

The issue of journal contains:

Proceedings of the X Correspondence
International Scientific and Practical Conference

AN INTEGRATED APPROACH TO SCIENCE MODERNIZATION: METHODS, MODELS AND MULTIDISCIPLINARITY

held on October 17th, 2025 by

NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine)

LLC International Centre Corporative Management (Vienna, Austria)

Nº57
OCTOBER, 2025

ISSN 2710-3056



**GRAIL OF
SCIENCE**

PERIODICAL SCIENTIFIC JOURNAL



INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL

GRAIL OF SCIENCE

№ **57** (October 2025)

with the proceedings of the:

X Correspondence International
Scientific and Practical Conference

**AN INTEGRATED APPROACH
TO SCIENCE MODERNIZATION:
METHODS, MODELS AND
MULTIDISCIPLINARITY**

held on October 17th, 2025 by

NGO European Scientific Platform
(Vinnytsia, Ukraine)
LLC International Centre Corporative
Management (Vienna, Austria)

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ГРААЛЬ НАУКИ

№ **57** (жовтень, 2025)

за матеріалами:

X Міжнародної науково-
практичної конференції

**AN INTEGRATED APPROACH
TO SCIENCE MODERNIZATION:
METHODS, MODELS AND
MULTIDISCIPLINARITY**

що проводилася 17.10.2025

ГО «Європейська наукова
платформа» (Вінниця, Україна)
ТОВ «International Centre Corporative
Management» (Відень, Австрія)



ГРААЛЬ НАУКИ : міжнар. наук. журнал. – Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2025. – № 57. – 982 с.

Видання розраховане на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, усіх, хто прагне отримати ґрунтовні знання теоретичного і прикладного характеру.

**Рекомендовано до видання Вченою Радою Наукової установи
«Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці». Протокол № 41 від 16.10.2025.**

Головний редактор: Танасійчук Альона Миколаївна, д-р. екон. наук, доцент (Україна)
Заступник головного редактора: Ємельянов Олександр Юрійович, д-р. екон. наук, