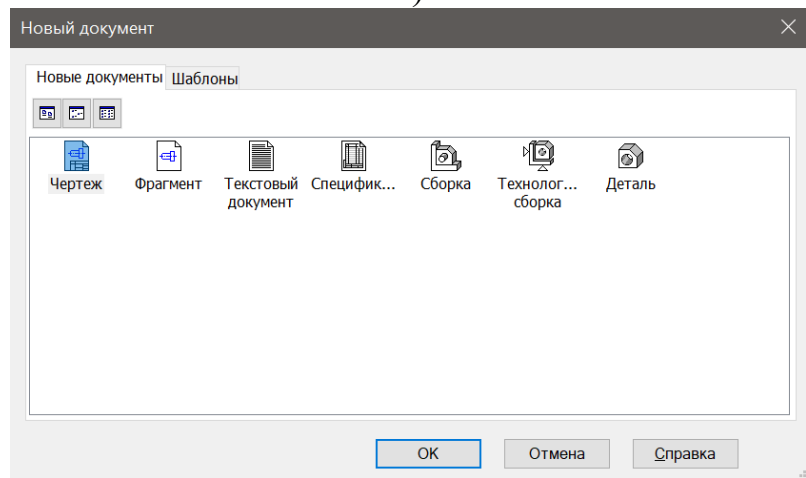


Рисунок 2.2 – Выбор типа документа кресления

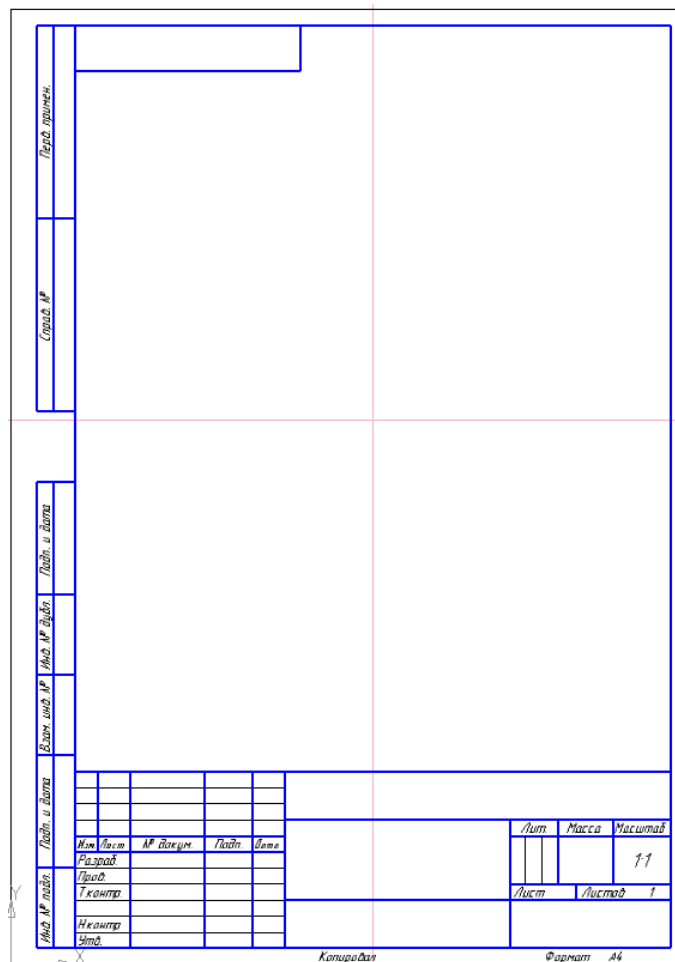


Рисунок 2.3 – Этап 1

Етап 2. На бічній панелі «Геометрія» («Геометрия») вибираємо команду «Коло» («Окружность»)  і з довільно обраного центру деталі будуємо: перше коло  $\varnothing 55$  мм, друге коло  $\varnothing 90$  мм – стиль цих ліній «Основна» («Основная»), третє коло –  $\varnothing 120$  мм – стиль лінії «Осьова» («Осевая») – вона нам потрібна, щоб визначити положення центрів отворів  $\varnothing 20$  мм (рис. 2.4).

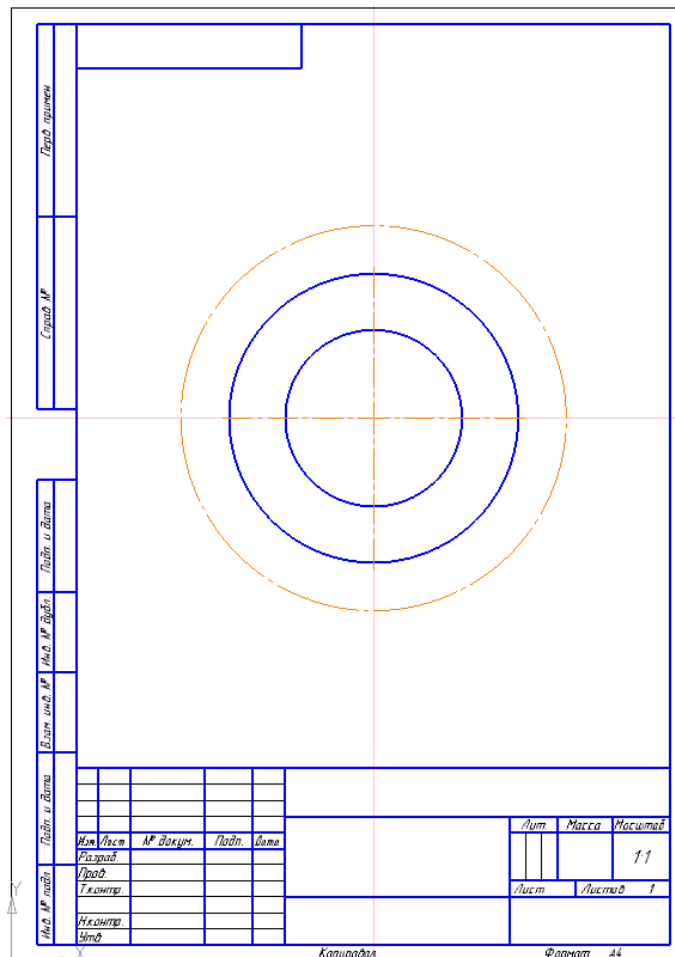


Рисунок 2.4 – Етап 2

Етап 3. На бічній панелі «Геометрія» («Геометрия») обираємо команду «Допоміжна лінія» довільного розташування  і будуємо з обраного центру симетрії деталі дві лінії – одну під кутом  $60^\circ$ , другу під кутом  $120^\circ$ . У точках перетину даних ліній з колом, що було побудовано раніше,  $\varnothing 120$  будуємо чотири кола  $\varnothing 20$  мм і чотири кола  $\varnothing 36$  мм (або R18), стиль ліній кіл «Основна» («Основная») – рис. 2.5.

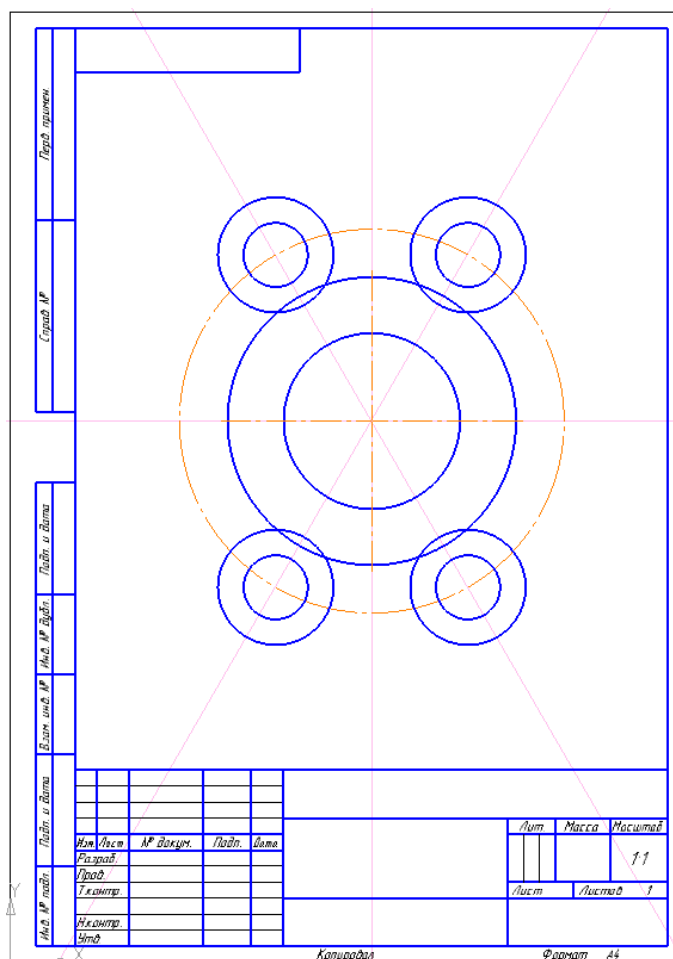
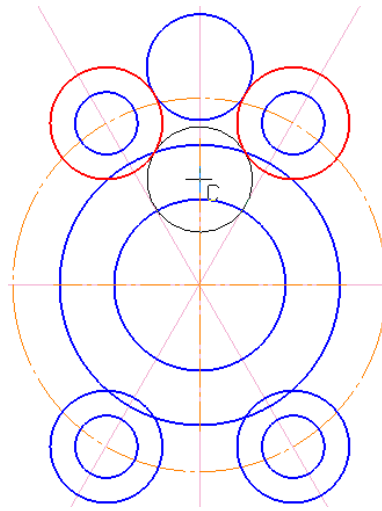


Рисунок 2.5 – Етап 3

*Етап 4.* На бічній панелі «Геометрія» («Геометрия») обираємо команду «Коло, дотичне до 2 кривих» («Окружность, касательная к 2 кривым») . Згідно завдання, кола  $\varnothing 36$  мм (або R18) зверху і знизу сполучаються між собою дугою R17 – викреслюємо даним радіусом відповідні кола, у якості дотичних за допомогою вказівника миші вказуємо верхні частини кіл  $\varnothing 36$  мм (або R18) і обираємо з двох штрихових образів, що з'явилися, той що відповідає завданню (рис. 2.6 а). Для повтору останньої операції вдруге немає потреби будувати ще одне дотичне коло за наведеним алгоритмом. Натискаємо на побудованому колі правою клавішею миші і обираємо команду «Симетрія» («Симметрия»)  і, вказуючи на центр симетрії деталі обертаємо розташування другого кола.

З лівого і правого боків кола  $\varnothing 36$  мм (або R18) сполучаються з колом  $\varnothing 90$  мм дугою R14 – викреслюємо даним радіусом відповідних кола, у якості дотичних за допомогою вказівника миші вказуємо бокові частини кіл  $\varnothing 36$  мм (або R18) і кола  $\varnothing 90$  мм, обираємо з різноманіття штрихових образів, що з'явилися, той що відповідає завданню. Для множення кіл (їх загалом необхідно чотири) необхідно скористатися командою «Симетрія» («Симметрия») (рис. 2.6 б).

a)



б)

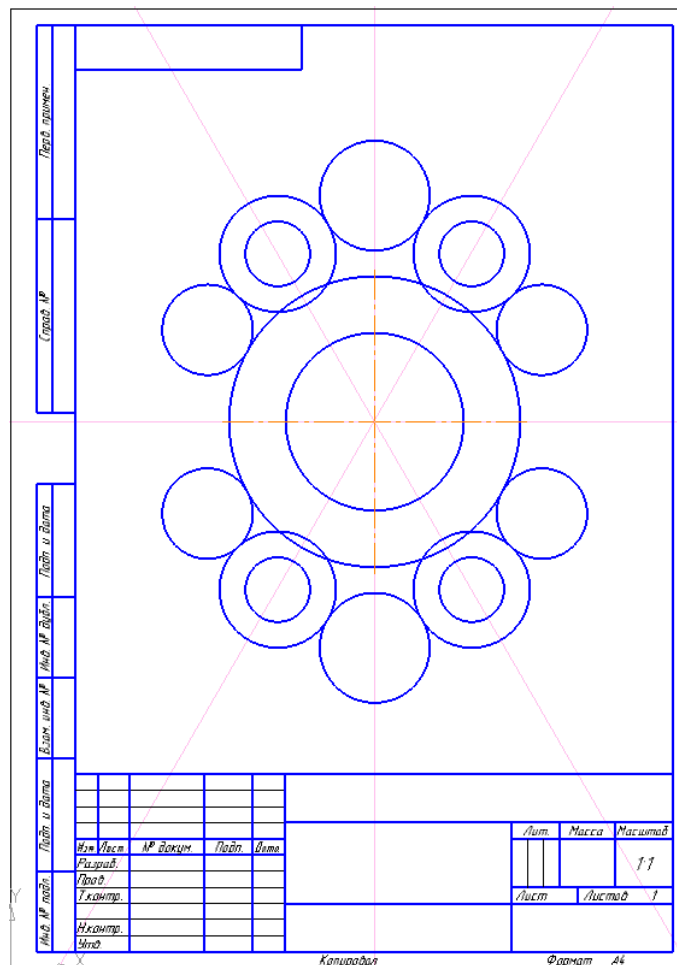


Рисунок 2.6 – Этап 4

Етап 5. На бічній панелі «Редагування» («Редактирование»)  обираємо команду «Усічення кривої» («Усечь кривую») , і за допомогою даного інструмента прибираємо усі лінії, що є «зайвими».

На бічній панелі «Позначення» («Обозначения»)  вибираємо команду «Осьова лінія за двома точками» («Осевая линия по двум

точкам»)  і проводимо осьові лінії вздовж похилих допоміжних ліній (рис. 2.7).

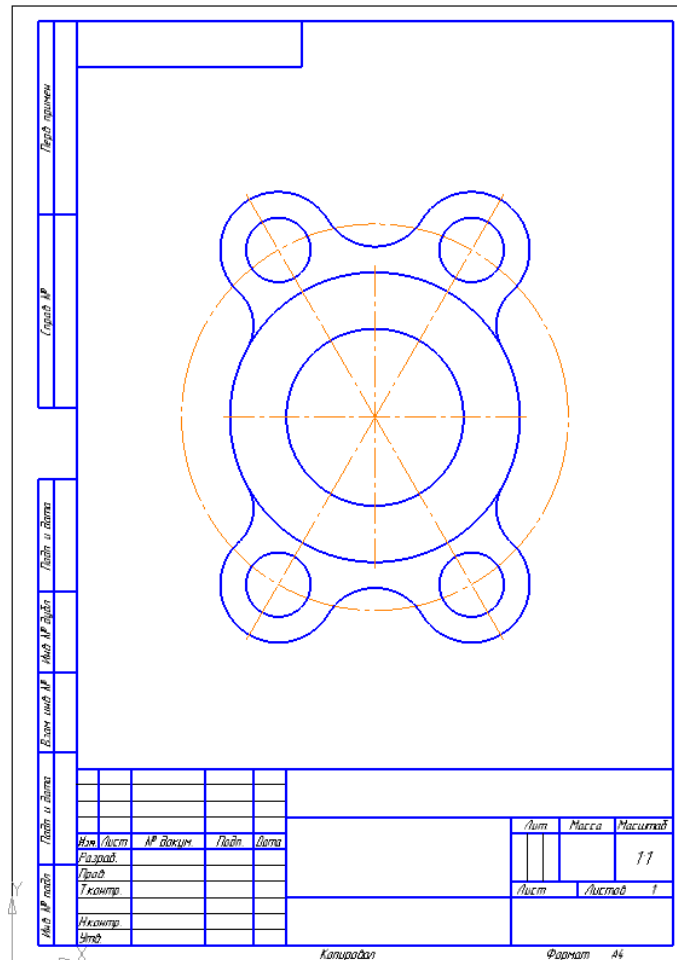
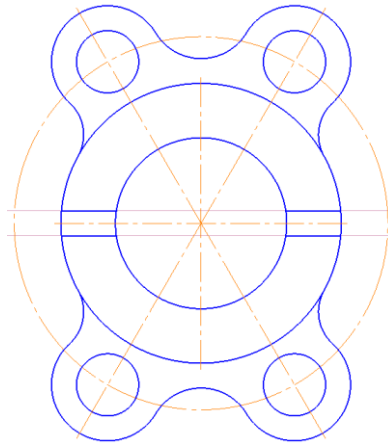


Рисунок 2.7 – Етап 5

*Етап 6.* На бічній панелі «Геометрія» («Геометрия») обираємо команду «Паралельна пряма» («Параллельная прямая»)  і будуємо дві допоміжні прямі, що паралельні горизонтальній осі. На цій же панелі обираємо команду «Відрізок» («Отрезок»)  і будуємо відрізки вздовж цих прямих обмежених колами  $\varnothing 55$  мм і  $\varnothing 90$  мм по обидва боки від вертикальної лінії симетрії, утворюючи пази (рис. 2.8 а).

Для множення цих пазів (їх загалом необхідно шість) необхідно скористатися командою «Симетрія» («Симметрия») (рис. 2.8 б).

a)



б)

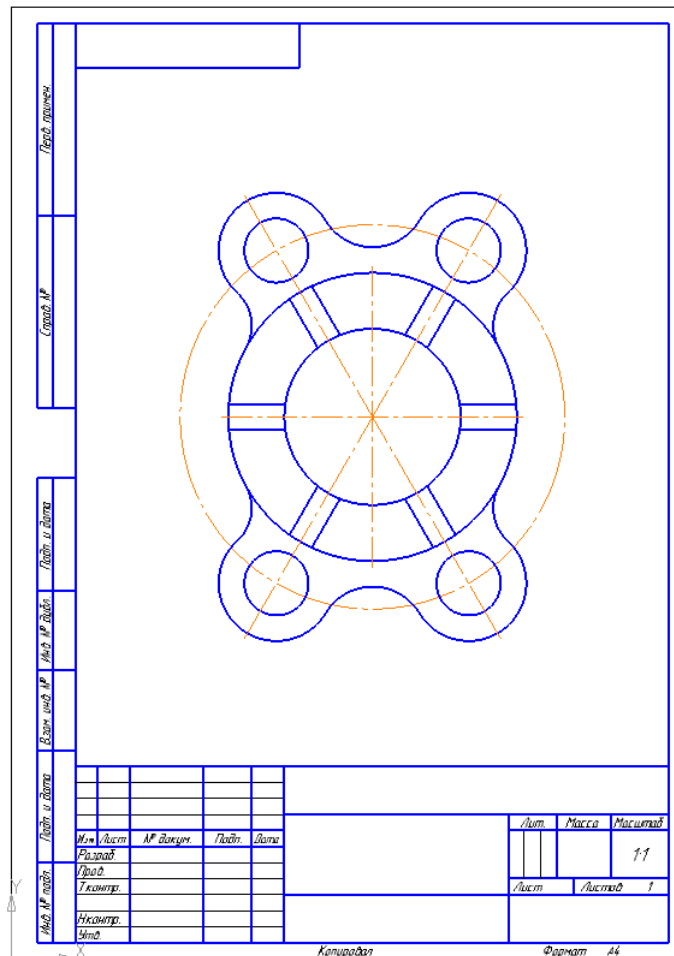


Рисунок 2.8 – Этап 6

*Етап 7.* Остаточно, видаляємо «зайві» допоміжні лінії та проставляємо розміри та заповнює «Основний напис» («Штамп»), у якому обов’язково необхідно вказати прізвище студента, що виконав завдання, прізвище викладача, що перевірятиме роботу та шифр групи (рис. 2.9).

Автоматизація процесу полягає у тому, що для будови ліній сполучення витрачається набагато менше часу ніж при використанні «стандартних» способів будови цих геометричних форм.

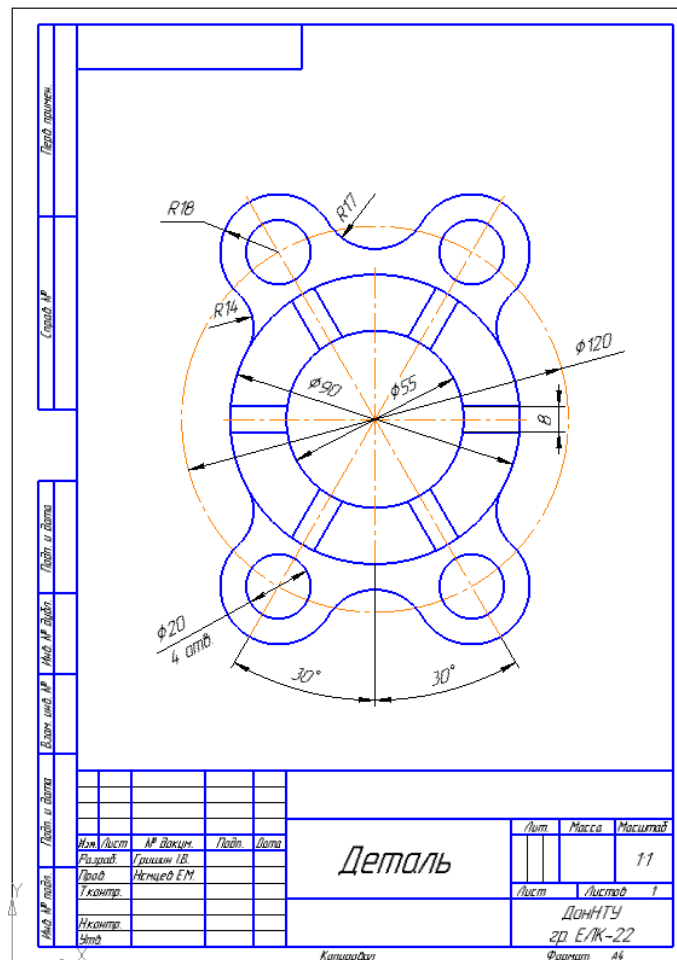


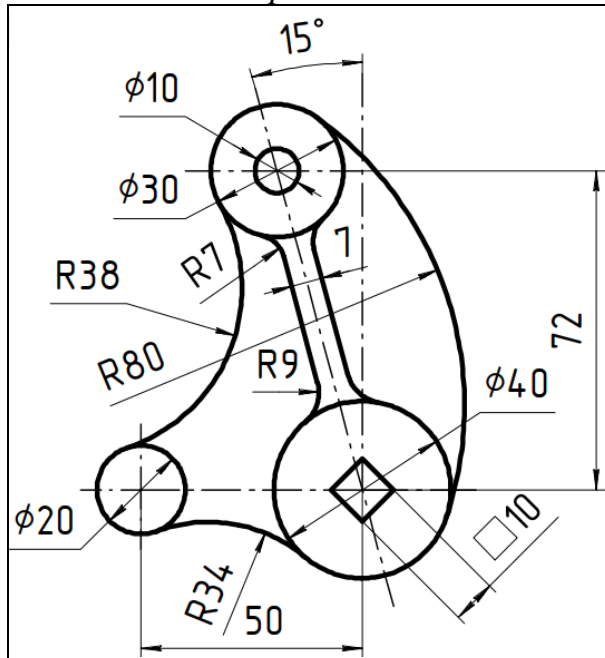
Рисунок 2.9 – Этап 7. Завершено задание.

Література: [6, 7, 8, 9, 10].

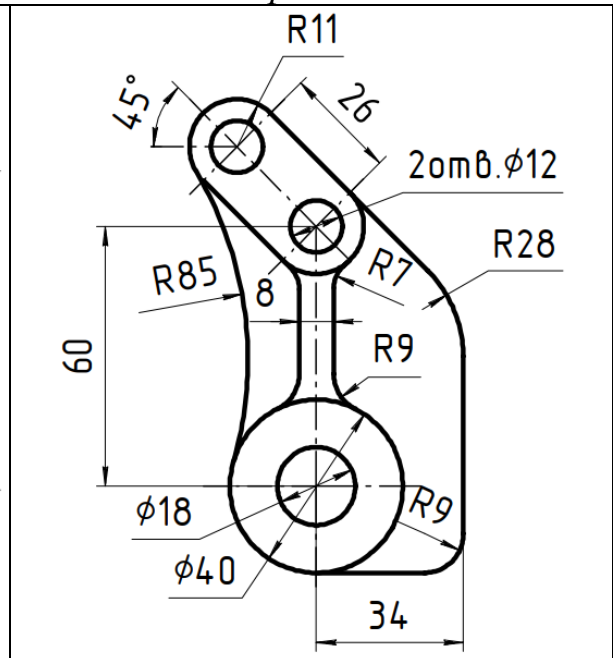
## Завдання та варіанти до виконання завдання 2.

За обраним варіантом накреслити у графічному середовищі «КОМПАС-3D» креслення на площині, що містять криволінійні сполучення.

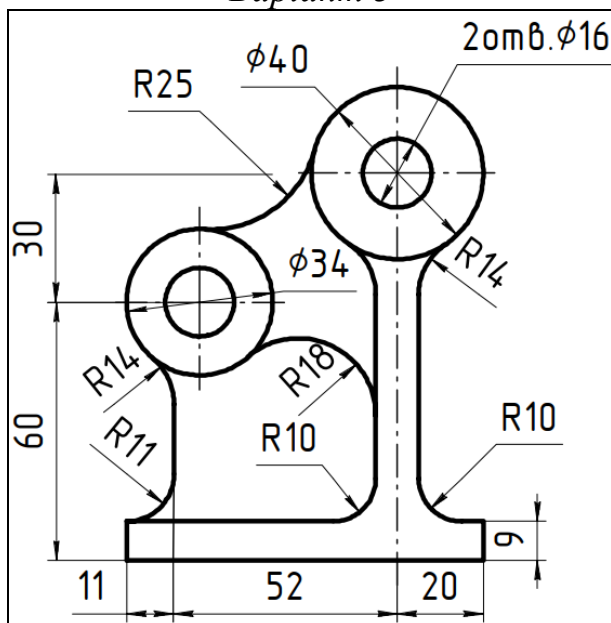
*Варіант 1*



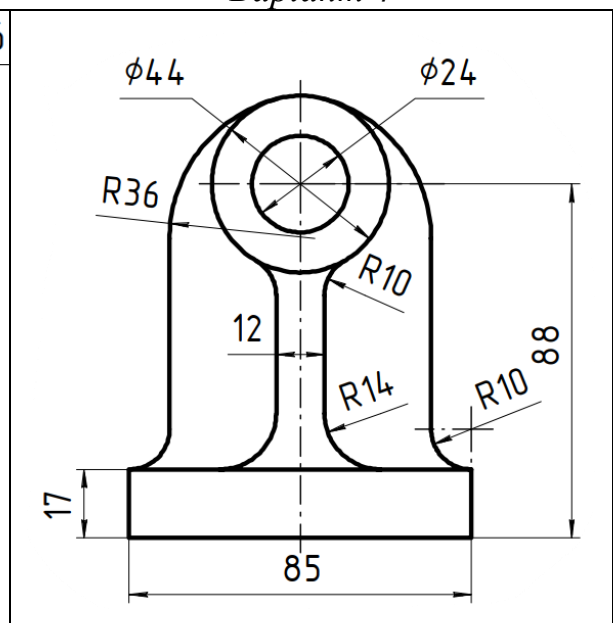
*Варіант 2*



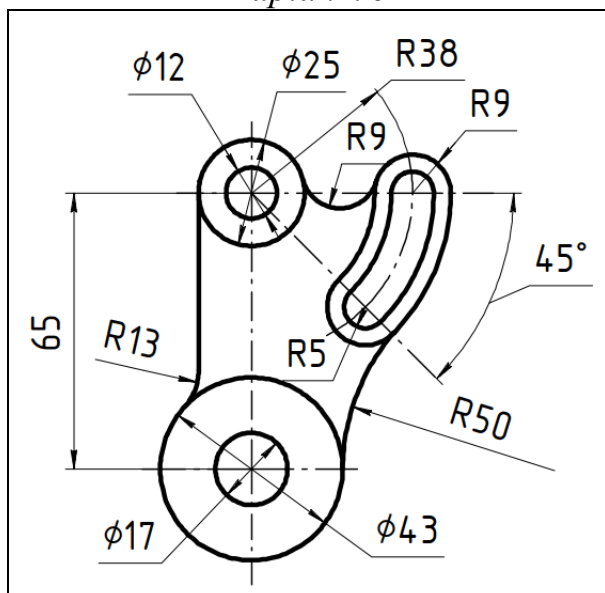
*Варіант 3*



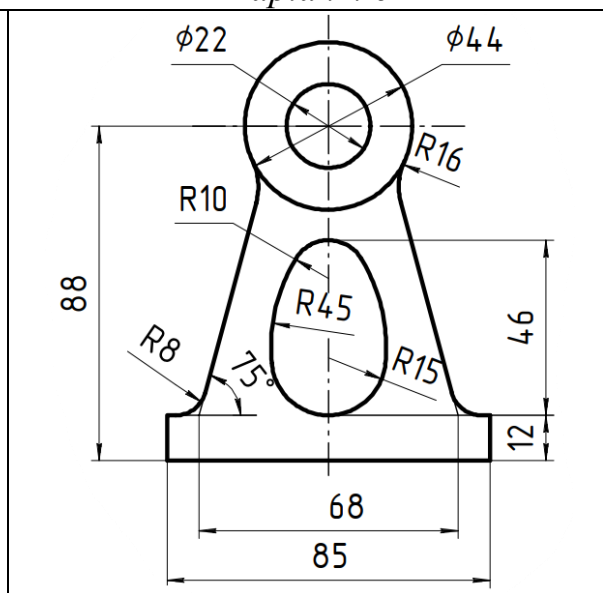
*Варіант 4*



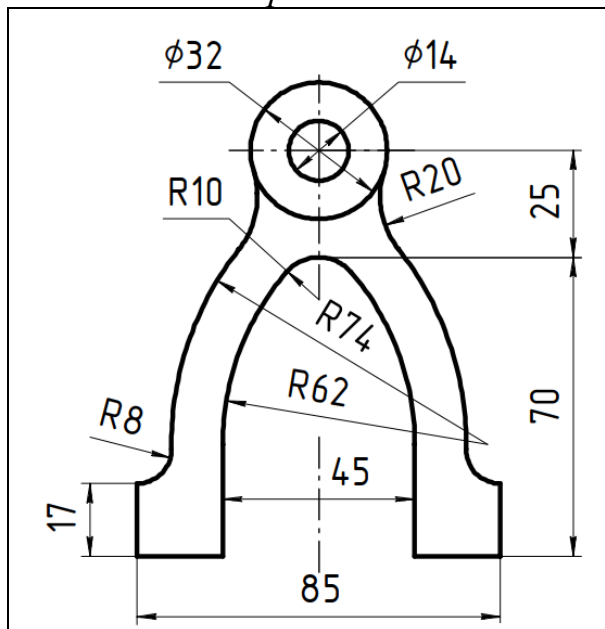
Варіант 5



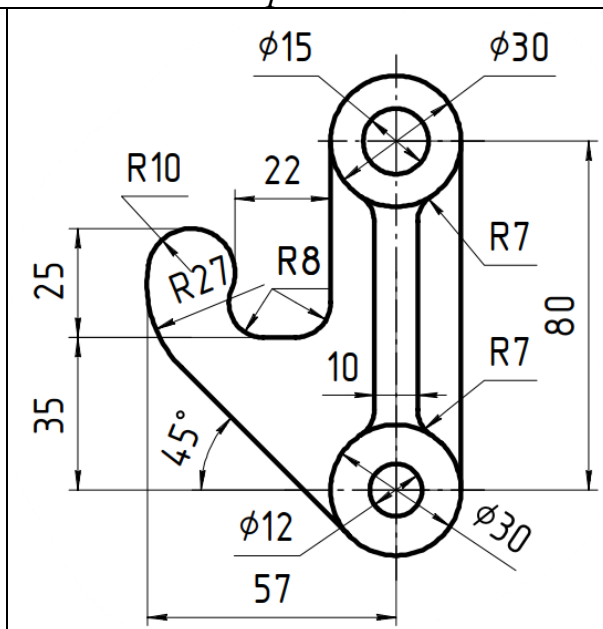
Варіант 6



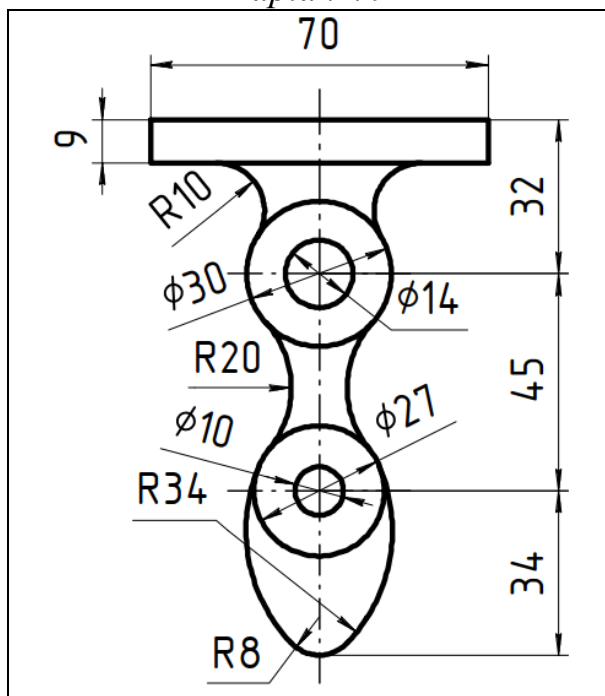
Варіант 7



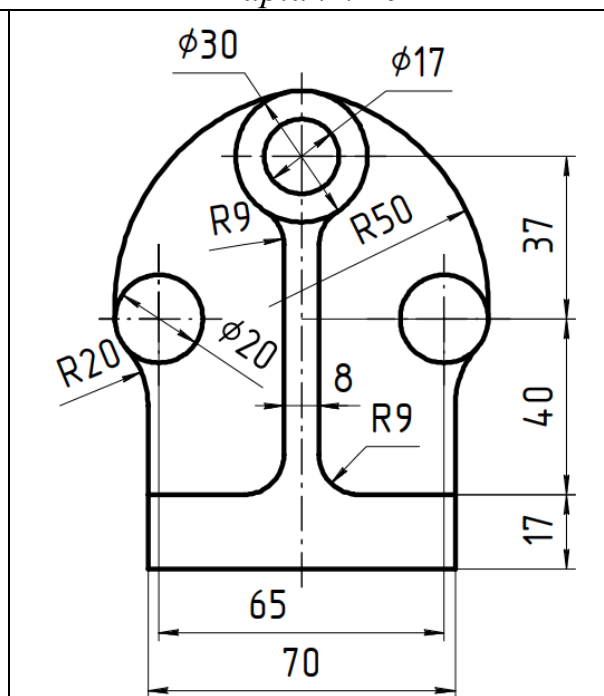
Варіант 8



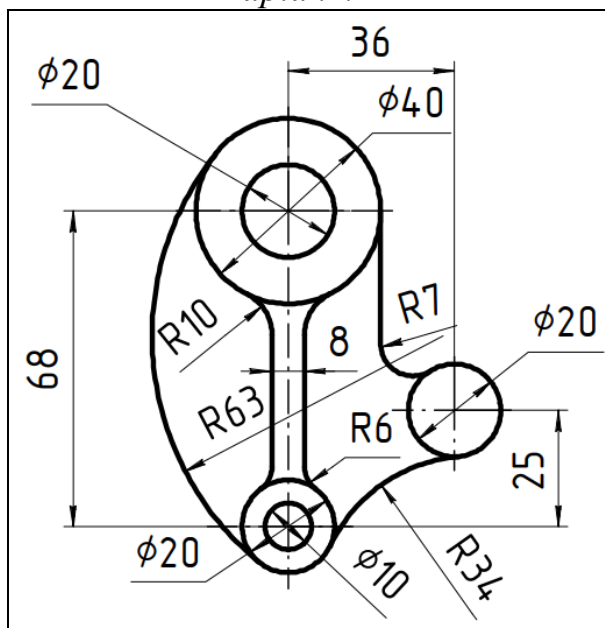
Варіант 9



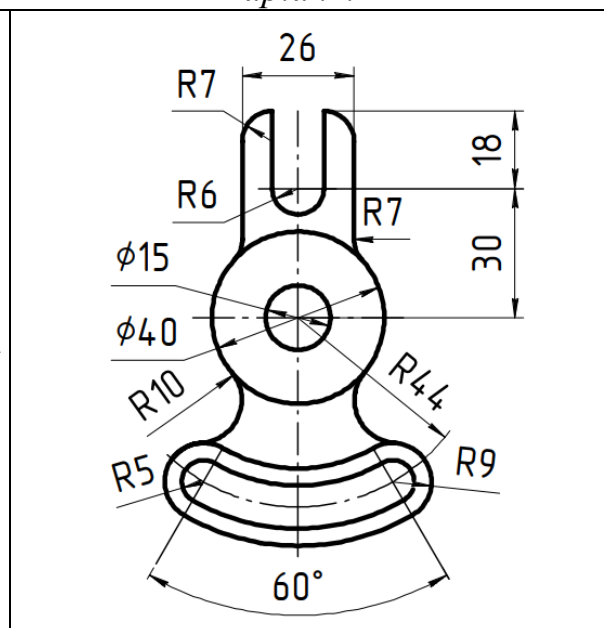
Варіант 10



Варіант 11



Варіант 12



### Завдання №3

## БУДОВА У ГРАФІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ «КОМПАС-3D» КРЕСЛЕНЬ У ПРОСТОРІ

*Мета роботи:* Набути навичок будови у графічному середовищі «Компас-3D» креслень у просторі.

### *Рекомендації до виконання завдання*

На рис. 3.1 наведено деталь, яку необхідно у графічному середовищі «КОМПАС-3Д» побудувати креслення у просторі.

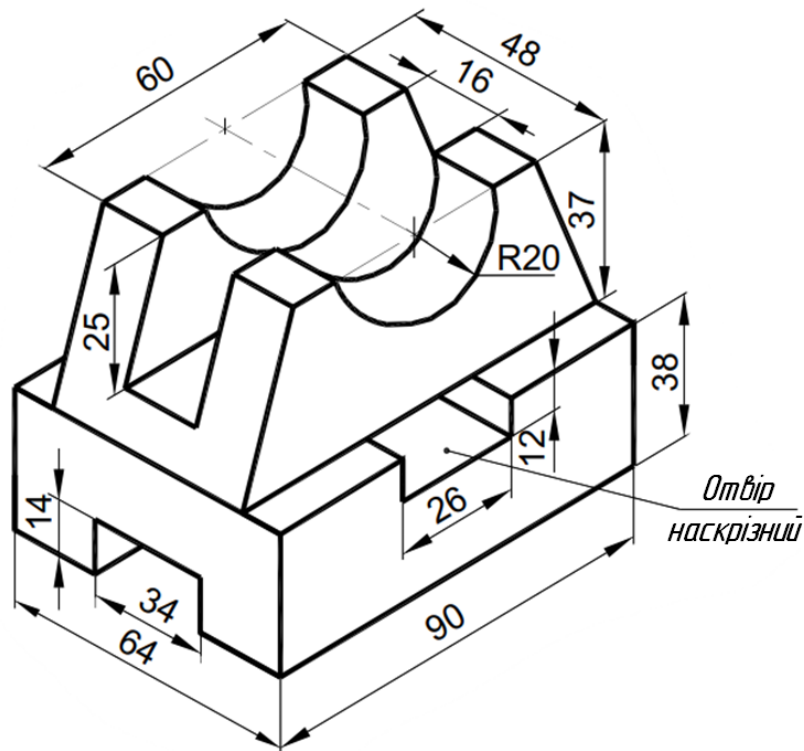


Рисунок 3.1 – Завдання до виконання графічної роботи

Роботу виконуємо у графічному редакторі «КОМПАС-3D». Відкриваємо програму, на панелі інструментів вибираємо команду «Створити» («Создать») – рис. 3.2 а. У діалоговому вікні, що відкрилося вказуємо тип створюваного документа – «Деталь» («Деталь») і натискаємо «Ок» – рис. 3.2 б.

a)

6)

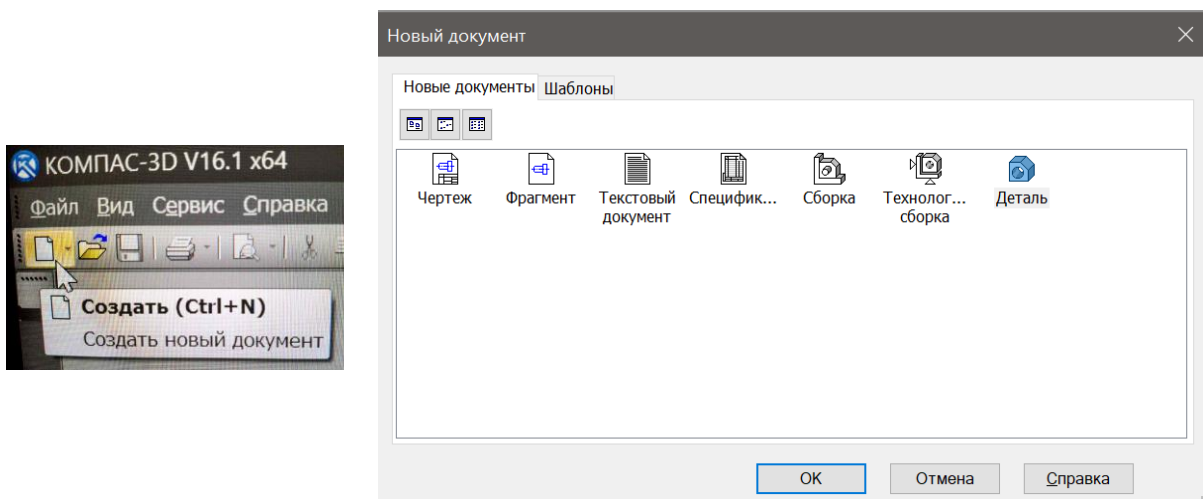


Рисунок 3.2 – Вибір типу документу креслення

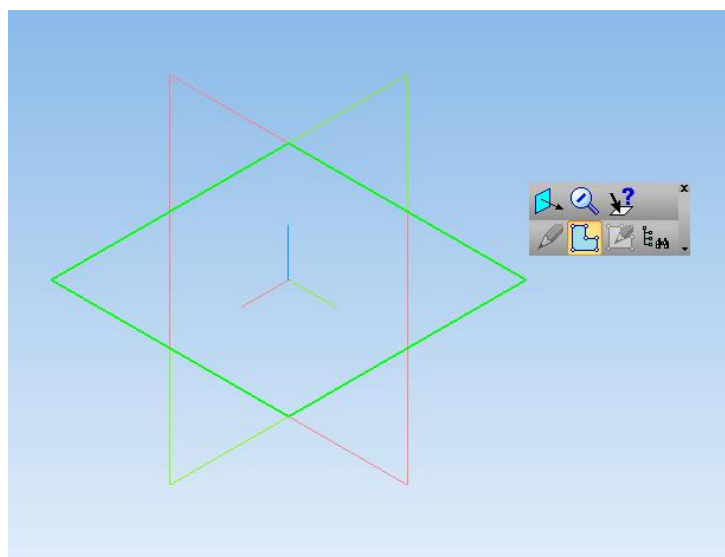
*Етап 1.* Проаналізувавши завдання, бачимо, що деталь є симетричною відносно вертикальної та горизонтальної площини. Для зручності будови точку перетину осей приймаємо за вихідну. Правою кнопкою миші обираємо горизонтальну площину проекції і натискаємо у меню, що з'явилося, команду «Ескіз» («Эскиз»)  (рис. 3.3 а). Будьте уважними, програма перевертає осі на 180°.

На бічній панелі «Геометрія» («Геометрия») , обираємо команду «Прямокутник» («Прямоугольник») . У меню даної команди обираємо «Прямокутник по центру та вершині» («Прямоугольник по центру и вершине») . У якості центру прямокутника обираємо точку перетину осей і будуємо прямокутник довільної висоти і ширини, зберігаючи пропорції деталі за завданням (рис. 3.3 б).

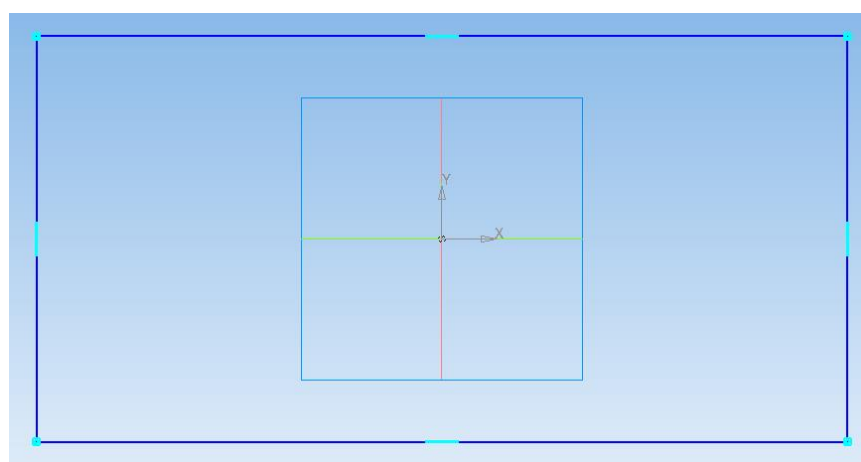
На бічній панелі «Розміри» («Размеры») , обираємо команду «Авторозмір» («Авторазамер»)  і обираючи ліву (можна і праву) бічну лінію зміщуємо розмірну лінію вліво і натискаємо ліву кнопку миші, у діалоговому вікні, що відкрилося, у верхнє поле вводимо значення «64» - це розмір однієї зі сторін прямокутника за завданням (рис. 3.3 в). Натискаємо «Ок». Аналогічно робимо з іншою стороною прямокутника. Для подальших будов проводимо за допомогою команди «Допоміжна лінія» діагоналі прямокутника (рис. 3.4 а).

На бічній панелі «Параметризація» («Параметризация») , обираємо команду «Об'єднати точки» («Объединить точки»)  і обираємо точку перетину діагоналей прямокутника та точку перетину осей. Після вибору точок відбувається їх об'єднання. Для подальшої коректної будови видаляємо діагоналі прямокутника (рис. 3.4 б). Закриваємо ескіз, натискаючи кнопку «Ескіз» («Эскиз»)  (рис. 3.4 в).

а)



б)



в)

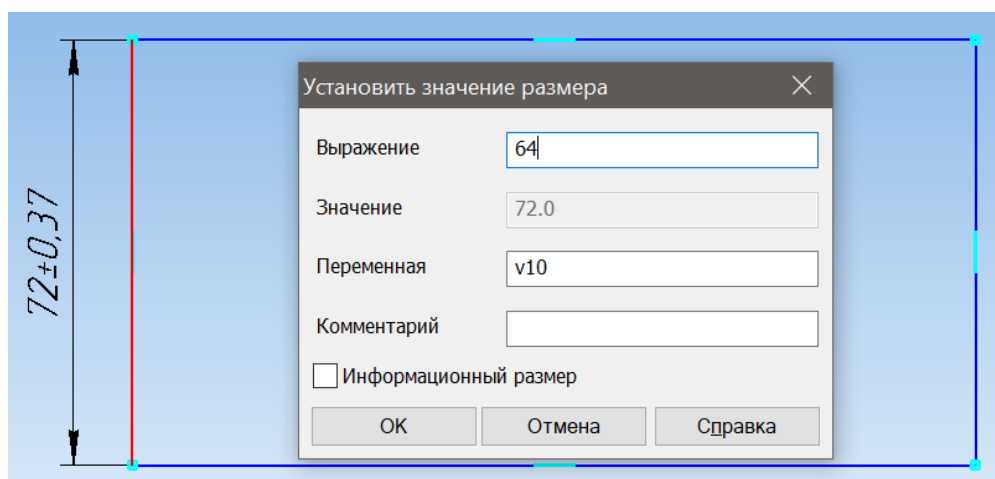
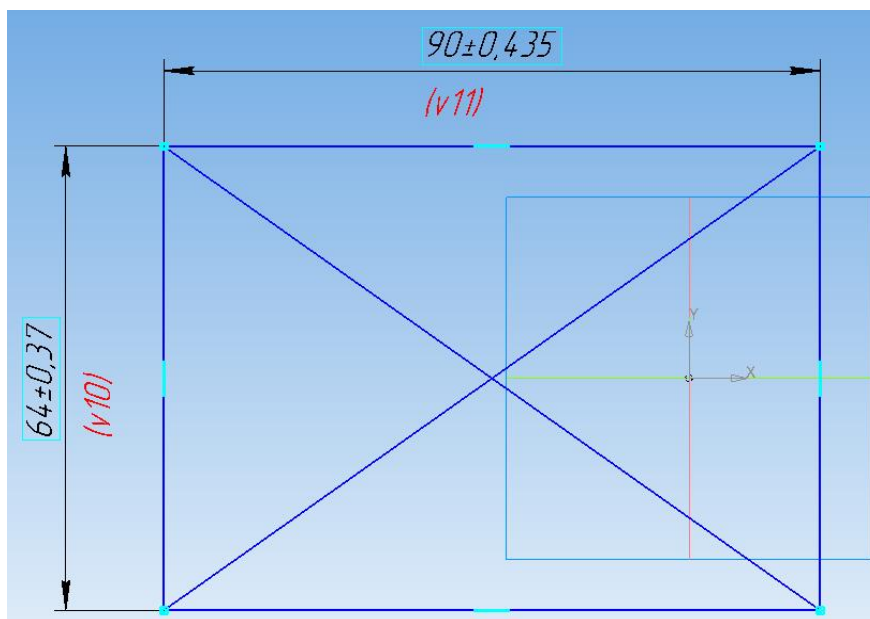
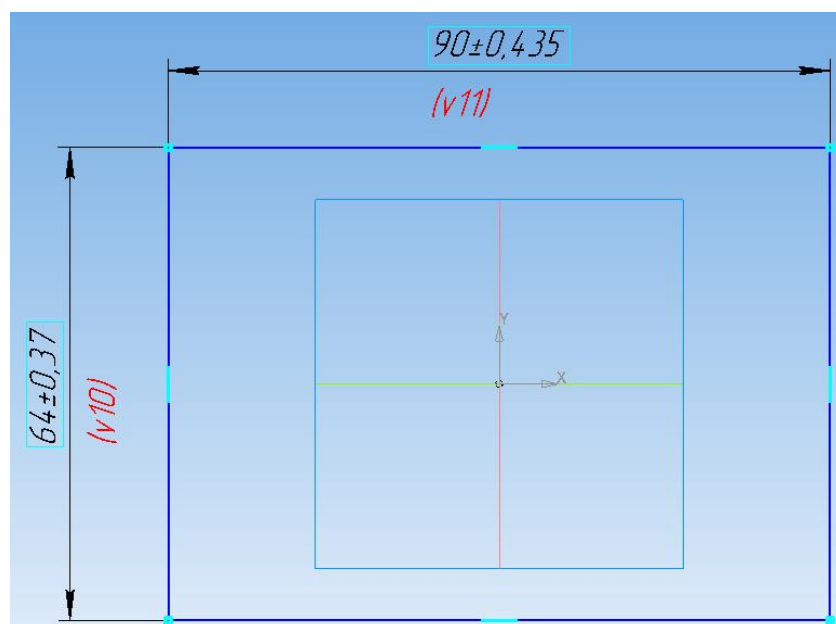


Рисунок 3.3 – Этап 1 (початок)

a)



б)



в)

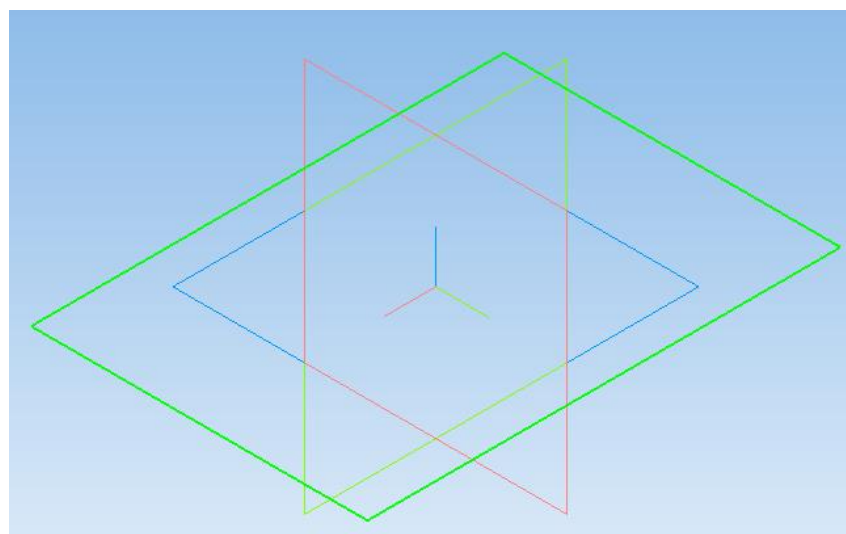
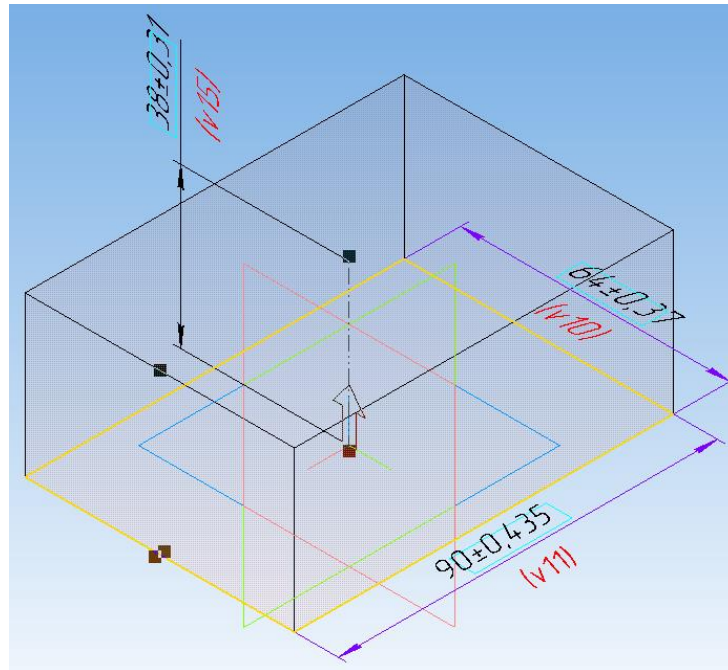


Рисунок 3.4 – Этап 1 (завершения)

Етап 2. Для подальшої будови необхідно щоб створений ескіз був виділений кольором (зазвичай, яскраво-зеленим), якщо ескіз не виділено – необхідно вибрати його у дереві будови деталі. На бічній панелі «Редагування деталі» («Редактирование детали»)  вибираємо команду «Операція витискання» («Операция выдавливания»)  і у меню даної команди вводимо у поле «Відстань 1» («Расстояние 1») значення «38» (за завданням) (рис. 3.5 а). Введення завершуємо натискаючи кнопку «Створити об'єкт» («Создать объект»)  – отримуємо паралелепіпед, що відповідає частині завдання (рис. 3.5 б).

а)



б)

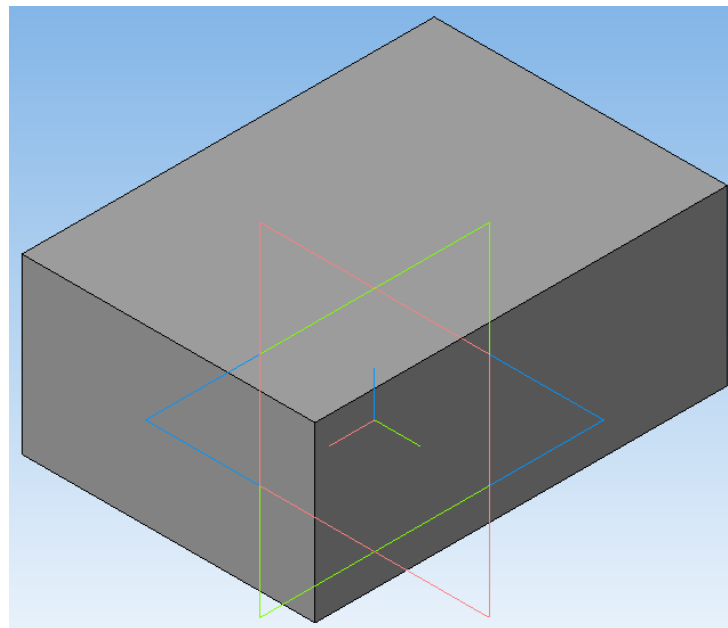
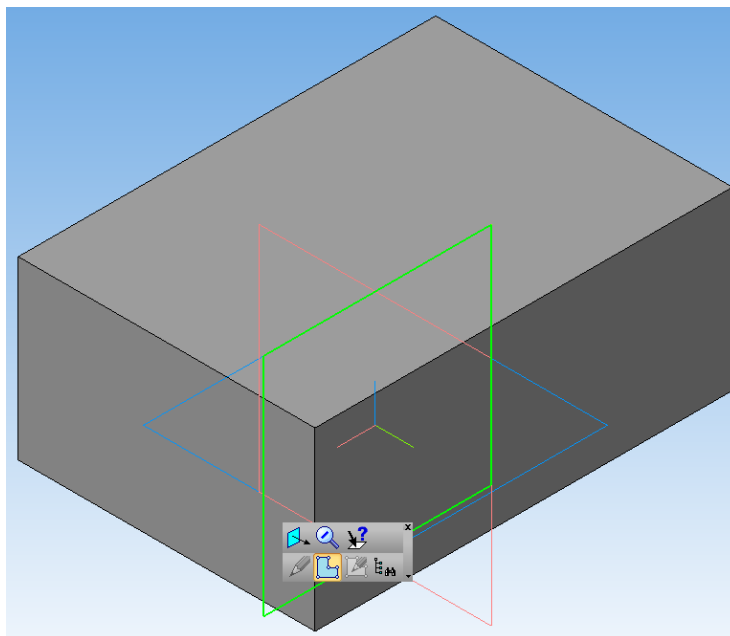


Рисунок 3.5 – Етап 2

*Етап 3.* Правою кнопкою миші обираємо фронтальну площину проєкції і натискаємо у меню, що з'явилося, команду «Ескіз» («Эскиз») (рис. 3.6 а). За допомогою команд на панелях «Геометрія» («Геометрия») будуємо зручним способом трапецію за відповідними завданню розмірами (рис. 3.6 б). Закриваємо ескіз (рис. 3.7).

а)



б)

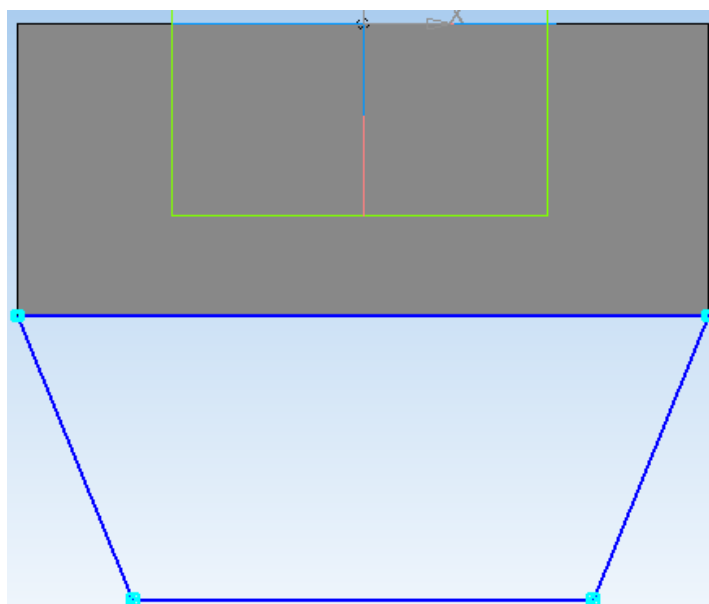


Рисунок 3.6 – Етап 3 (початок)

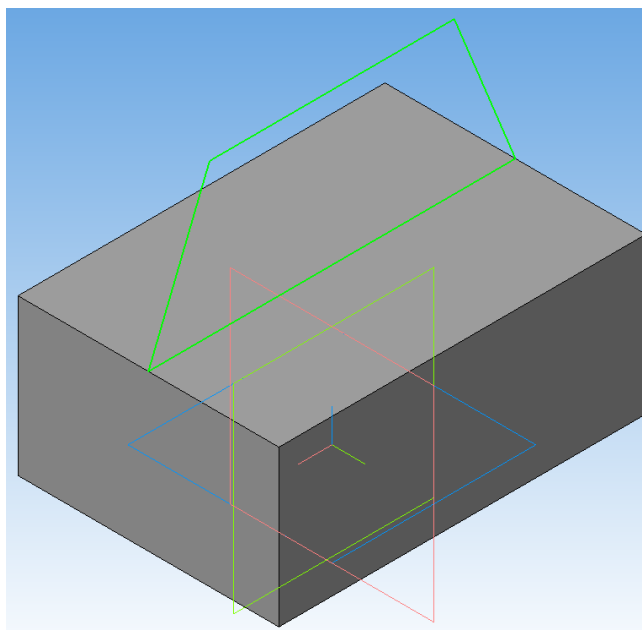


Рисунок 3.7 – Етап 3 (завершення)

*Етап 4.* На бічній панелі «Редагування деталі» («Редактирование детали») вибираємо команду «Операція витискання» («Операция выдавливания») і у меню даної команди обираємо режим «Середня площина» («Средняя плоскость»)  і вводимо у поле «Відстань 1» («Расстояние 1») значення «48» (за завданням) (рис. 3.8).

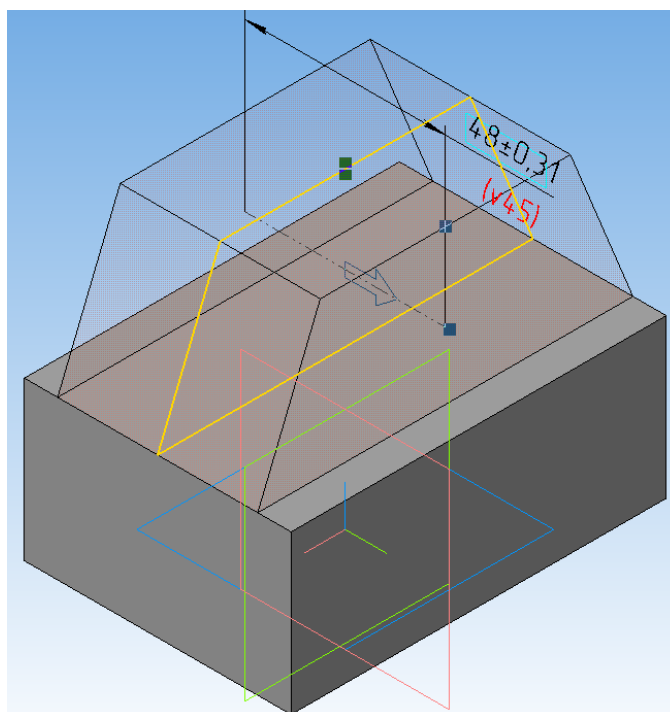


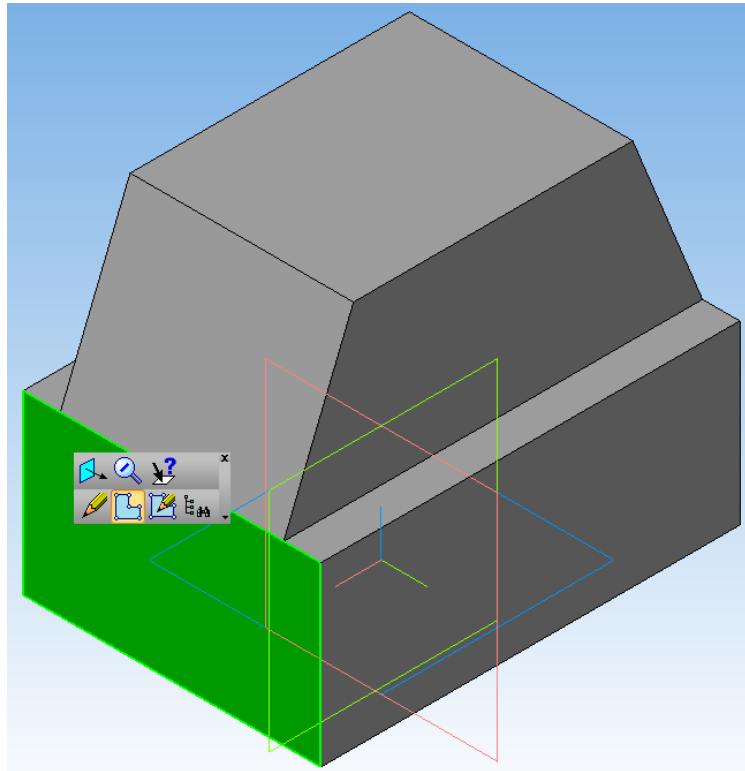
Рисунок 3.8 – Етап 4

Завершуємо будову призми натискаючи кнопку «Створити об'єкт» («Создать объект»).

*Етап 5.* Контур деталі готовий, наступним етапом необхідно створити відповідні отвори. Правою кнопкою миші обираємо бічну поверхню створеної деталі і натискаємо у меню, що з'явилося, команду «Ескіз» («Эскиз») (рис. 3.9 а).

За допомогою команд на панелях «Геометрія» («Геометрия») будуємо за відповідними завданням розмірами прямокутник (рис. 3.9 б). Закриваємо ескіз (рис. 3.10).

а)



б)

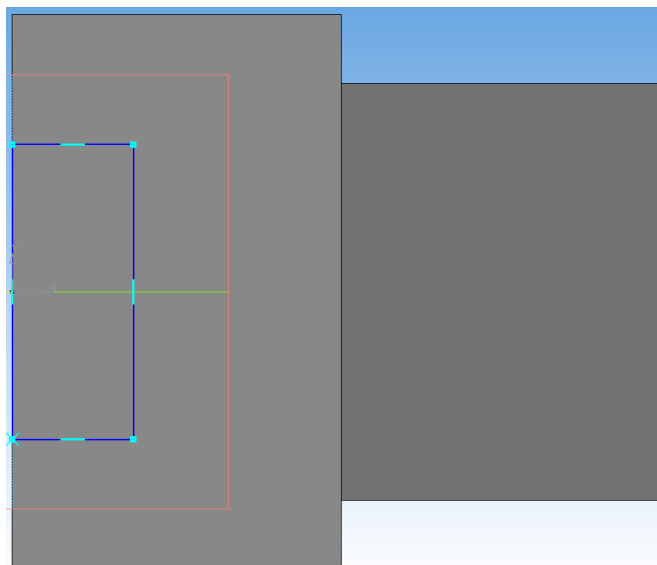


Рисунок 3.9 – Етап 5 (початок)

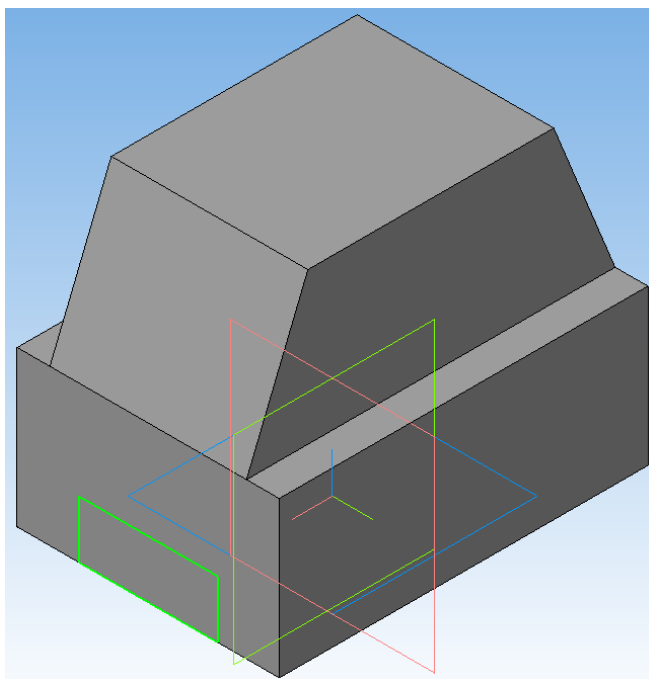


Рисунок 3.10 – Етап 5 (завершення)

*Етап 6.* Для подальшої будови необхідно щоб попередньо-створений ескіз був виділений кольором (зазвичай, яскраво-зеленим), якщо ескіз не виділено – необхідно вибрати його у дереві будови деталі. На бічній панелі «Редагування деталі» («Редактирование детали») вибираємо команду «Вирізати витисканням» («Вырезать выдавливанием»)  і у меню даної команди вибираємо «Через усе» («Через всё») . Введення завершуємо натискаючи кнопку «Створити об'єкт» («Создать объект») – отримуємо наскрізний отвір знизу фігури (рис. 3.11).

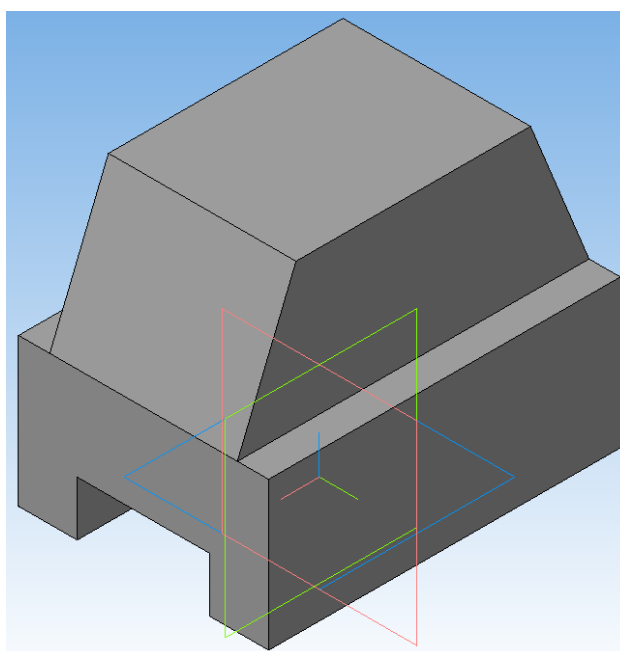
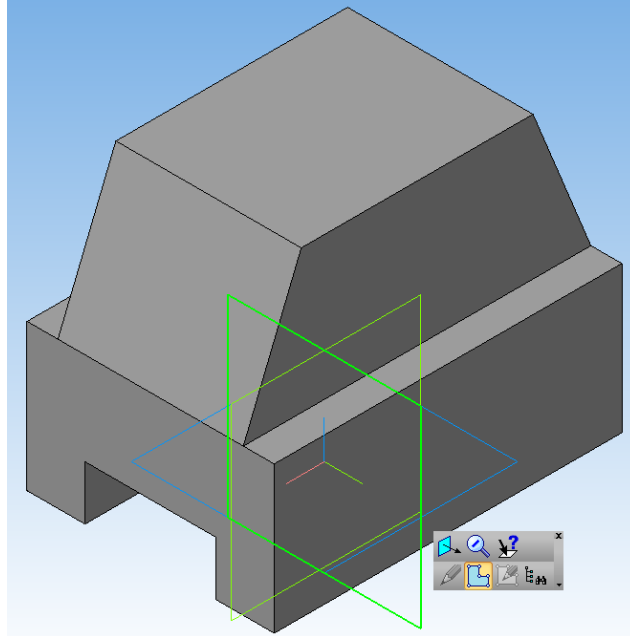


Рисунок 3.11 – Етап 6

*Етап 7.* Правою кнопкою миші обираємо профільну площину проекції і натискаємо у меню, що з'явилося, команду «Ескіз» («Эскиз») (рис. 3.12 а). За допомогою команд на панелях «Геометрія» («Геометрия») будуємо зручним способом прямокутник за відповідними завданням розмірами, що відповідає формі наскрізного отвору (рис. 3.12 б).

а)



б)

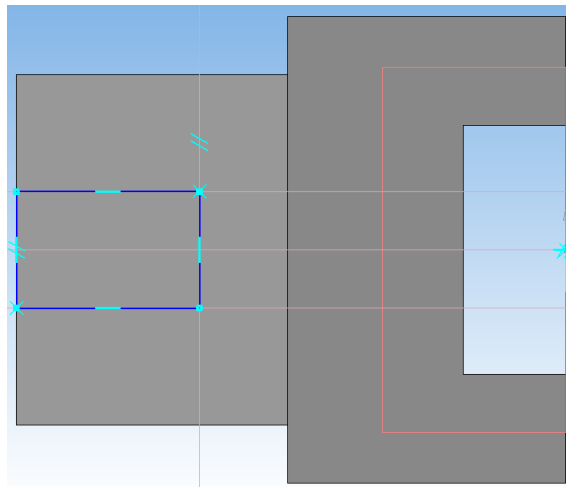
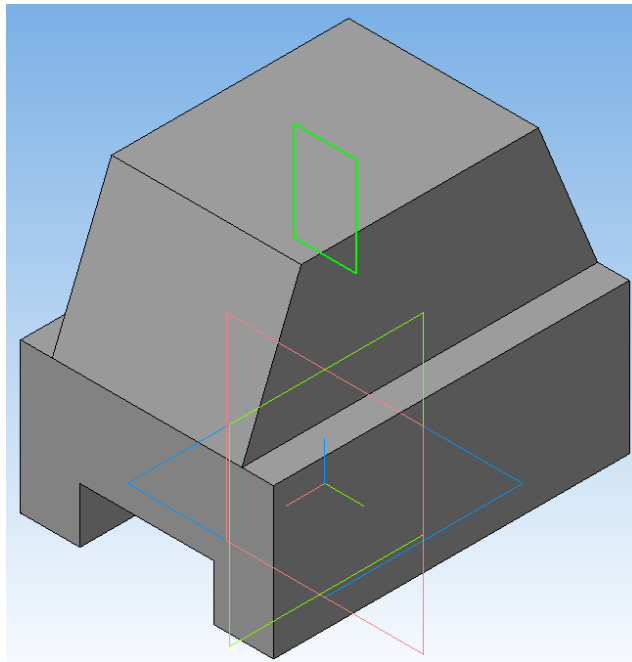


Рисунок 3.12 – Етап 7 (початок)

Закриваємо ескіз (рис. 3.13 а). На бічній панелі «Редагування деталі» («Редактирование детали») вибираємо команду «Вирізати витисканням» («Вырезать выдавливанием») і у меню даної команди вибираємо режим «Середня площина» («Средняя плоскость») і вводимо у поле «Відстань 1» («Расстояние 1») значення «90». Введення завершуємо натискаючи кнопку «Створити об'єкт» («Создать объект») – отримуємо наскрізний отвір (рис. 3.13 б).

а)



б)

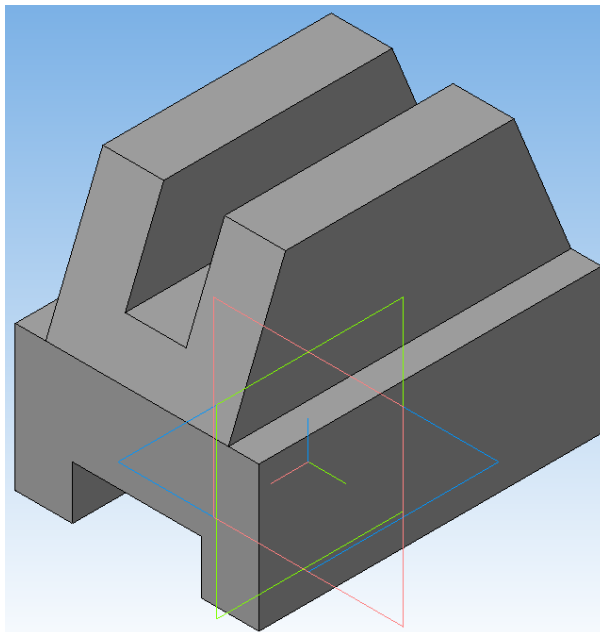
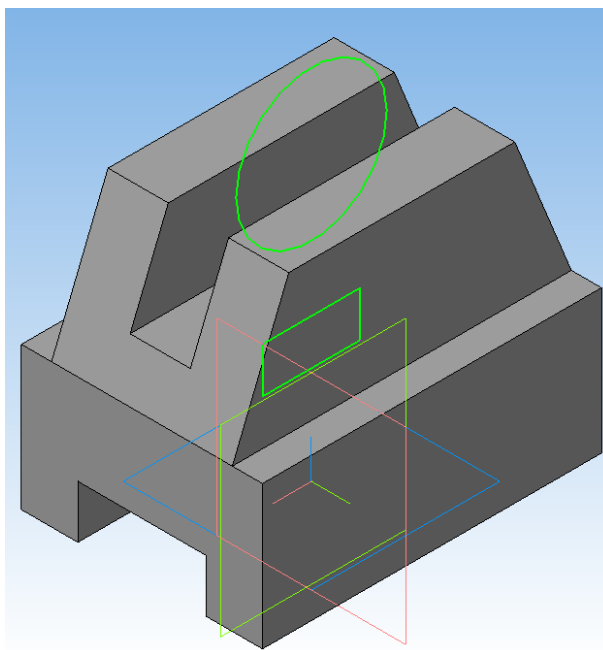


Рисунок 3.13 – Етап 7 (завершення)

*Етап 8.* Аналогічно до етапу 7 способом у фронтальній площині проєкцій створюємо отвори на бічних поверхнях нижнього паралелепіпеду і верхньої призми(рис. 3.14 а).

Для наочності обираємо у меню «Орієнтація» («Ориентация»)   Изометрия YZX. Отримаємо завершену деталь (рис. 3.14 б).

a)



б)

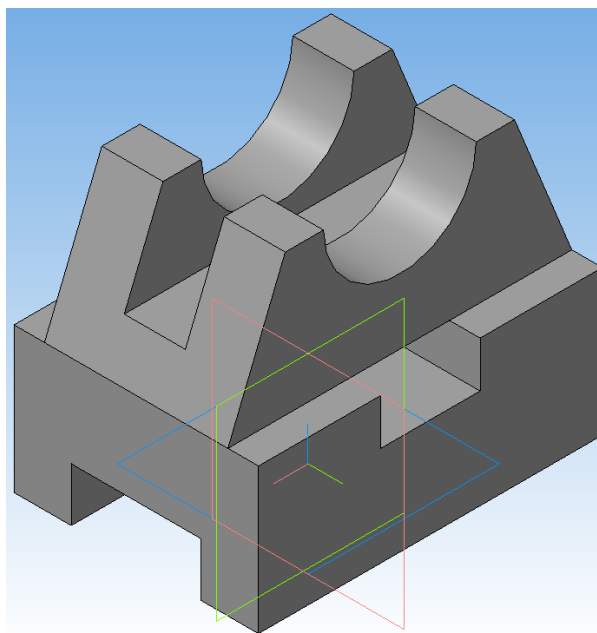


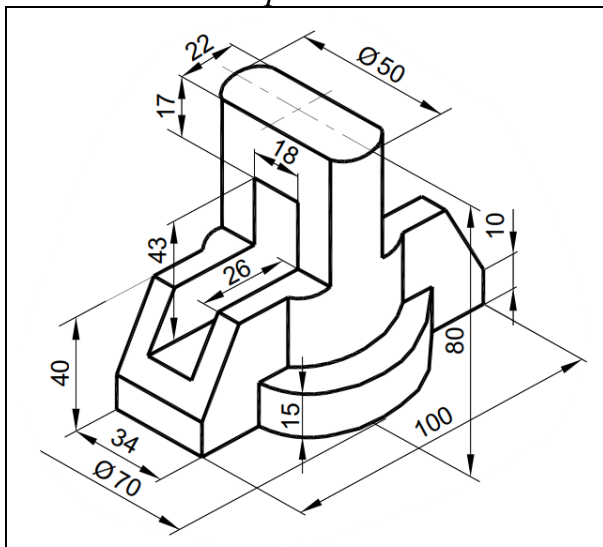
Рисунок 3.14 – Етап 8. Завершена деталь

Література: [7, 8, 9, 10, 11].

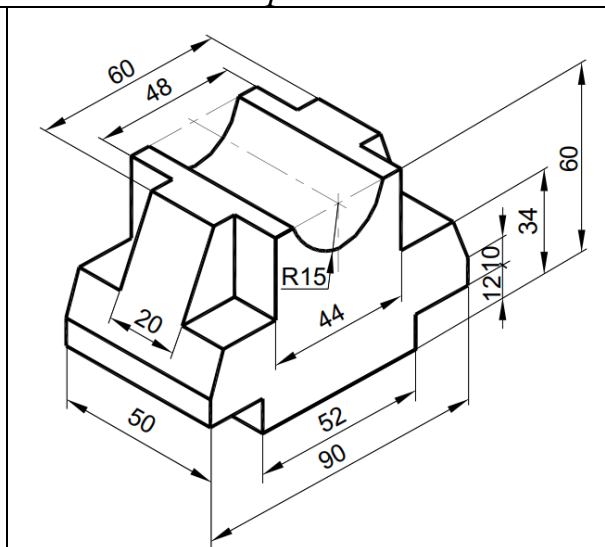
### Завдання та варіанти до виконання завдання 3.

За обраним варіантом накреслити у графічному середовищі «КОМПАС-3D» креслення деталі у просторі.

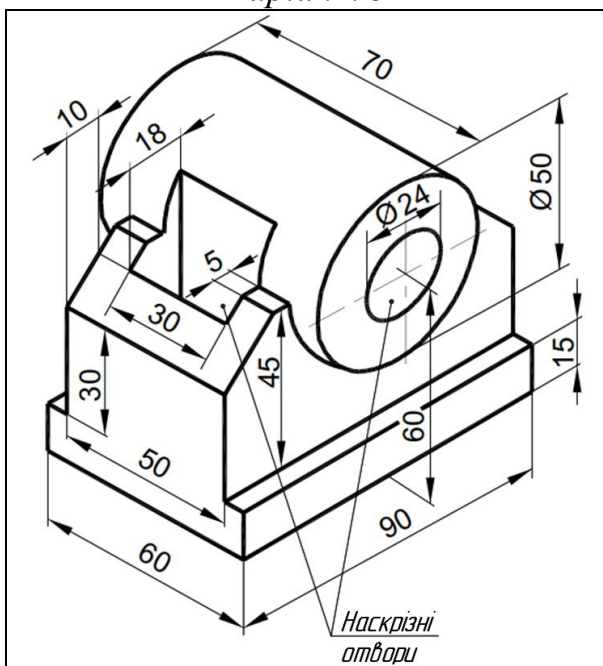
Варіант 1



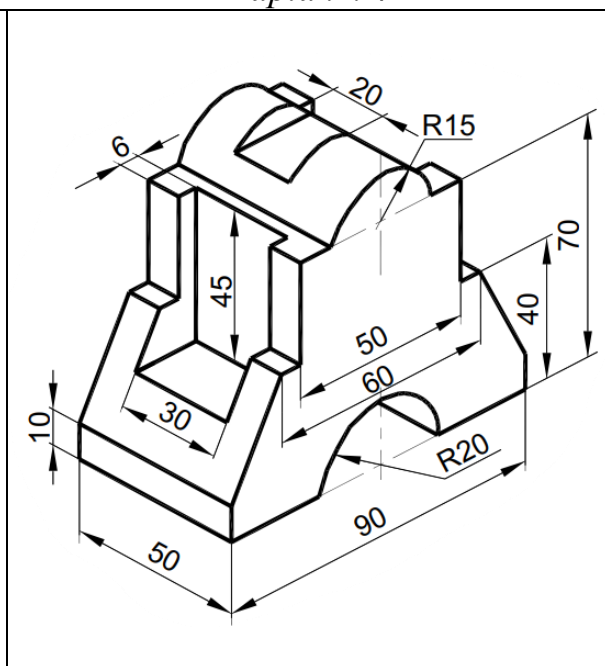
Варіант 2



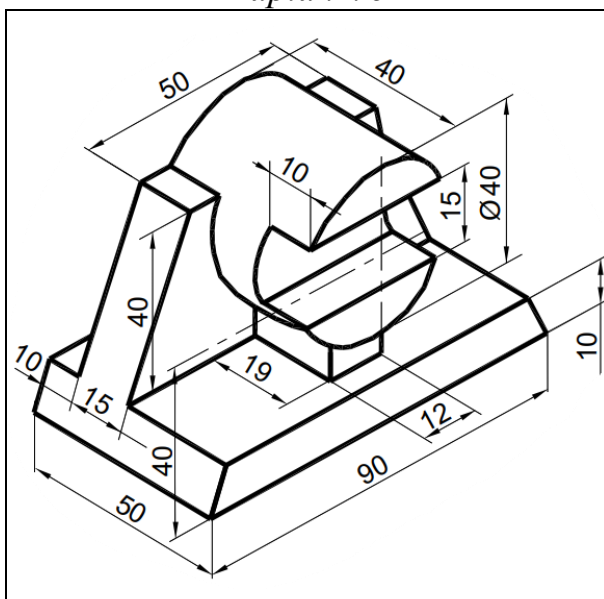
Варіант 3



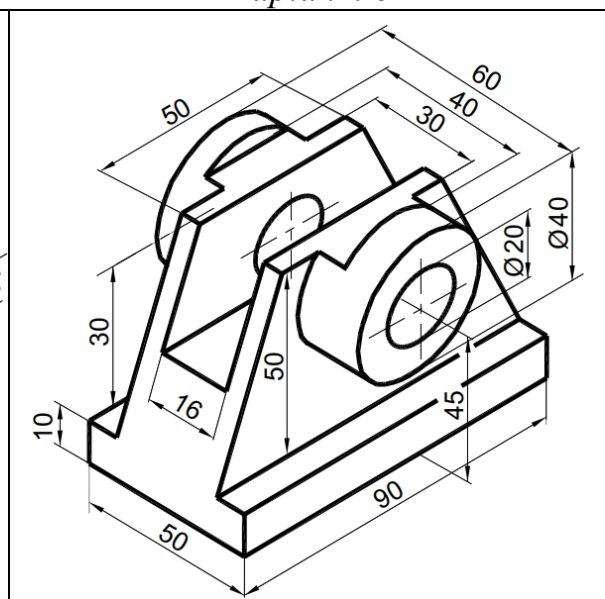
Варіант 4



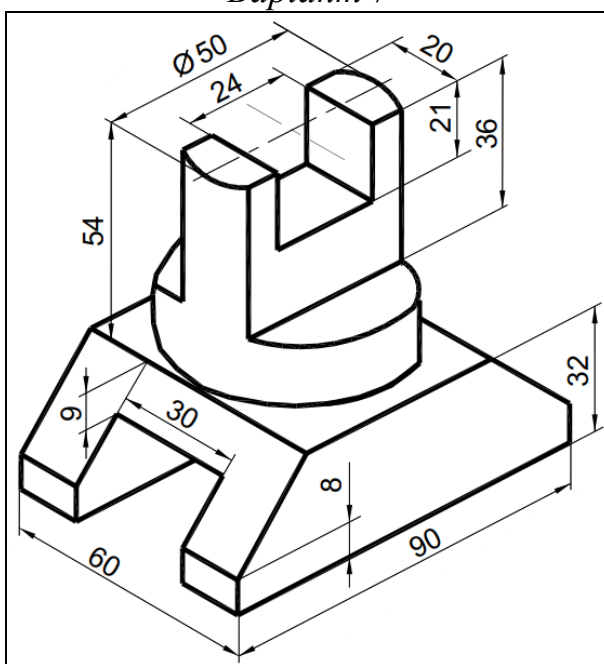
Варіант 5



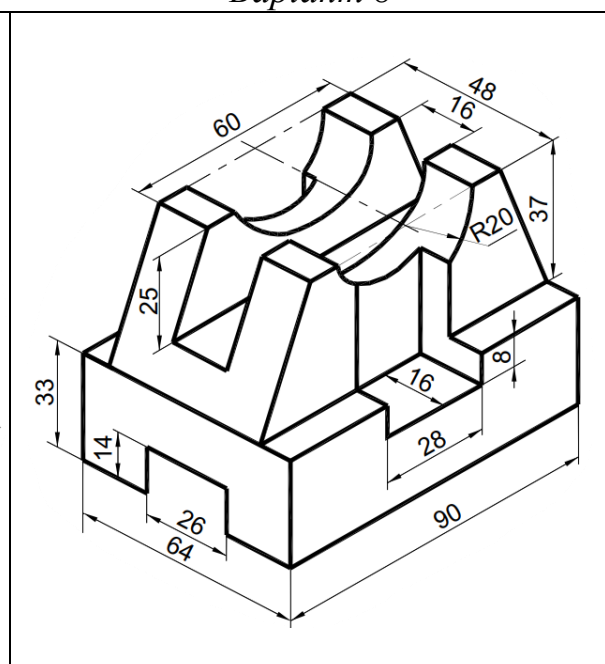
Варіант 6



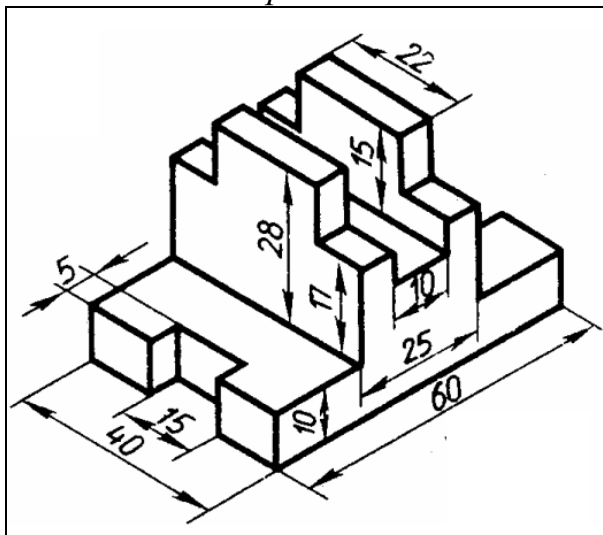
Варіант 7



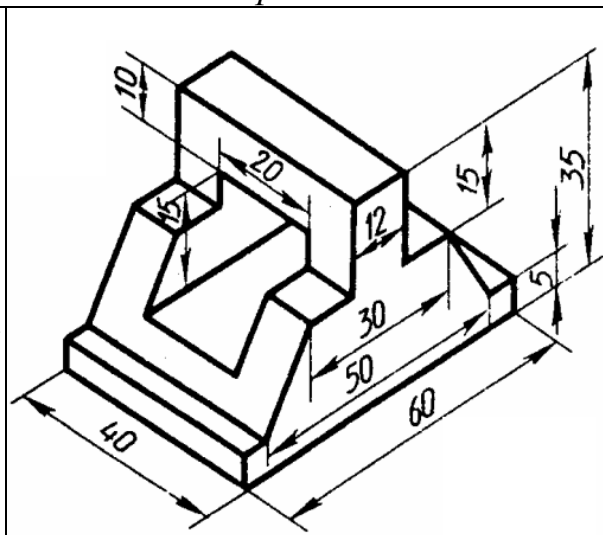
Варіант 8



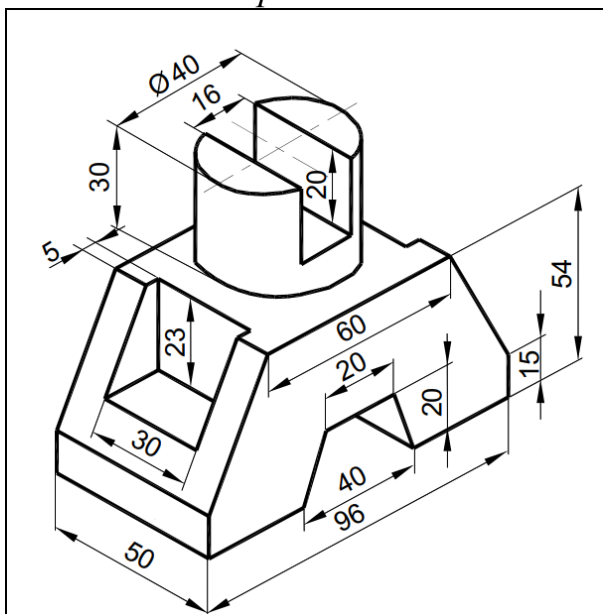
Варіант 9



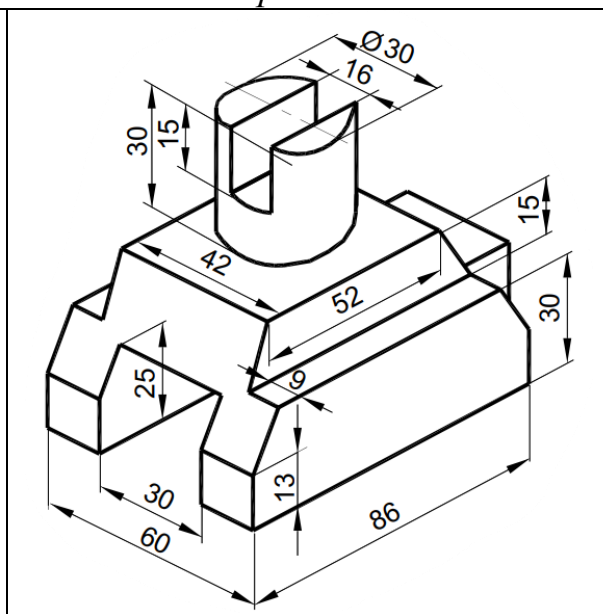
Варіант 10



Варіант 11



Варіант 12



#### Завдання №4

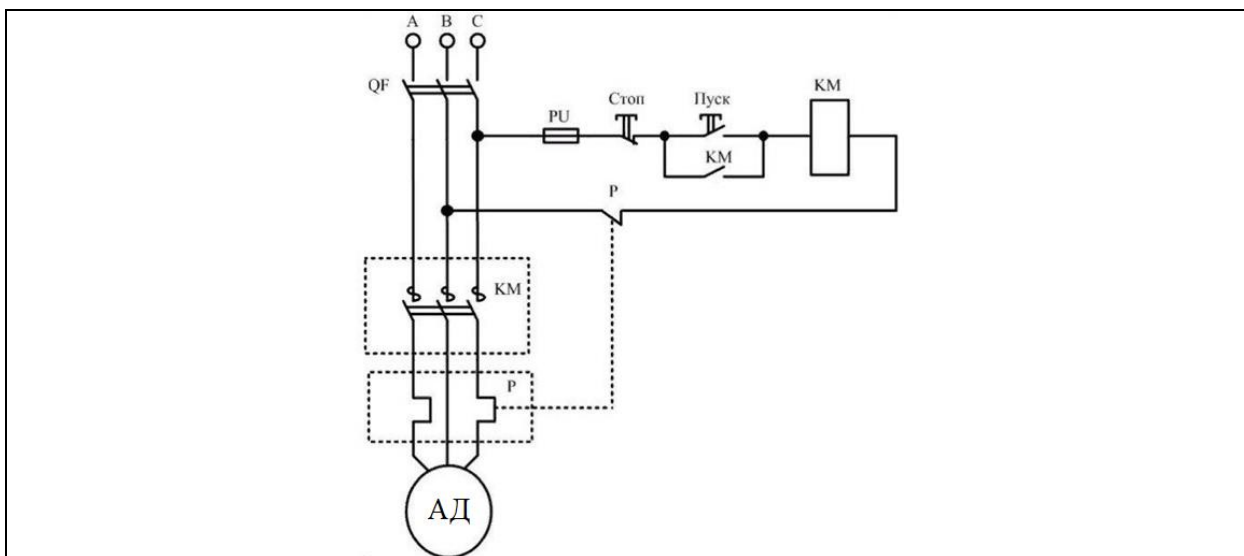
### БУДОВА У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB\_SIMULINK МОДЕЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

*Мета роботи:* Набути навичок будови у середовищі Matlab\_Simulink моделей енергетичних систем.

#### Рекомендації до виконання завдання

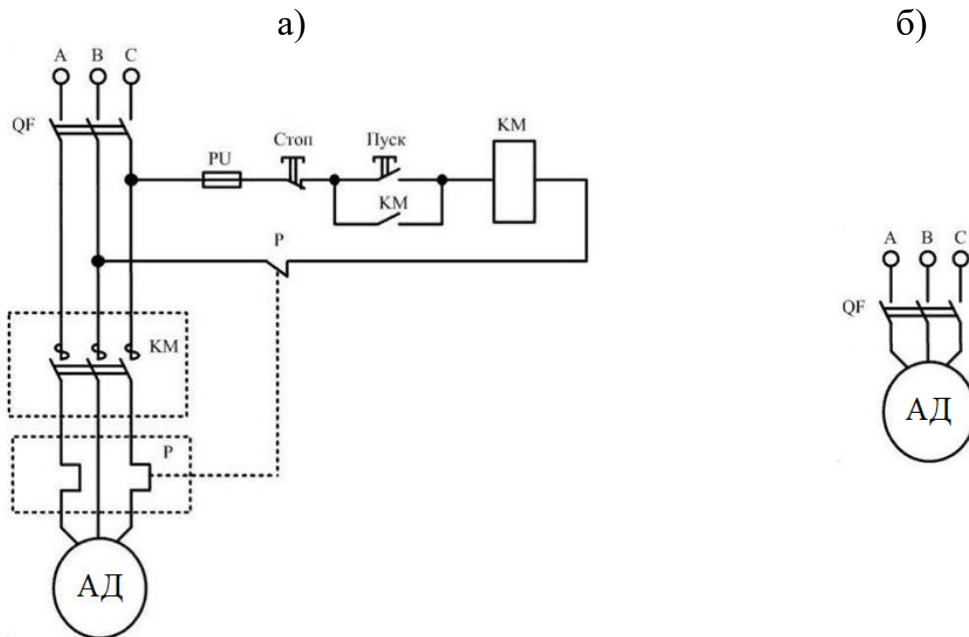
Завдання: у підсистемі Simulink програмного середовища Matlab створити модель пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та побудувати графіки, що ілюструють даний процес:

- зміну векторів струму в обмотках асинхронного двигуна в часі,
- зміну частоти обертання двигуна в часі,
- зміну крутного моменту на валу двигуна в часі,
- зміну швидкість обертання валу двигуна в часі.



| Показник                                  | Значення показника |
|-------------------------------------------|--------------------|
| Повна потужність двигуна, кВА             | 110                |
| Частота обертання валу двигуна, об/хв.    | 1500               |
| Лінійна напруга живлення, В               | 380                |
| Фазна напруга живлення, В                 | 220                |
| Частота напруги живлення, Гн              | 50                 |
| Потокозчеплення, Гн                       | 0,01038            |
| Число пар полюсів                         | 2                  |
| Активний опір обмотки статора, Ом         | 0,02155            |
| Індуктивність обмотки статора, Гн         | 0,000226           |
| Активний опір обмотки ротора, Ом          | 0,01231            |
| Індуктивність обмотки статора, Гн         | 0,000226           |
| Інерція ротора двигуна, кг·м <sup>2</sup> | 2.3                |

Для того, щоб побудувати модель прямого пуску асинхронного двигуна (АД) з короткозамкненим ротором необхідно оглянути принципову схему даного процесу – рис. 4.1 а.



А, В, С – фази електромережі живлення, QF – вимикач (роз'єднувач), PU – запобіжник ланцюга керування, «Стоп» – кнопковий пост зупинки двигуна, «Пуск» – кнопковий пост пуску двигуна, КМ – контакти реле «КМ», Р – теплові реле і його розмикаючий контакт

Рисунок 4.1 – Принципова схема прямого пуску асинхронного двигуна

При прямому пуску АД живлення безпосередньо подається на обмотки двигуна. На схемі показано також ланцюг пуску, що складається із запобіжника; кнопкових постів пуску і зупинки двигуна; реле, що здійснює замикання відповідних силових ланцюгів та самого ланцюга керування; розмикаючого контакту теплового реле. Для спрощення створення моделі виключимо з неї ланцюг керування (рис. 4.1 б).

Безумовно, для створення моделі та відображення результатів її роботи необхідно буде використати додаткові елементи. Так, окрім асинхронного двигуна та вмикаючого пристрою, необхідно мати джерело живлення, реалізувати зовнішній вплив від навантаження, пристрої виведення та інші.

Запускаємо програмне середовище Matlab .

У вікні, що відкрилося, на панелі інструментів знаходимо підсистему Simulink і «натискаємо» відповідну кнопку – рис. 4.2 а. У діалоговому вікні, що відкрилося, натискаємо вкладку створення нової моделі – рис. 4.2 б. Якщо ви продовжуєте роботу над моделлю, яку було створено недавно, то її назва буде розміщена з правого боку на панелі швидкого доступу «Recent». У разі необхідності відкриття іншої моделі скористайтеся командою «Open...».

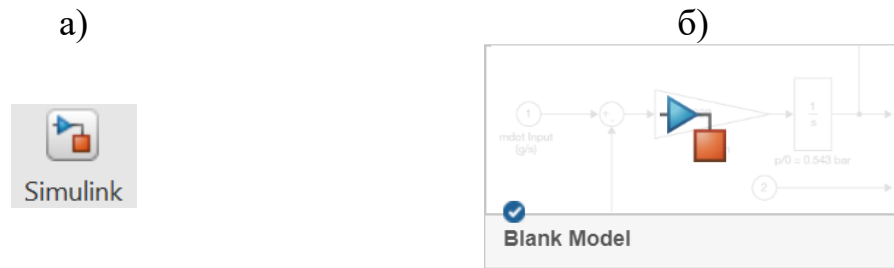


Рисунок 4.2 – Відкриття підсистеми Simulink та створення бланку нової моделі

Для створення моделі необхідно з бібліотеки Simulink дістати окремі блоки (рис. 4.3):

- блок «Asynchronous Machine SI Units» – програмна реалізація асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором,
- блок «Three-Phase Source» – трифазне джерело живлення,
- блок «Three-Phase Breaker» – трифазний перемикач,
- блок «Step» – реалізація зовнішнього впливу від навантаження,
- блок «Bus Selector» – шина розділення даних,
- блок «Bus Creator» – шина збору даних,
- блок «XY Graph» – реалізація ортогональної системи координат,
- блок «Scope» – реалізація осцилографа,
- блок «Gain» – реалізація математичної операції перетворення,
- блок «Powergui» – завдання розрахункових операцій.

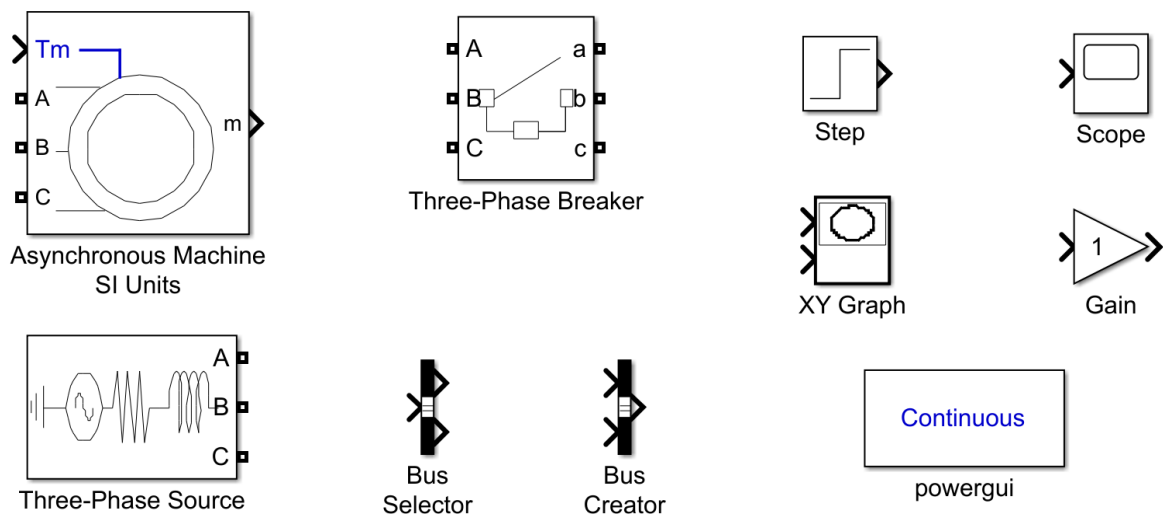


Рисунок 4.3 – Набір блоків для створення моделі

Збережіть створену модель, з урахуванням того, що назва файлу повинна містити лише малі літери латинського алфавіту, наприклад, «ad\_pr\_pusk».

Наведені на рис. 4.3 блоки представлені стандартизовано і їх необхідно привести до вигляду, що задовольняє нашій роботі. Змінити

властивості блоків можна двічі швидко натиснувши на відповідний блок для доступу до меню даного блоку.

Параметри блоку «Asynchronous Machine SI Units» наведено на рис. 4.4 – 4.6.

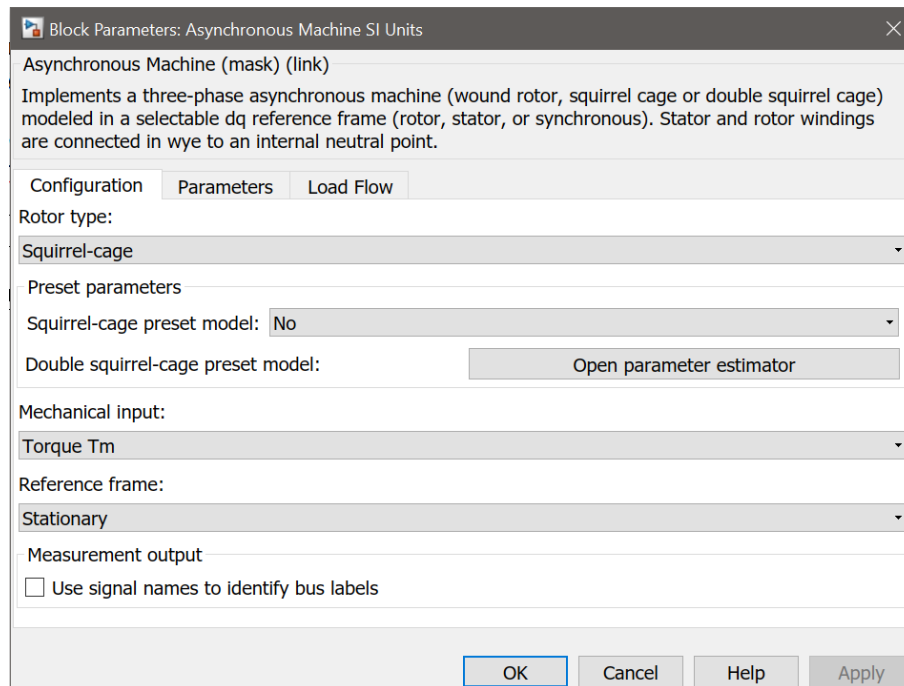


Рисунок 4.4 – Параметри блоку «Asynchronous Machine SI Units» (вкладка «Configuration»)

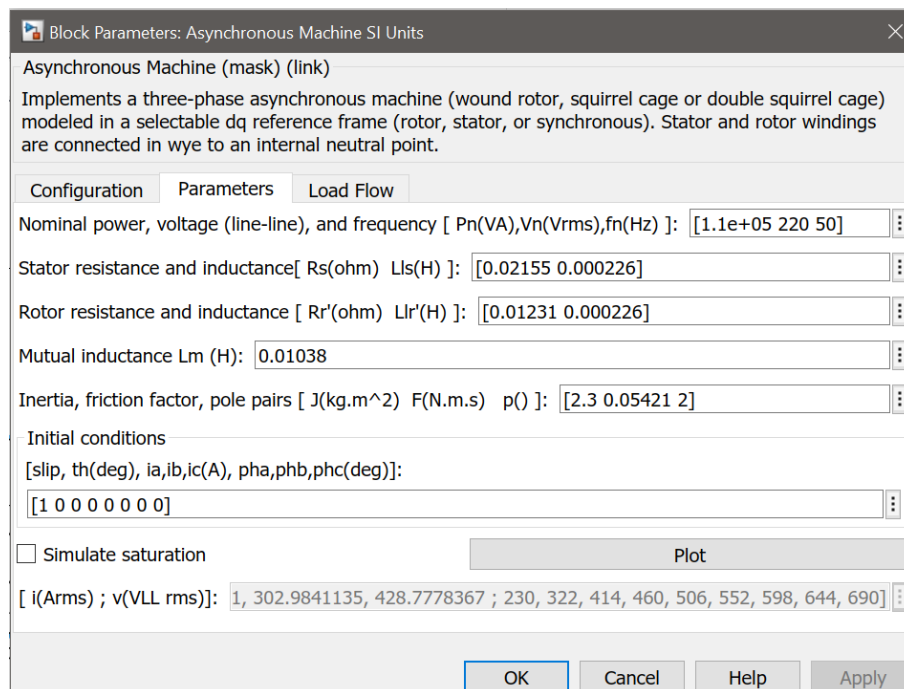


Рисунок 4.5 – Параметри блоку «Asynchronous Machine SI Units» (вкладка «Parameters»)

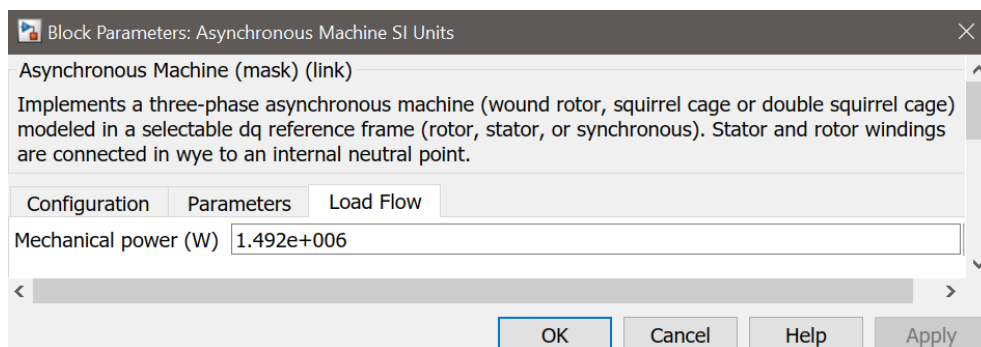


Рисунок 4.6 – Параметры блока «Asynchronous Machine SI Units» (вкладка «Load Flow»)

Параметры блока «Three-Phase Source» наведено на рис. 4.7, 4.8.

Параметры блока «Three-Phase Breaker» наведено на рис. 4.9.

Параметры блока «Step» наведено на рис. 4.10, 4.11.

Параметры блока «XY Graph» наведено на рис. 4.12.

Параметры блока «Gain» наведено на рис. 4.13.

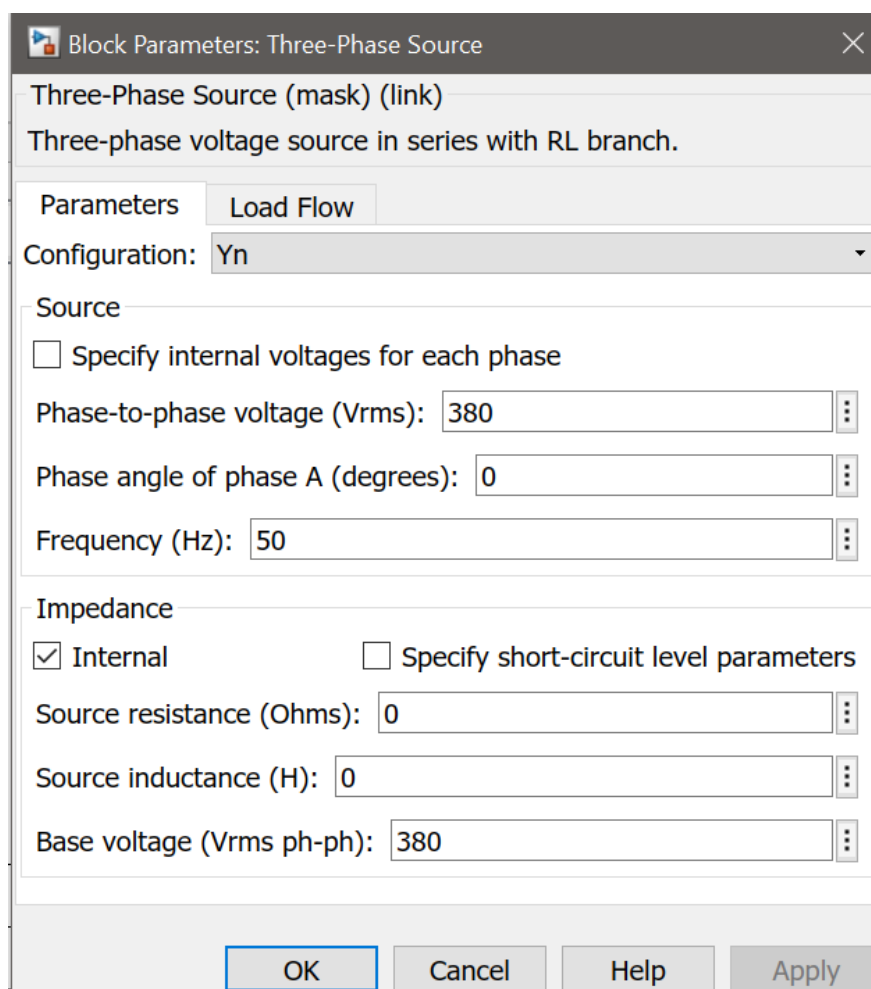


Рисунок 4.7 – Параметры блока «Three-Phase Source» (вкладка «Parameters»)

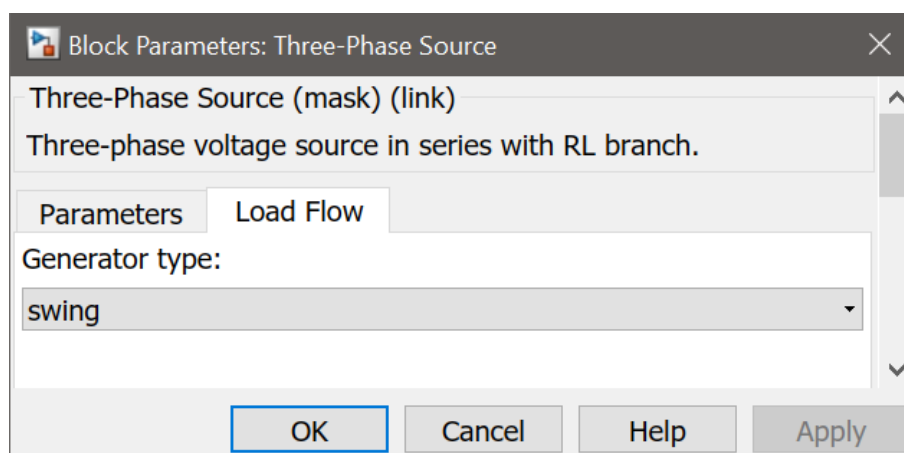


Рисунок 4.8 – Параметры блока «Three-Phase Source» (вкладка «Load Flow»)

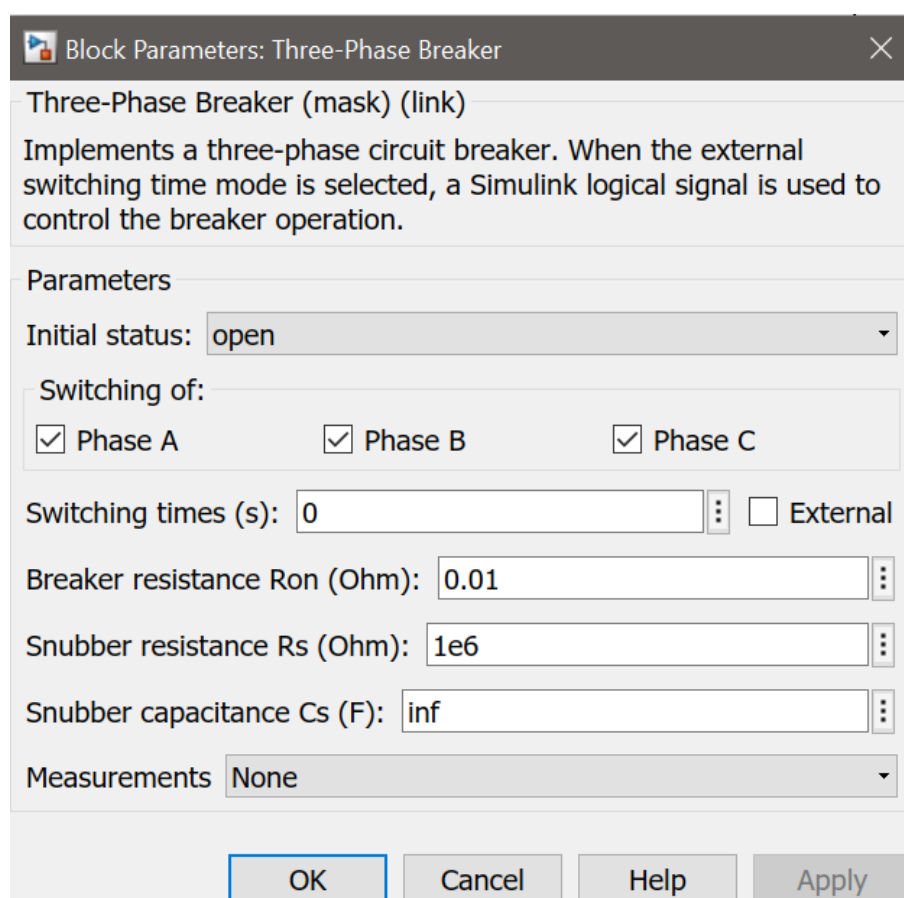


Рисунок 4.9 – Параметры блока «Three-Phase Breaker»

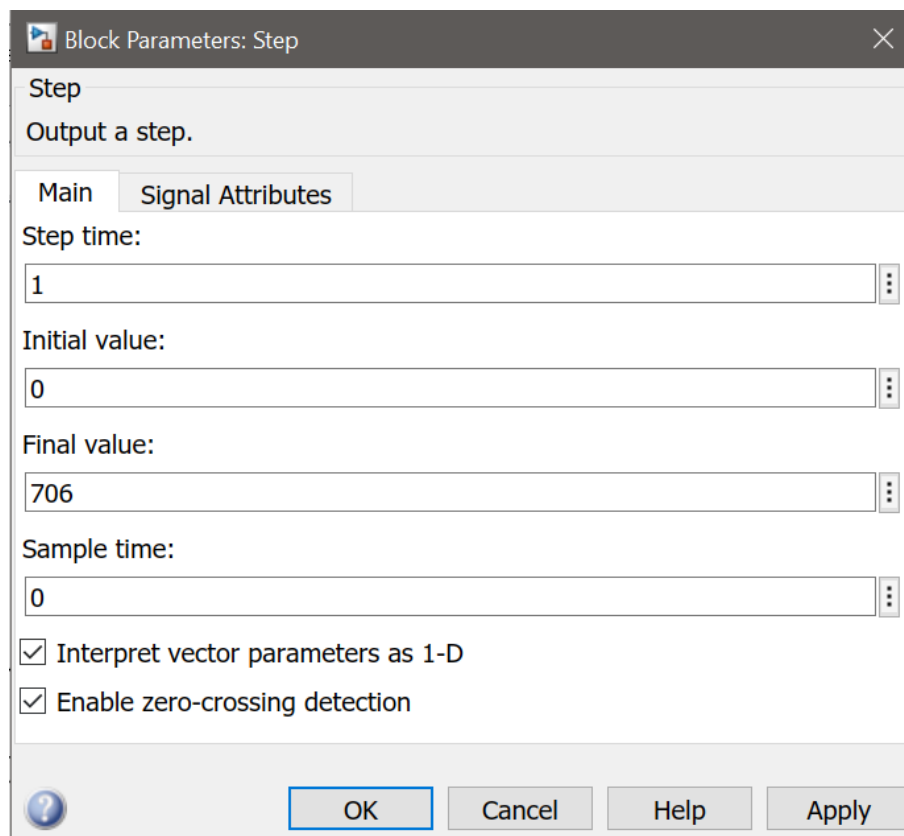


Рисунок 4.10 – Параметры блока «Step» (вкладка «Main»)

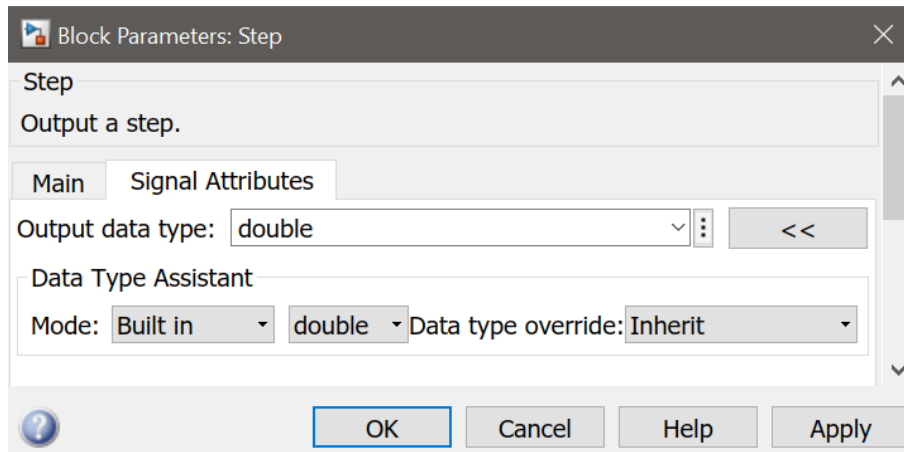


Рисунок 4.11 – Параметры блока «Step» (вкладка «Signal Attributes»)

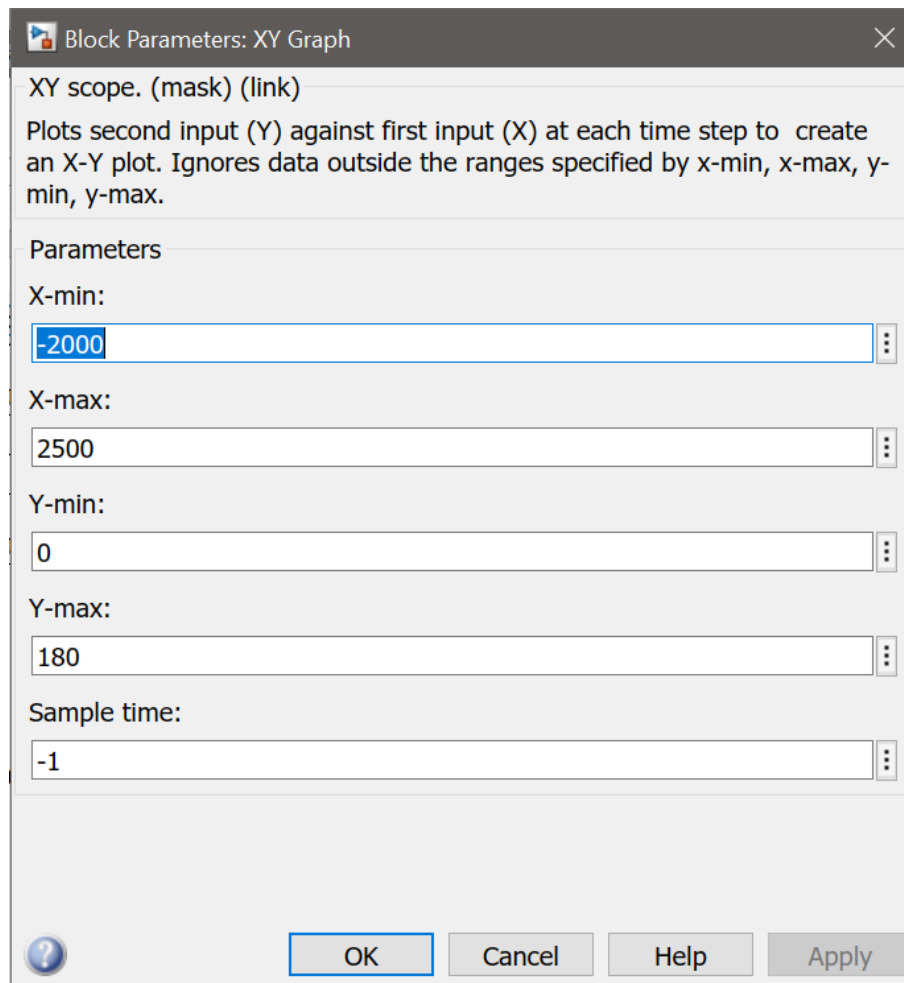


Рисунок 4.12 – Параметри блоку «XY Graph»

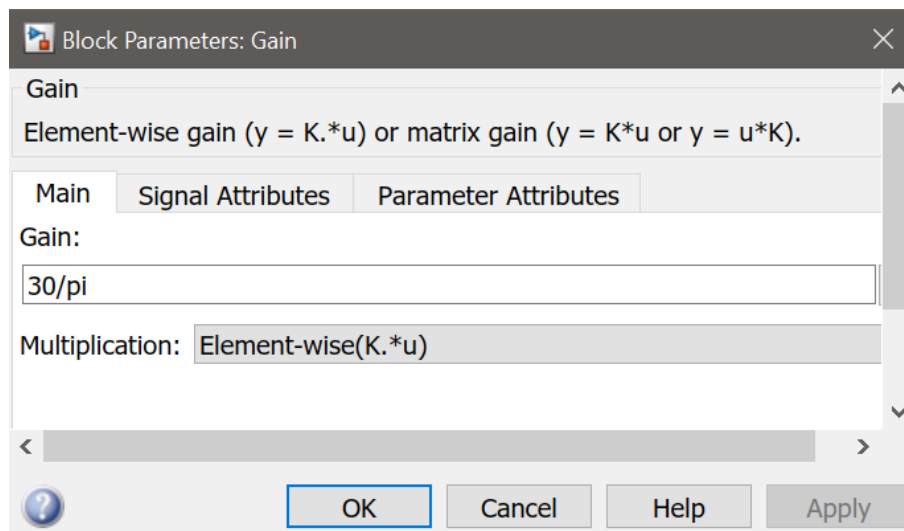


Рисунок 4.13 – Параметри блоку «Gain»

Параметри блоків «Bus Selector», «Bus Creator» і «Scope» будуть налаштовані у процесі будови моделі.

Для наочності та компактності моделі програмне середовище дозволяє повертати блоки і зображувати їх дзеркально. Для цього натискаємо правою кнопкою миші на відповідному блоці та у меню, що з'явилося обираємо необхідну дію над блоком (рис. 4.14).

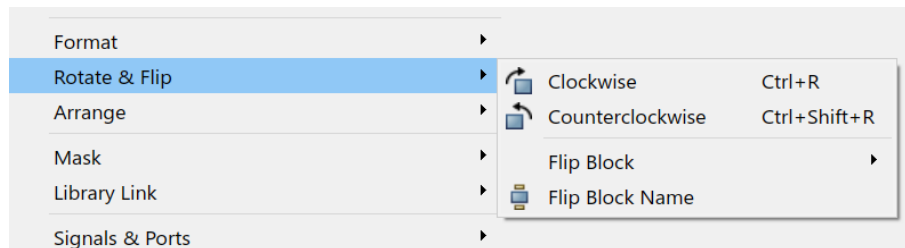


Рисунок 4.14 – Частина меню для зміни орієнтації блоку у просторі

Після зміни орієнтації блоків їх необхідно розташувати по полю рівномірно і так, щоб вони не торкались один одного (рис. 4.15).

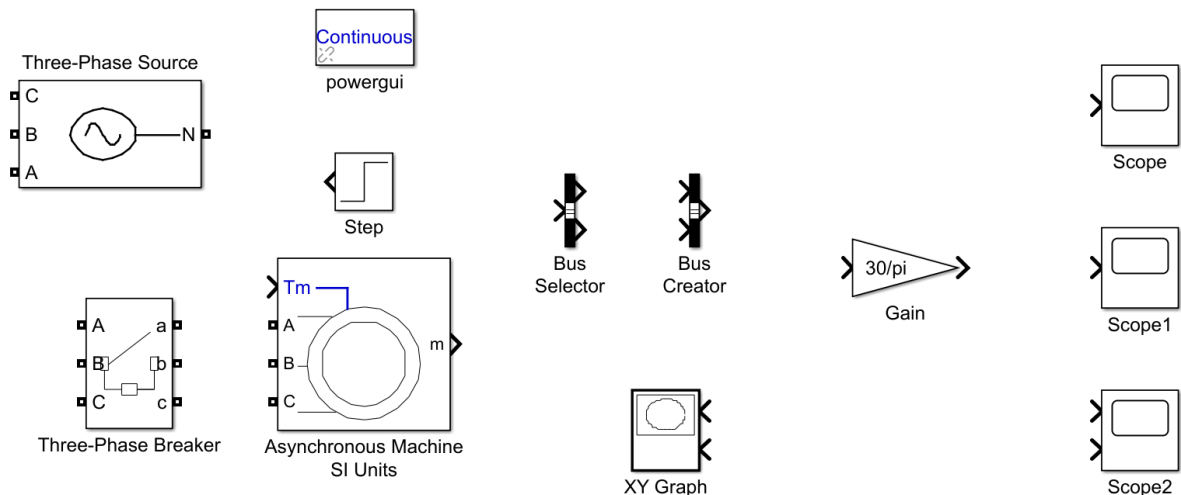


Рисунок 4.15 – Розташування блоків по полю для створення моделі

Послідовно з'єднуємо блоки лініями зв'язку натискаючи ліву кнопку миші на затискачі одного блоку і відпускаючи її на затискачі іншого.

На першому етапі з'єднуємо блоки «Three-Phase Source», «Asynchronous Machine SI Units», «Three-Phase Breaker», «Step» і «Bus Selector» (рис. 4.16).

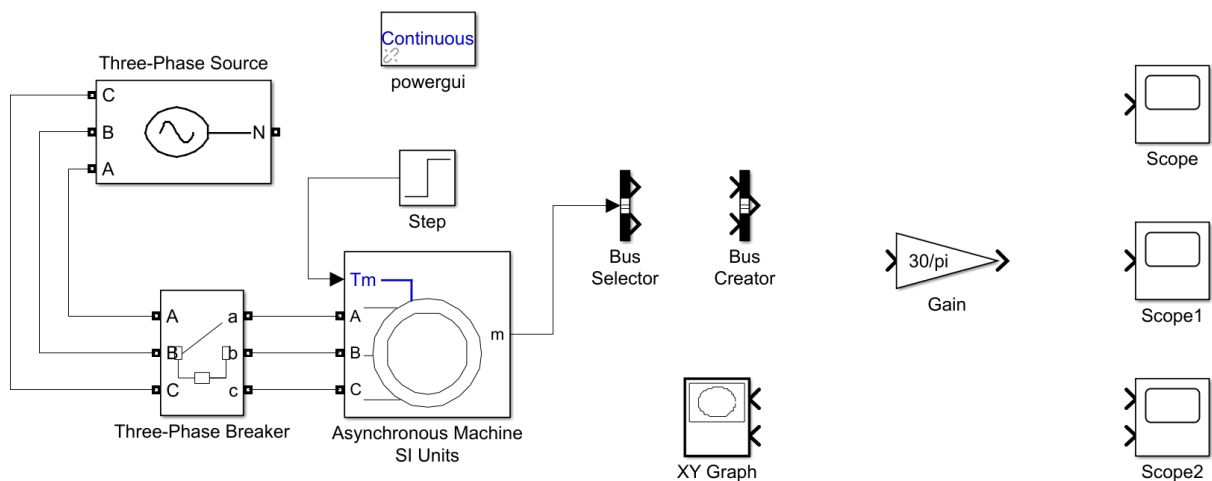


Рисунок 4.16 – Перший етап створення моделі

Натиснувши двічі лівою кнопкою миші на блоці «Bus Selector» на екрані побачимо його меню (рис. 4.17).

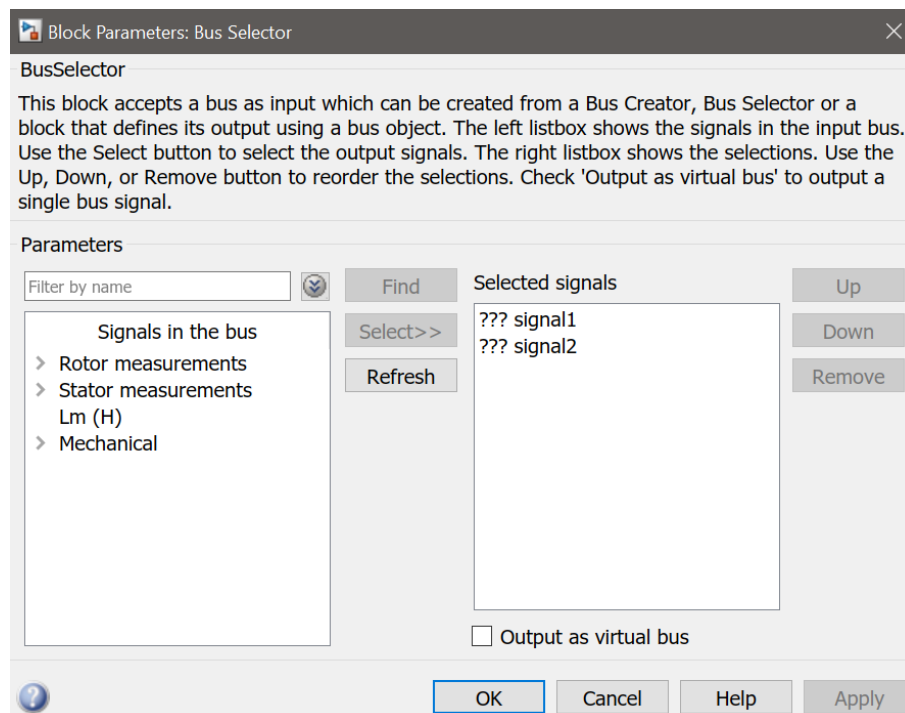


Рисунок 4.17 – Меню блоку «Bus Selector»

У правому вікні «Selected signals» меню послідовно виділяємо та видаляємо написи «??? signail1» і «??? signal2» та розкриваємо у лівому вікні «Parameters» пункти «> Stator measurements», «> Mechanical» (рис. 4.18).

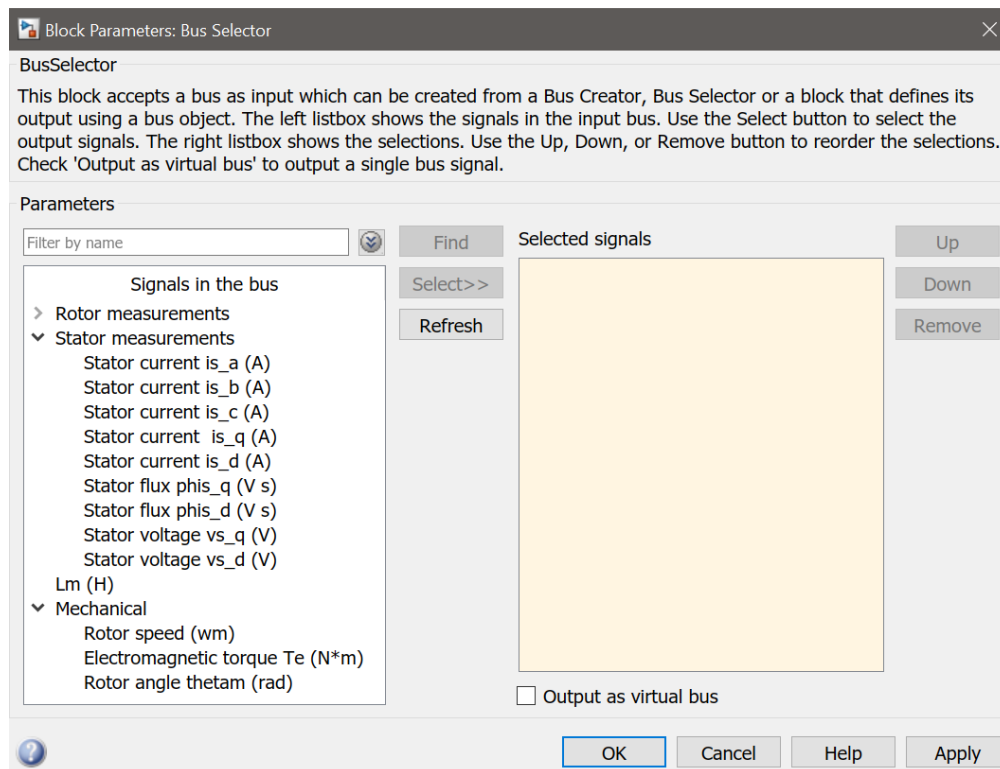


Рисунок 4.18 – Меню блоку «Bus Selector»

Почергово виділяючи у лівому вікні «Parameters» параметри «Stator current is\_a (A)», «Stator current is\_b (A)», «Stator current is\_c (A)», «Rotor speed (wm)» і «Electromagnetic torque Te (N\*m)» за допомогою кнопки **Select>>** переносимо у праве вікно «Selected signals» (рис. 4.19).

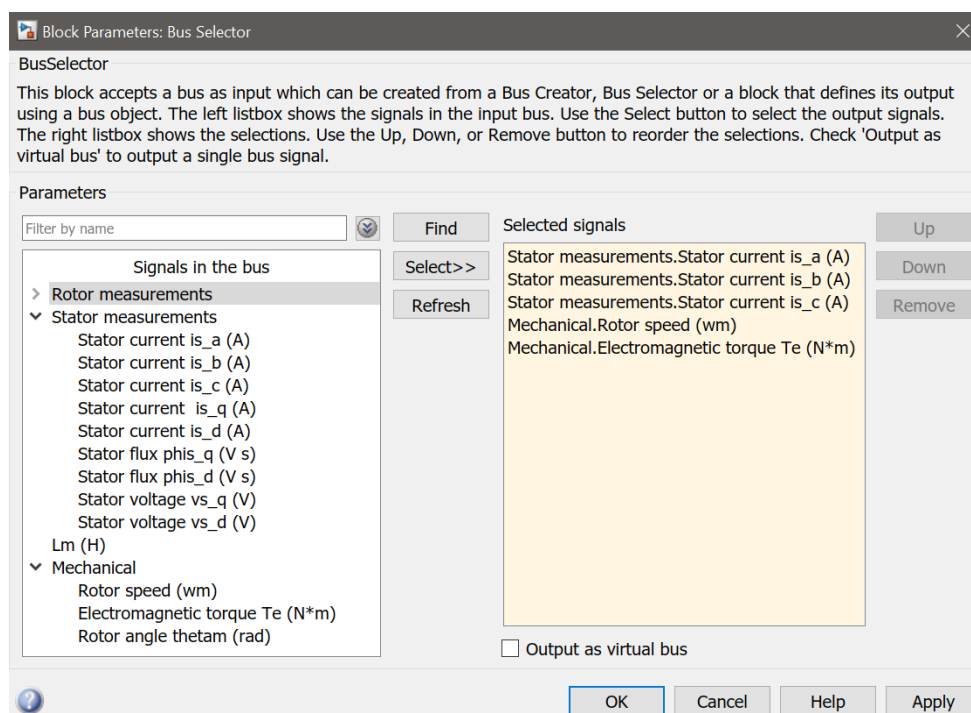


Рисунок 4.19 – Остаточний вигляд меню блоку «Bus Selector»

Відкриваємо меню блоку «Bus Creator» і встановлюємо кількість вхідних портів «Number of inputs» дорівнюючим «3» (рис. 4.20).

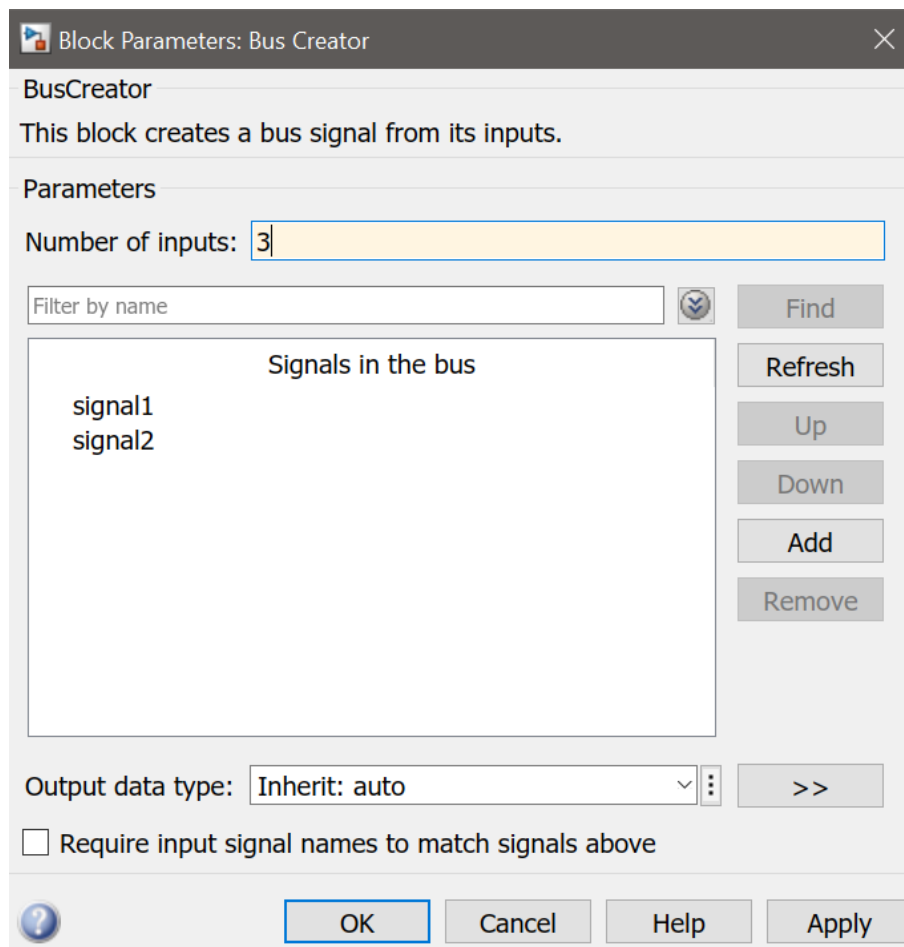


Рисунок 4.20 – Меню блоку «Bus Creator»

З'єднуємо лініями зв'язку решту блоків (рис. 4.21).

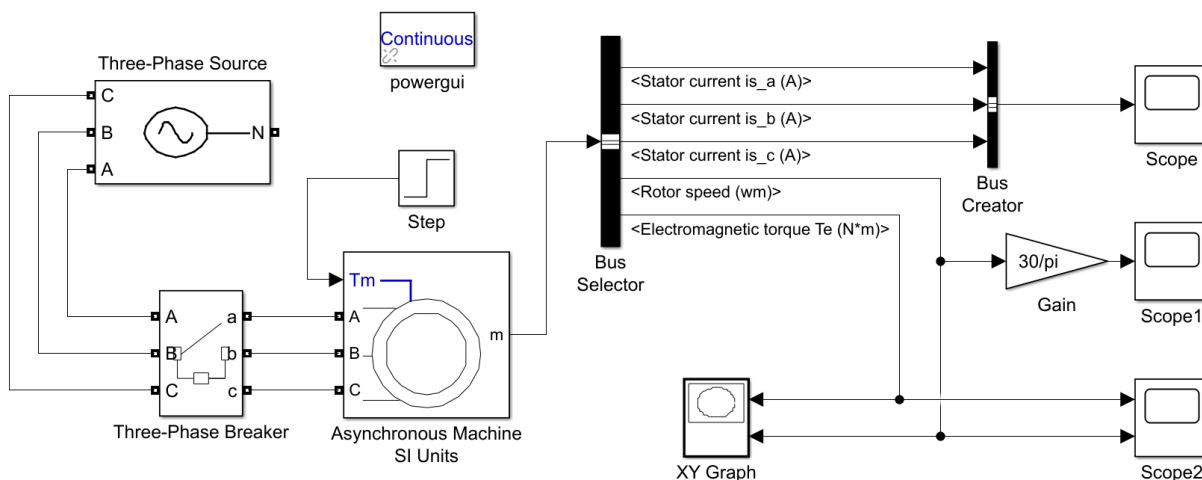


Рисунок 4.21 – Створена модель прямого пуску двигуна

Для здійснення моделювання необхідно задати параметри обчислювача. Для цього на панелі інструментів обираємо вкладку «FORMAT», а в ній команду «Model Settings» . У меню цієї команди у строчці «Stop time» встановить значення «2», а у строчці «Solver» необхідно обрати режим розрахунку «ode23t (mod. stiff/Trapezoidal)». Модель готова до проведення симуляції.

Для моделювання на панелі інструментів переходимо до вкладки «SIMULATION» і натискаємо кнопку «Run» .

Під час процесу моделювання на екран виводиться результат обчислень і графік у блоці «XY Graph» (рис. 4.22). Вздовж осі «X Axis» відраховується крутний момент на валу двигуна, вздовж осі «Y Axis» – зміна швидкості обертання валу двигуна.

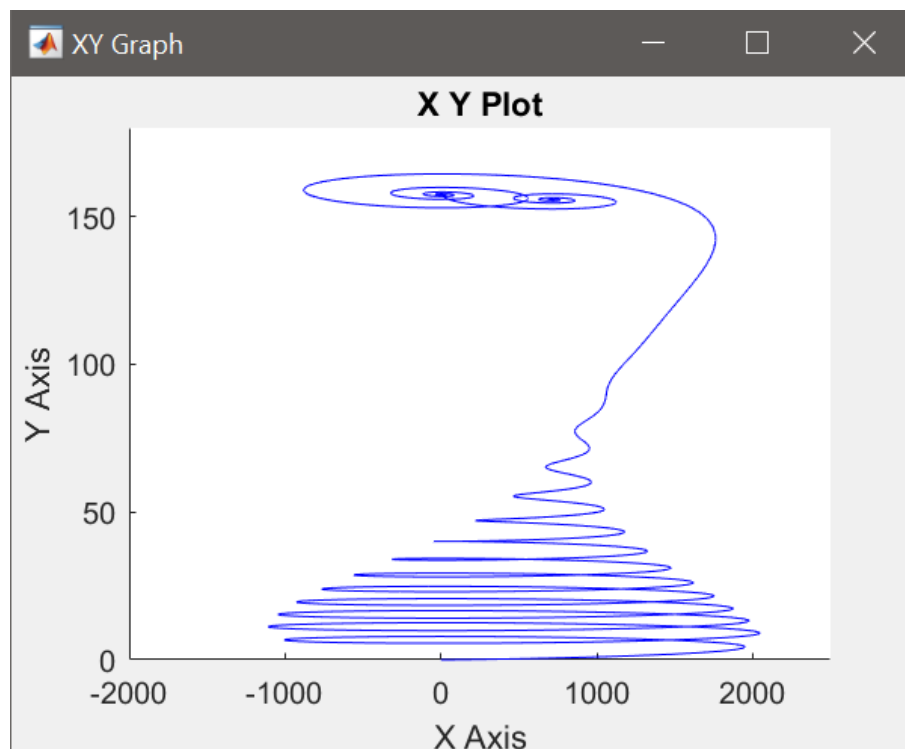


Рисунок 4.22 – Результати роботи блоку «XY Graph»

Для того, щоб побачити результати зміни векторів струму в обмотках АД в часі, двічі швидко натискаємо лівою кнопкою миші на блок «Score» – побачимо графік (рис. 4.23).

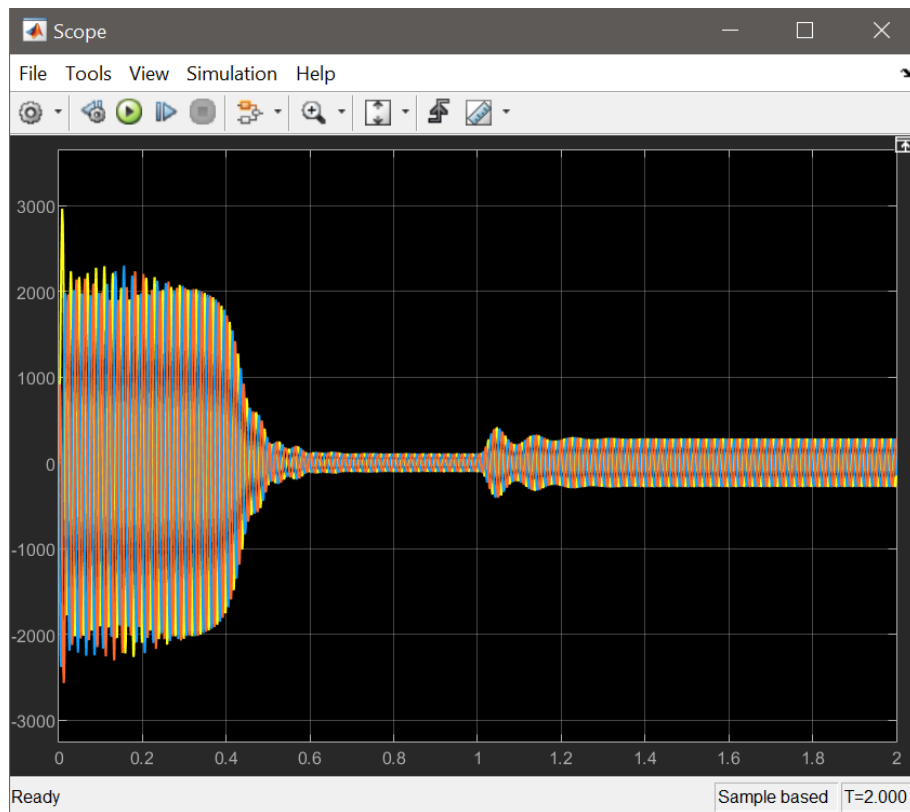


Рисунок 4.23 – Зміна векторів струму в обмотках АД в часі

Двічі, швидко натискаючи лівою кнопкою миші на блок «Scope1» отримаємо графік зміни частоти обертання валу двигуна в часі (рис. 4.24).

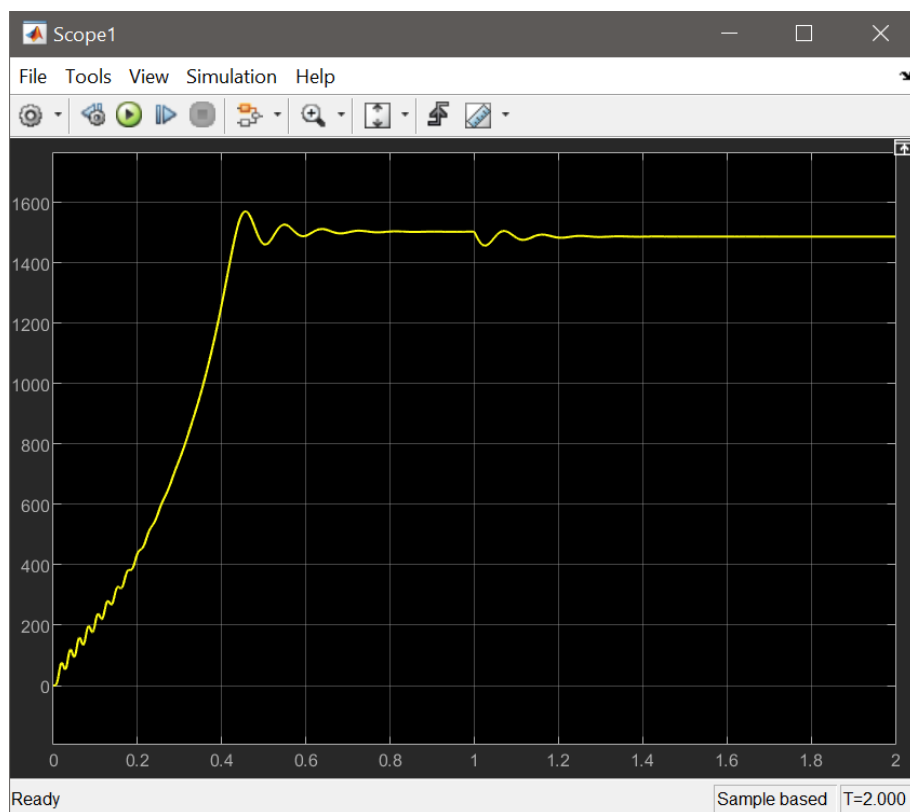


Рисунок 4.24 – Зміна частоти обертання двигуна в часі

Двічі, швидко натискаючи лівою кнопкою миші на блок «Scope2» отримаємо два графіки: один відображає зміну крутного моменту на валу двигуна в часі, другий – швидкість обертання валу двигуна в часі (рис. 4.25).

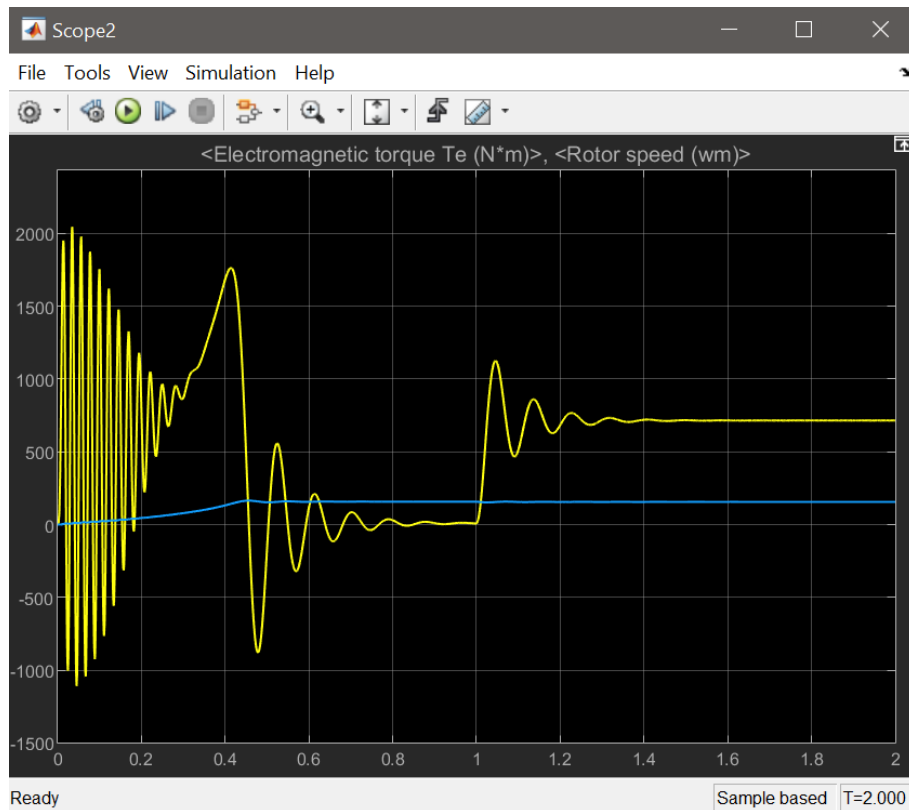


Рисунок 4.25 – Зміна крутного моменту на валу двигуна та швидкості обертання валу двигуна в часі

Отримані графічні залежності певним чином відображають характері зміни відповідних параметрів але «страждають» низькою інформативністю – лише інтуїтивно можна «здогадатися» які параметри по яких осях відкладаються. Щоб покращити сприйняття графіків можна скористатися меню блоків «Scope» – на самих графіках натискаємо на кнопку  і бачимо меню – рис. 4.26, у якому можна змінити безліч параметрів для того, щоб графіки виглядали більш інформативно. Змінювати кольорову палітру та кількість полів для виведення графіків можна натиснувши стрілочку поряд значка налаштувань на графіках .

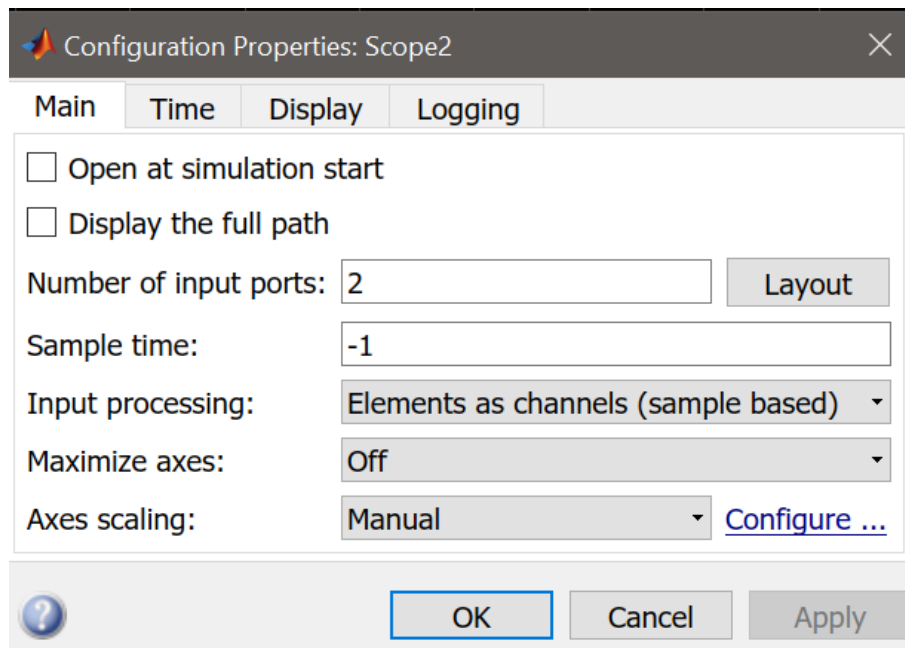


Рисунок 4.26 – Меню налаштувань блоку «Scope»

Остаточно графіки набудуть вигляду, які представлено на рис. 4.27 – 4.29.

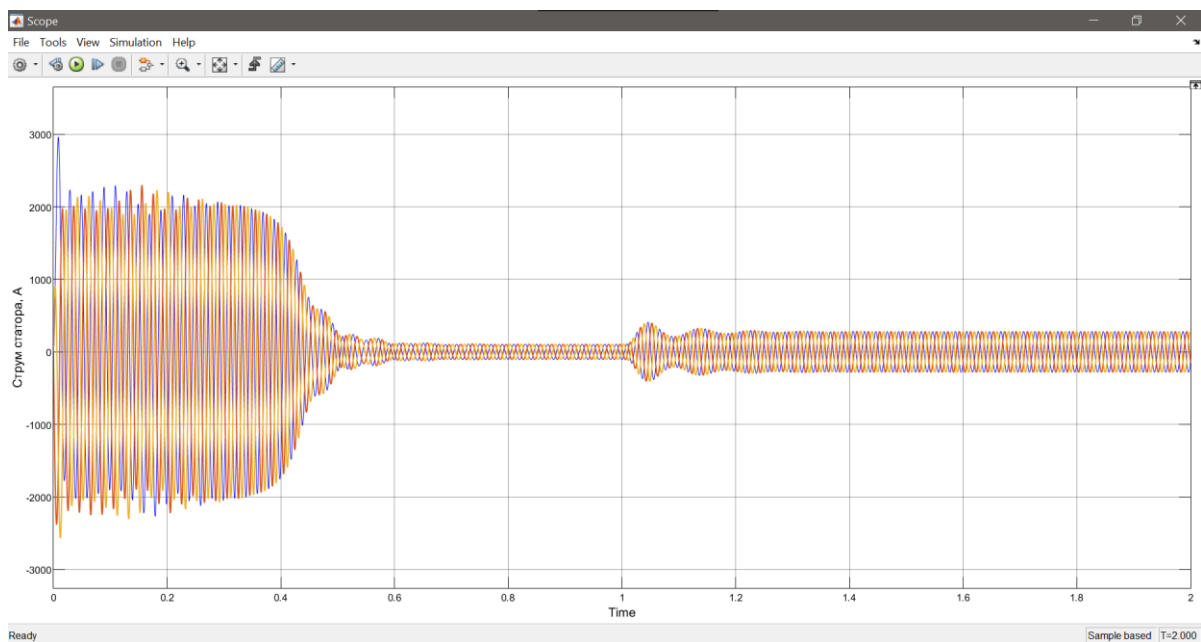


Рисунок 4.27 – Зміна векторів струму в обмотках АД в часі (остаточний варіант)

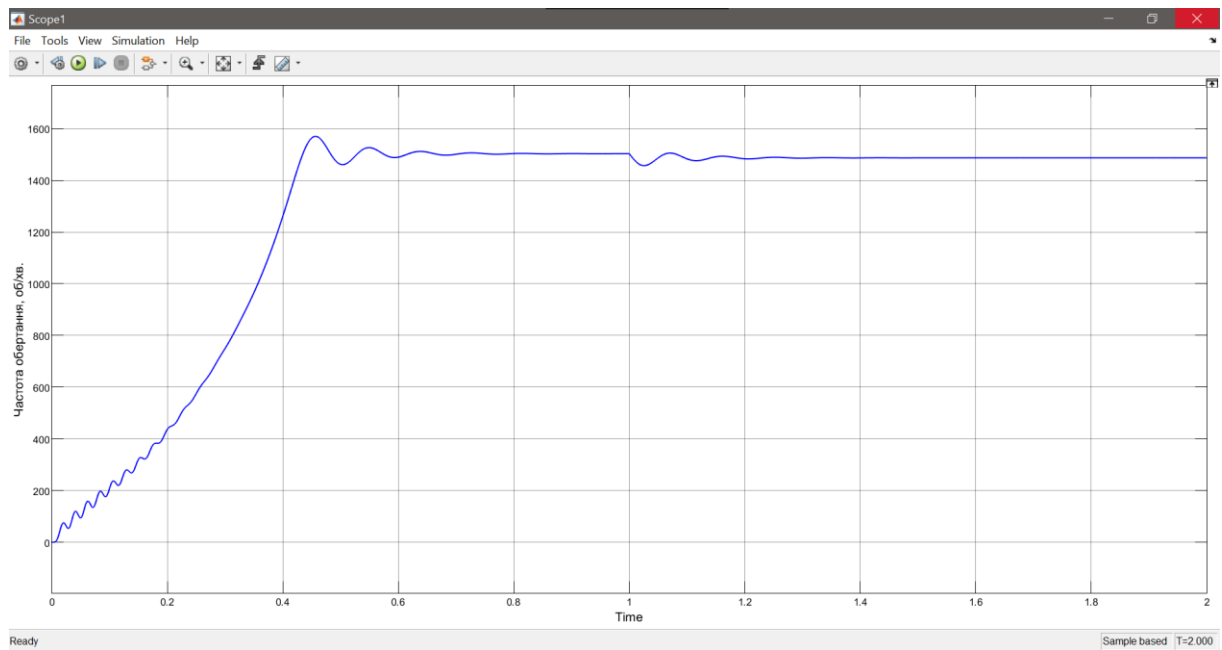


Рисунок 4.28 – Зміна частоти обертання двигуна в часі (остаточний варіант)

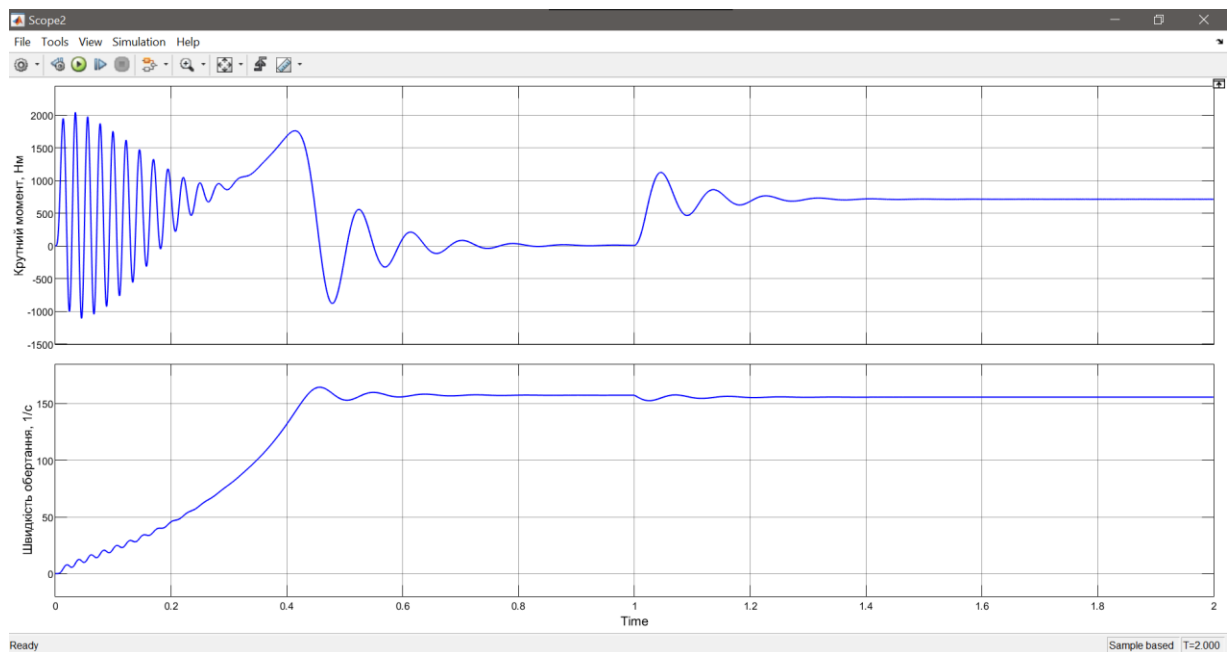


Рисунок 4.29 – Зміна крутного моменту на валу двигуна та швидкості обертання валу двигуна в часі (остаточний варіант)

Після будови графічних залежностей можна здійснити аналіз роботи прямого пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Визначити оптимальний час «накидання» навантаження, визначити критичне значення крутного моменту і т.п.

Література: [12, 13, 14].

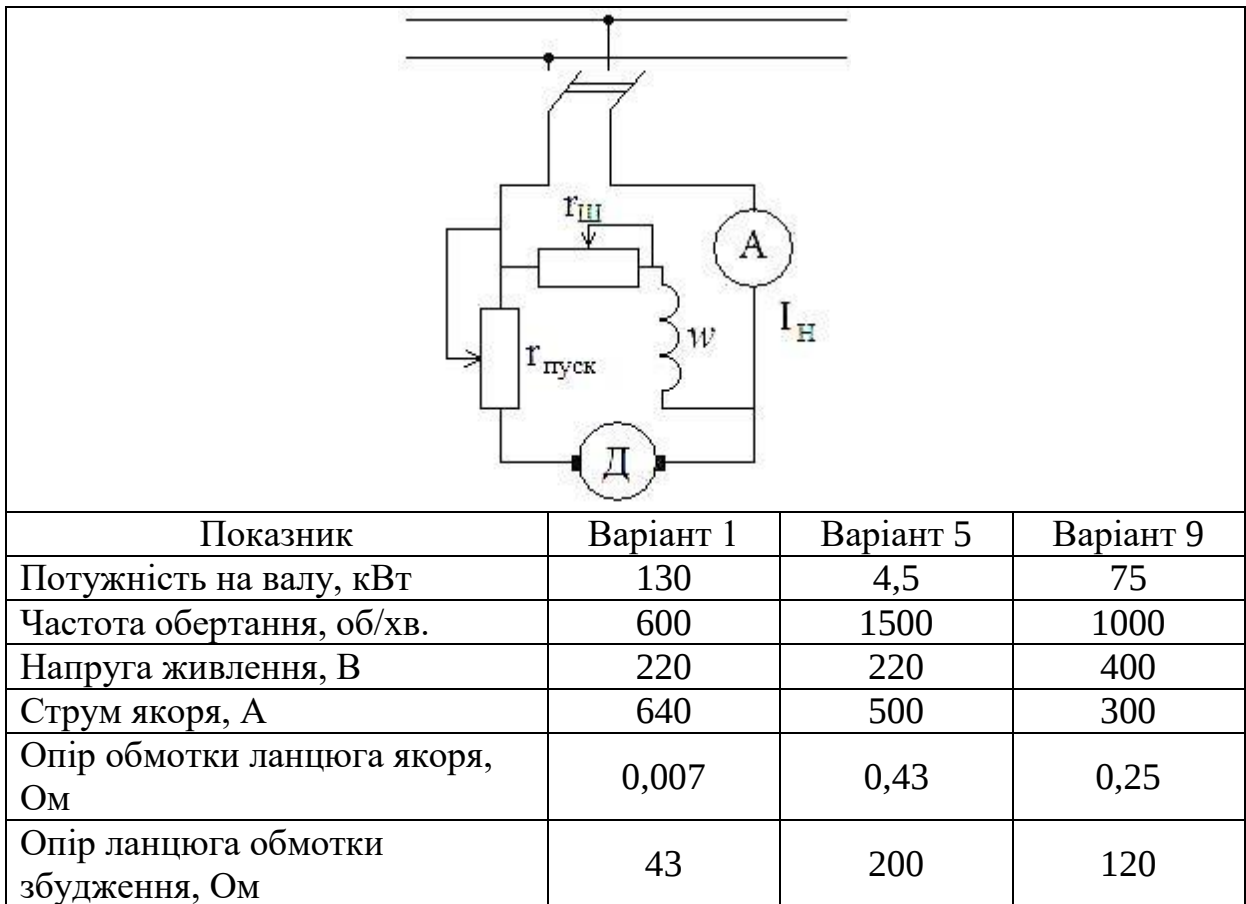
#### Завдання та варіанти до виконання завдання 4.

Варіант 1, 5, 9.

За обраним варіантом побудувати у середовищі Matlab\_Simulink моделі заданої енергетичної системи.

Для електродвигуна постійного струму з паралельним збудженням створити модель та побудувати графічні залежності:

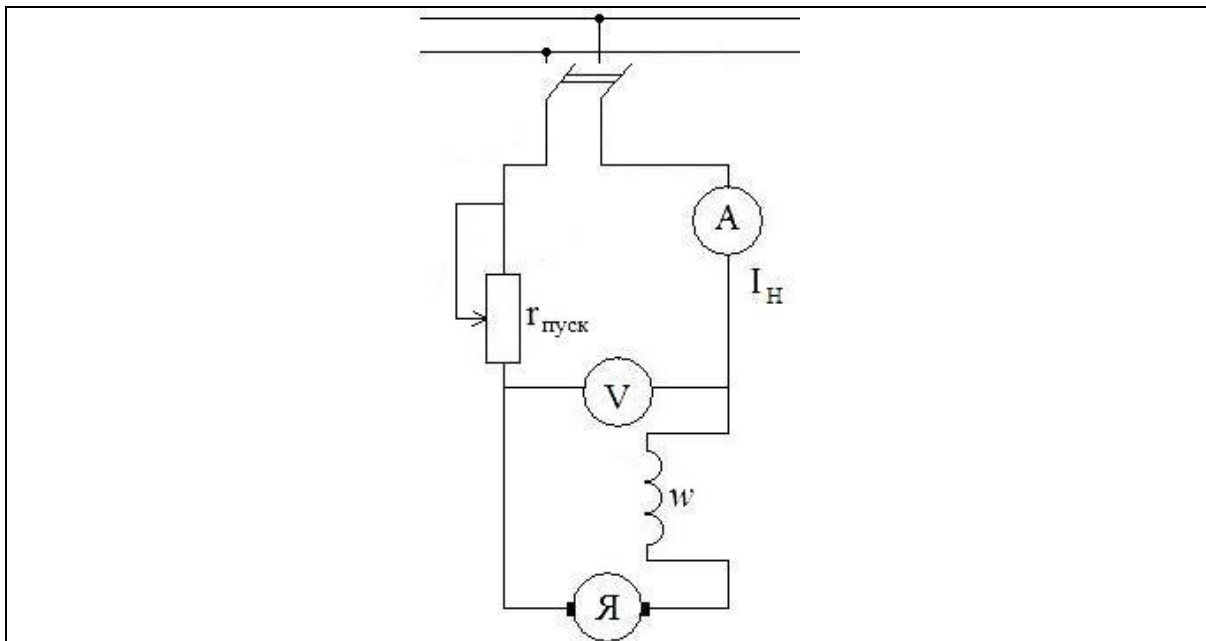
- зміни напруги джерела живлення в часі,
- зміну швидкість обертання валу двигуна в часі,
- зміну крутного моменту на валу двигуна в часі.



*Варіант 2, 6, 10.*

Для електродвигуна постійного струму з послідовного збудженням створити модель та побудувати графічні залежності:

- зміни напруги джерела живлення в часі,
- зміну швидкість обертання валу двигуна в часі,
- зміну крутного моменту на валу двигуна в часі.

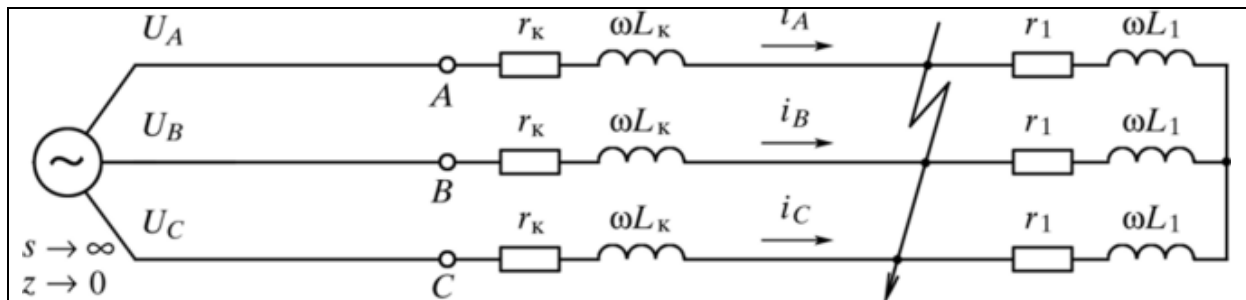


| Показник                           | Варіант 2 | Варіант 6 | Варіант 10 |
|------------------------------------|-----------|-----------|------------|
| Частота обертання, об/хв.          | 750       | 1500      | 1000       |
| Крутний момент на валу, Н·м        | 102       | 210       | 110        |
| Напруга живлення, В                | 220       | 220       | 400        |
| Опір пускового реостата, Ом        | 1,15      | 2,1       | 3,0        |
| Опір обмотки якоря, Ом             | 0,444     | 1,7       | 2,1        |
| Опір ланцюга обмотки збудження, Ом | 0,195     | 0,222     | 0,34       |

Варіант 3, 7, 11.

Маємо симетричний трифазний ланцюг з активно-індуктивним опором в якому відбулося коротке замкнення. Створити модель даної системи та побудувати графічні залежності:

- зміну вектору струму і напруги на джерелі живлення,
- зміну вектору струму на навантаженні.
- зміну споживання активної та реактивної потужності на навантаженні.

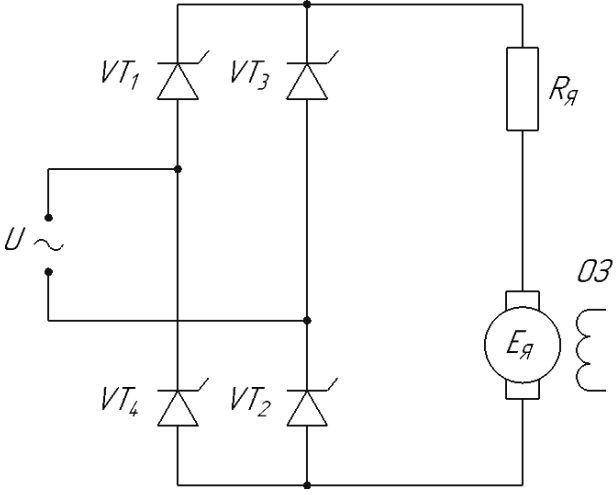


| Показник                                    | Варіант 3             | Варіант 7             | Варіант 11            |
|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Фазна напруга на джерелі живлення, кВ       | 30                    | 110                   | 60                    |
| Частота у мережі, Гц                        | 50                    | 50                    | 50                    |
| Довжина лінії від джерела до КЗ, м          | 30                    | 50                    | 20                    |
| Довжина лінії від КЗ до споживачів, м       | 270                   | 150                   | 100                   |
| Опір прямої послідовності, Ом/км            | 0,013                 | 0,015                 | 0,025                 |
| Опір нульової послідовності, Ом/км          | 0,386                 | 0,563                 | 0,365                 |
| Індуктивність прямої послідовності, Гн/км   | $0,933 \cdot 10^{-3}$ | $1,22 \cdot 10^{-3}$  | $1,0 \cdot 10^{-3}$   |
| Індуктивність нульової послідовності, Гн/км | $4,126 \cdot 10^{-3}$ | $5,153 \cdot 10^{-3}$ | $3,142 \cdot 10^{-3}$ |
| Ємність прямої послідовності, Ф/км          | $12,7 \cdot 10^{-9}$  | 0                     | $10,1 \cdot 10^{-9}$  |
| Ємність нульової послідовності, Ф/км        | $7,75 \cdot 10^{-9}$  | 0                     | $3,46 \cdot 10^{-9}$  |
| Активна потужність споживання, Вт           | $1 \cdot 10^3$        | $2 \cdot 10^3$        | $0,5 \cdot 10^3$      |
| Реактивна потужність споживання, ВАр        | 100                   | 200                   | 150                   |
| Тип замикання                               | Трифазне і на «землю» | Трифазне              | Двофазне і на «землю» |

*Варіант 4, 8, 12.*

Для електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням створити модель його живлення від джерела змінного струму через повноперіодний перетворювач на тиристорах та побудувати графічні залежності:

- зміни вектора напруги джерела живлення,
- зміни напруги на якорі,
- зміни струму джерела живлення та на якорі,
- зміни крутного моменту у пусковий період.

|  |           |           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|
| Показник                                                                            | Варіант 4 | Варіант 8 | Варіант 12 |
| Потужність на валу, кВт                                                             | 230       | 55        | 120        |
| Частота обертання, об/хв.                                                           | 700       | 1000      | 1500       |
| Напруга живлення, В                                                                 | 220       | 220       | 220        |
| Струм якоря, А                                                                      | 320       | 400       | 555        |
| Опір обмотки ланцюга якоря, Ом                                                      | 0,007     | 0,55      | 0,01       |
| Опір ланцюга обмотки збудження, Ом                                                  | 43        | 100       | 23         |

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тхір І.Л., Галушка В.П., Юзьків А.В. Посібник користувача ПК. – Друге видання. – Тернопіль: СМП «Астон», 2002. – 718 с.
2. Трофименко О.Г. Офісні технології: навч. посібник. / О.Г. Трофименко, Ю.В. Прокоп, Н.І. Логінова, Р.І. Чанишев. – Одеса: Фенікс, 2019. – 207 с.
3. Нелюбов В.О., Куруца О.С. Основи інформатики. Microsoft Excel 2016: навчальний посібник. Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2018. – 58 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/18356/>
4. Завадський І.О., Забарна А.П. Microsoft Excel у профільному навчанні / І. О. Завадський А. П. Забарна: [Навч. посіб.]. – К.: Вид. група ВНУ 2011. – 272 с.
5. Вычисления, графики и анализ данных в Excel 2010 [Электронный ресурс]: самоучитель/М.П. Айзек [и др.]. – Электрон текстовые данные. – СПб.: Наука и Техника, 2013. – 352 с.
6. Сандлер А.К. Основы САПР. – Одесса: Издательств ОНМА: 2006. – 264 с.
7. Михайленко В.Є., Ванін В.В., Ковальов С.М. Інженерна графіка – К., Каравела, 2008 – 272с.
8. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D V7. – М.: ДМК Пресс, 2006 – 664 с.
9. Білицька Н.В., Гетьман О.Г., Ветохін В.І., Злобіна В.С. «Інформаційні технологій. Автоматизація розробки конструкторської документації в системі КОМПАС-3D». Навчальний посібник для студентів тепло-енергетичного факультету для всіх форм навчання. Назва органа сертифікації: Методична рада НТУУ «КПІ», 2012 – 182 с.
10. Ветохін В.І., Білицька Н.В., Гетьман О.Г., Мінаковський В.М. Розробка енергетичних схем в автоматизованій системі КОМПАС-3D. Навчальний посібник для студентів, які навчаються за галуззю знань 0506 «Енергетика та енергомашинобудування». К.: Видавництво «БМТ», 2013. – 50 с.
11. Потемкин А.Е. Трехмерное твердотельное моделирование, М., «Компьютер-Пресс», 2002 – 296 с.
12. Рябенський В.М. Основи моделювання систем і процесів в електротехніці: використання пакета прикладних програм MATLAB / Simulink / В.М. Рябенський, С.В. Драган, Л.В. Солобуто – Львів: Новий Світ-2000, 2012. – 385 с.
13. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
14. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.

ДОДАТОК А  
Приклад оформлення титульного листа

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Кафедра електричної інженерії

**ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА**

з дисципліни «САПР в енергетиці»

Студента (ки) 2 курсу групи ЕЛК-21  
Спеціальність: 141Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

Петро ГРИШИН

(прізвище та ініціали)

Керівник: ст.викл. Едуард НСМЦЕВ

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Кількість балів:

Оцінка:

Покровськ – 2022

# ДОДАТОК Б

## Приклад оформлення індивідуальної роботи

### Завдання 1.

Побудувати графічні залежності для напірної характеристики насоса, характеристику ККД насоса та характеристику трубопроводу. Визначити значення, що відповідають робочому режиму.

|                             |                                                                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характеристика трубопроводу | $H_m = 555 + 5,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$                                                        |
| Характеристика насоса       | $H_n = 7 \cdot (85,9 + 7,32 \cdot 10^{-2} \cdot Q - 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2)$                |
| Характеристика ККД насоса   | $\eta_n = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 2,0 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 - 4,0 \cdot 10^{-9} \cdot Q^3$ |

| Таблиця 1.1 - Розрахункові параметри напірних характеристик та ККД |     |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q, м³/год.                                                         | 0   | 50    | 100   | 150   | 200   | 250   | 300   | 350   | 400   |
| H <sub>м</sub> , м                                                 | 555 | 556   | 560   | 566   | 575   | 586   | 600   | 616   | 635   |
| H <sub>н</sub> , м                                                 | 601 | 623   | 639   | 647   | 648   | 642   | 629   | 609   | 582   |
| η                                                                  | 0   | 0,115 | 0,228 | 0,336 | 0,436 | 0,525 | 0,600 | 0,658 | 0,696 |

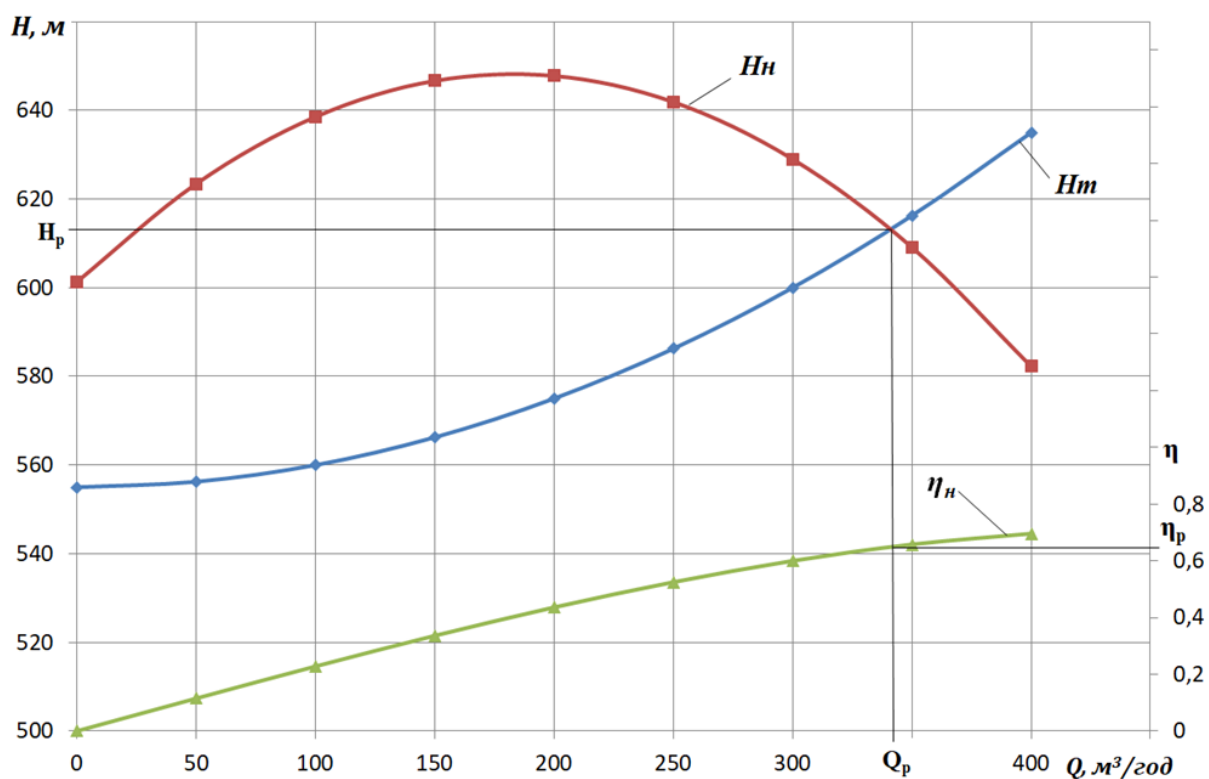
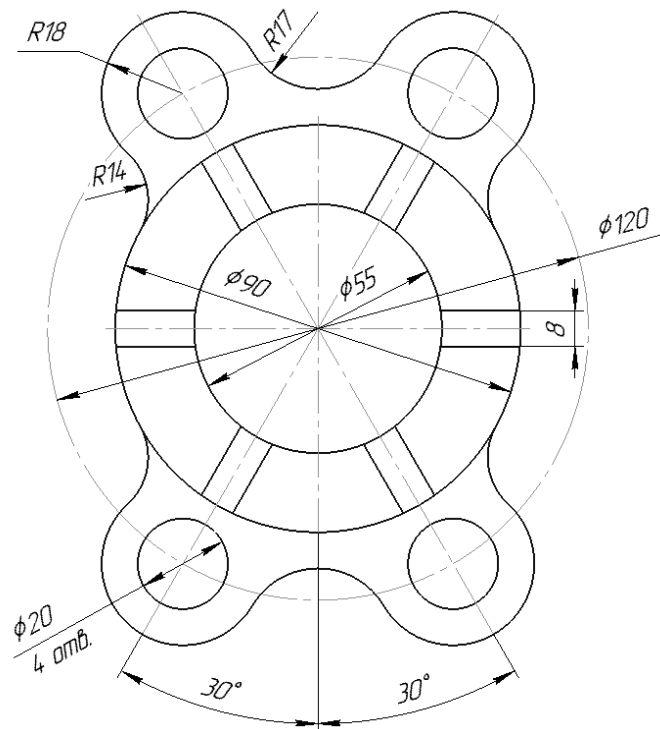


Рисунок 1.1 – Визначення робочого режиму відцентрового насоса

## Завдання 2.

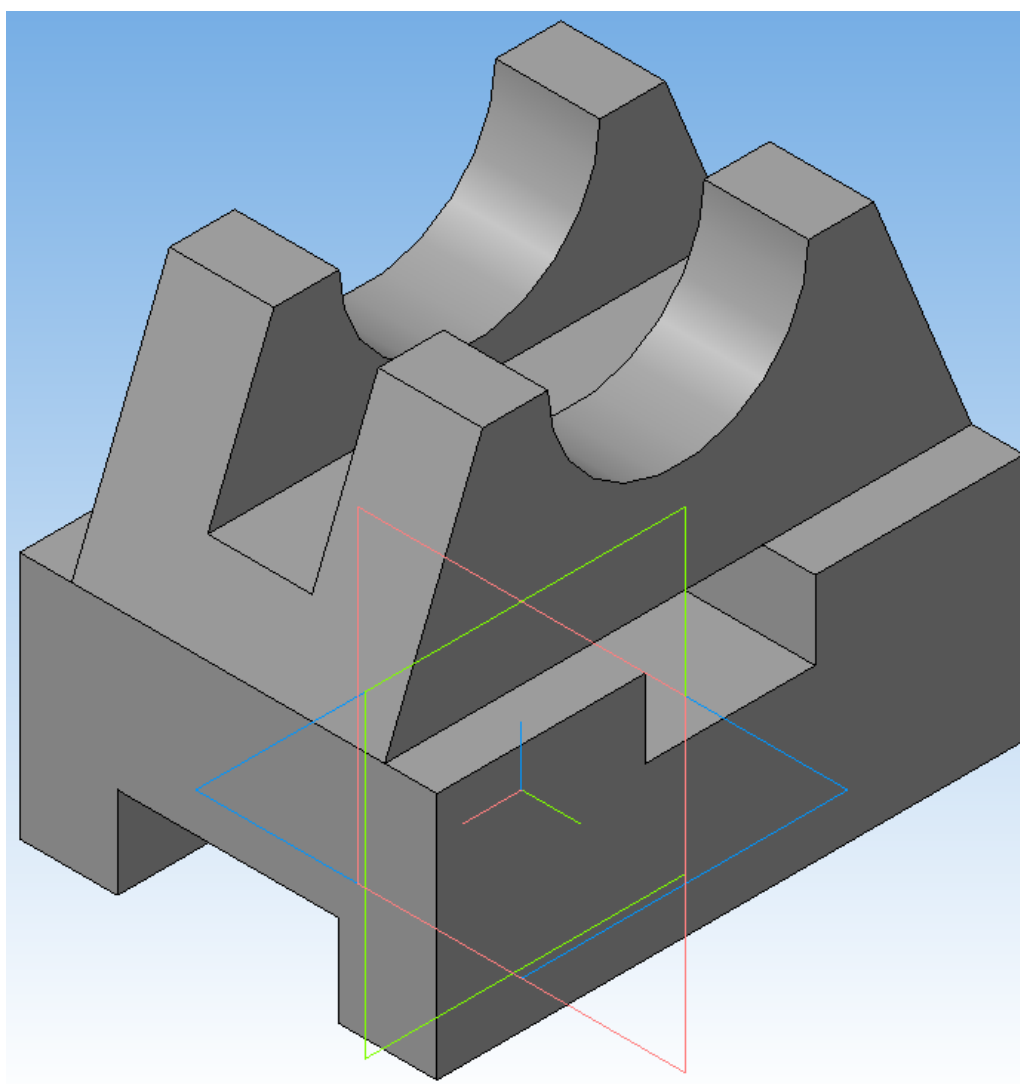
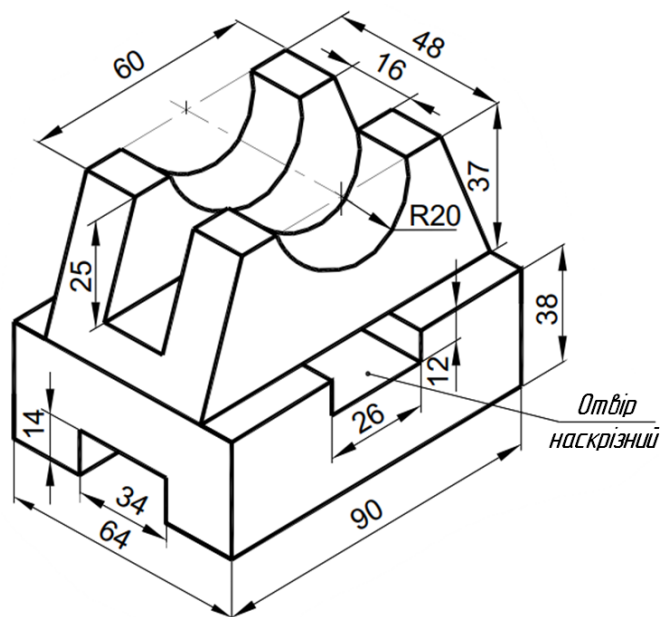
Накреслити у графічному середовищі «КОМПАС-3D» креслення на площині, що містять криволінійні сполучення.



|               |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
|---------------|--------|--------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|------|------|----------|-------|------|---------|--|-------------|--|--|-------|--|-------------|--|--|----------|--|--|--|--|----------|--|--|--|--|------|--|--|--|--|------|-------|---------|--|--|-----|------|--------|---|
| Перв. примен. |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Справа №      |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Подп. и дата  |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Взам. инв. №  |        | Инв. № учета |       | <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">Деталь</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Изм.</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 20%;">№ докум.</td> <td style="width: 15%;">Подп.</td> <td style="width: 15%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разрпд.</td> <td></td> <td>Гришин И.В.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Проб.</td> <td></td> <td>Немцев Е.М.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Лит.</td> <td style="width: 15%;">Масса</td> <td style="width: 15%;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1:1</td> </tr> <tr> <td>Лист</td> <td>Листов</td> <td>1</td> </tr> </table> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>ДОННТУ</span> <span>г.р. Е/К-22</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <span>Копировал</span> <span>Формат А4</span> </div> </div> |  |  |  |  |  |  | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Разрпд. |  | Гришин И.В. |  |  | Проб. |  | Немцев Е.М. |  |  | Т.контр. |  |  |  |  | Н.контр. |  |  |  |  | Утв. |  |  |  |  | Лит. | Масса | Масштаб |  |  | 1:1 | Лист | Листов | 1 |
| Изм.          | Лист   | № докум.     | Подп. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  | Дата |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Разрпд.       |        | Гришин И.В.  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Проб.         |        | Немцев Е.М.  |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Т.контр.      |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Н.контр.      |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Утв.          |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Лит.          | Масса  | Масштаб      |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
|               |        | 1:1          |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Лист          | Листов | 1            |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Подп. и дата  |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |
| Инв. № подл.  |        |              |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |          |       |      |         |  |             |  |  |       |  |             |  |  |          |  |  |  |  |          |  |  |  |  |      |  |  |  |  |      |       |         |  |  |     |      |        |   |

### ***Завдання 3.***

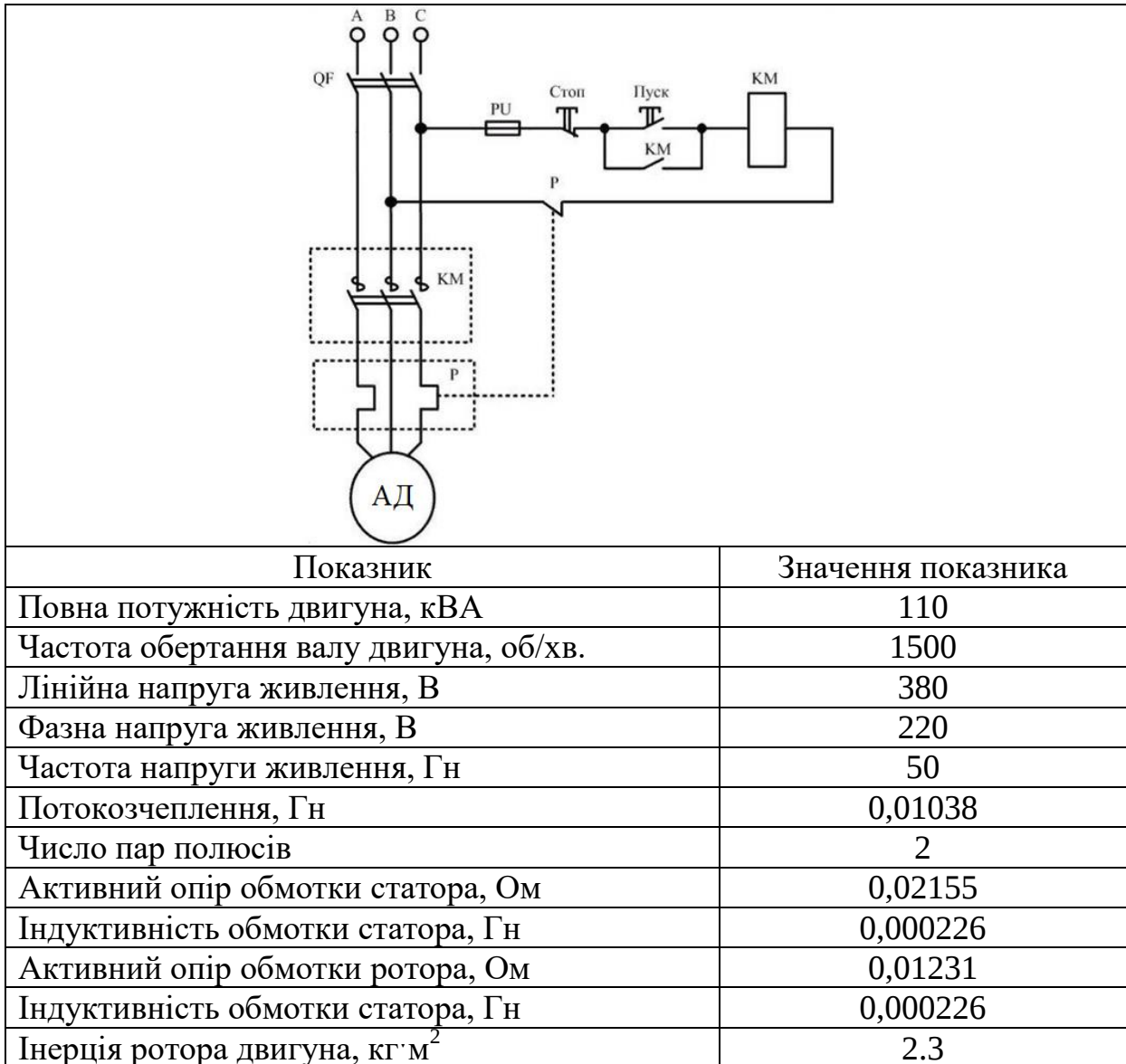
Накреслити у графічному середовищі «КОМПАС-3D» креслення деталі у просторі.



#### Завдання 4.

У підсистемі Simulink програмного середовища Matlab створити модель пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та побудувати графіки, що ілюструють даний процес:

- зміну векторів струму в обмотках асинхронного двигуна в часі,
- зміну частоти обертання двигуна в часі,
- зміну крутного моменту на валу двигуна в часі,
- зміну швидкість обертання валу двигуна в часі.



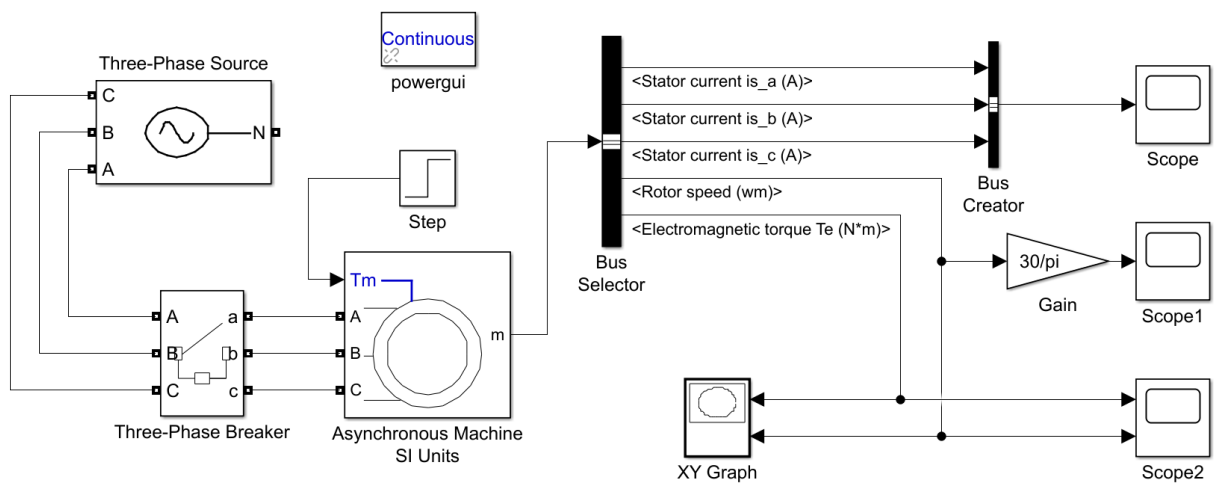


Рисунок 4.1 – Створена модель прямого пуску асинхронного двигуна з короткозамкненням ротором

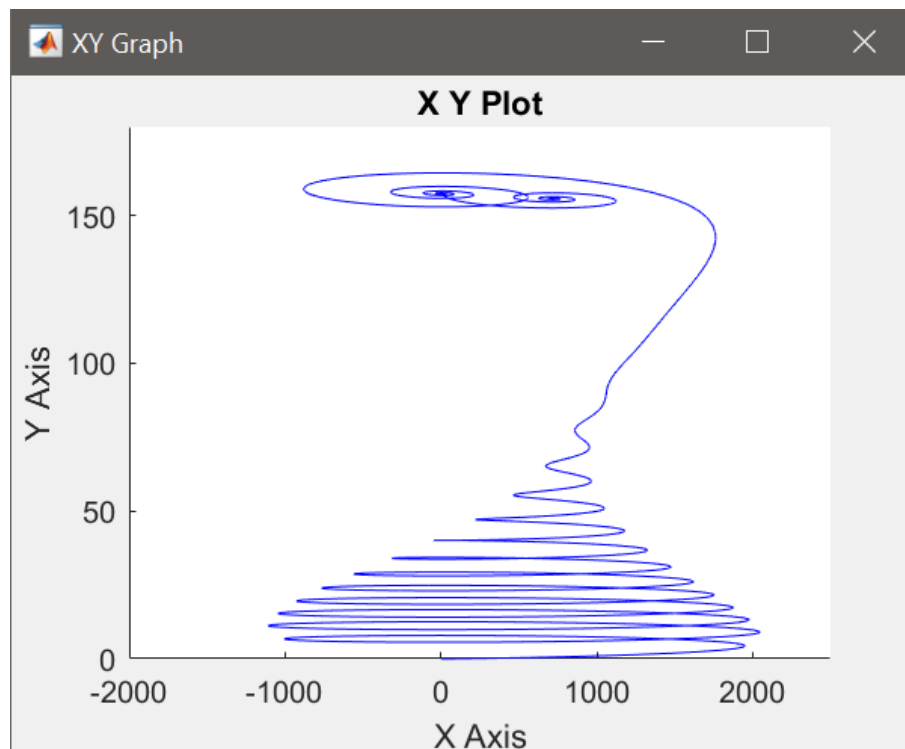


Рисунок 4. 2 – Результати роботи блоку «XY Graph»

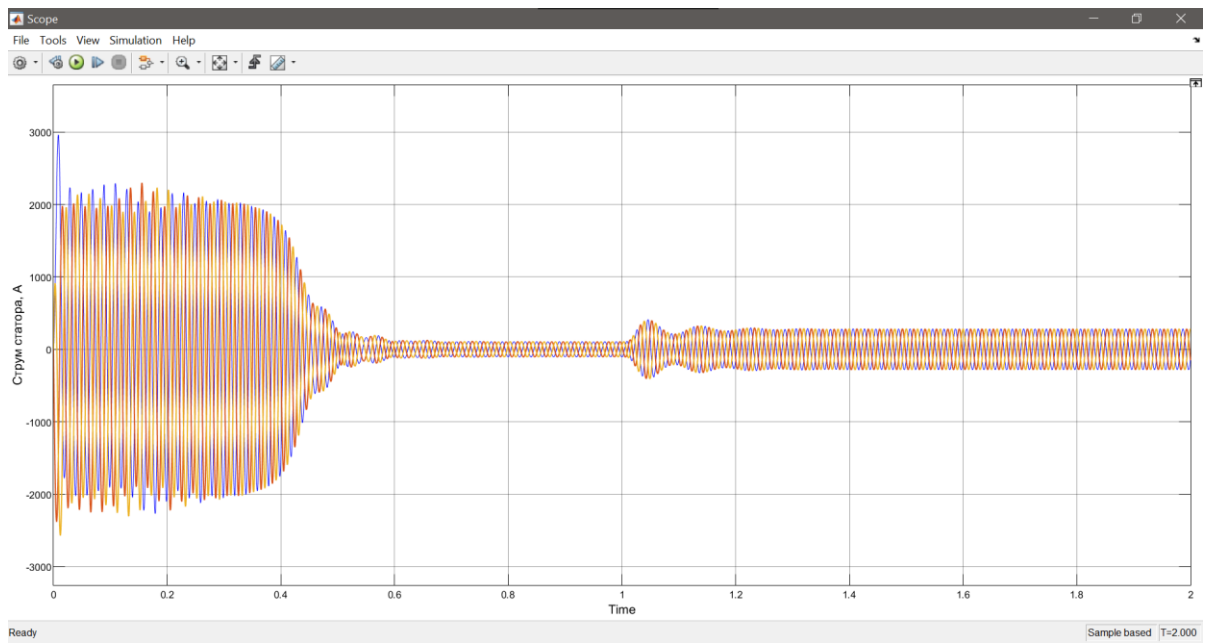


Рисунок 4.3 – Зміна векторів струму в обмотках АД в часі

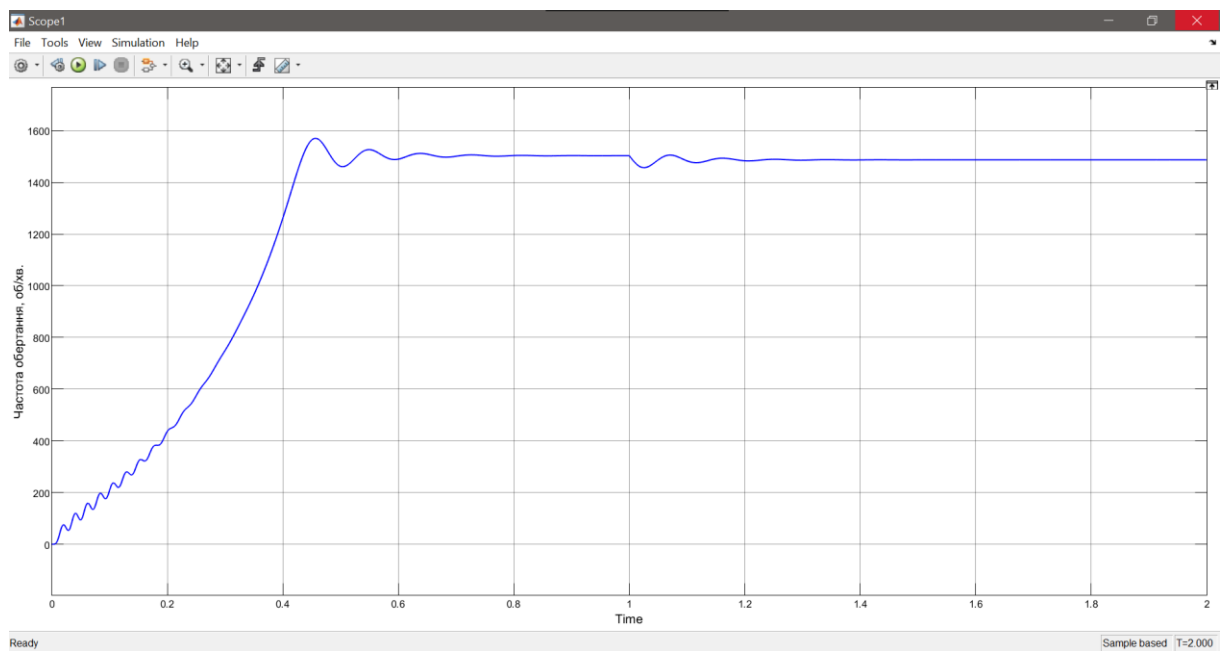


Рисунок 4.4 – Зміна частоти обертання двигуна в часі

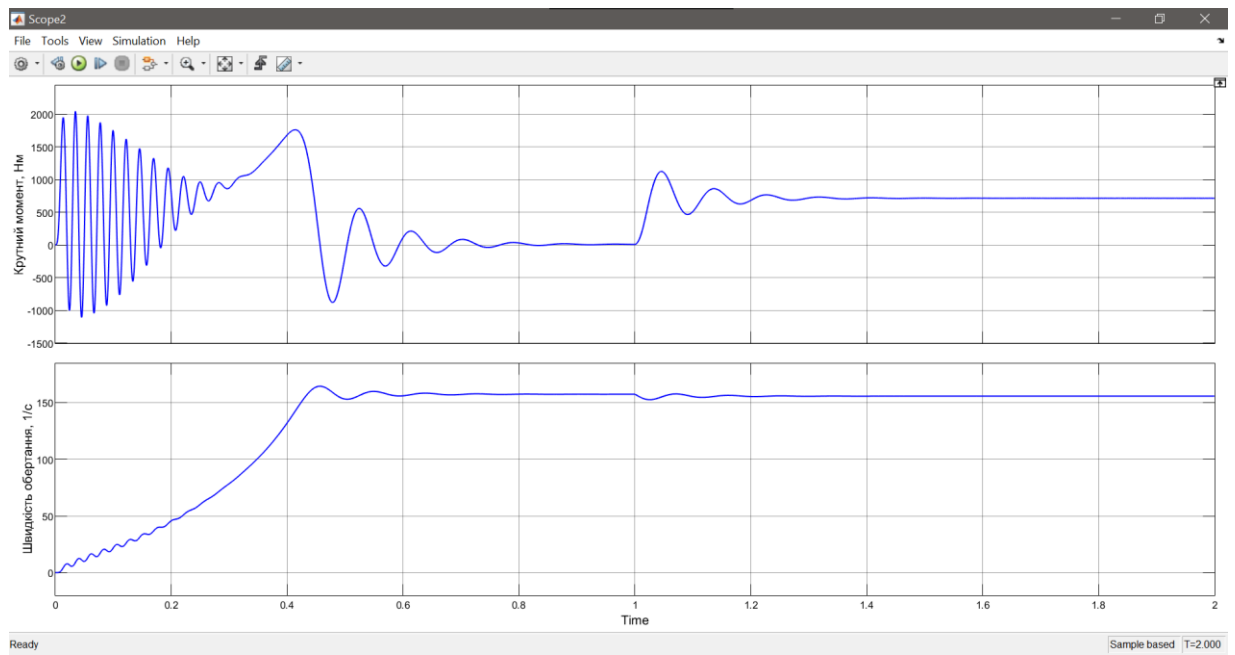


Рисунок 4.5 – Зміна крутного моменту на валу двигуна та швидкості обертання валу двигуна в часі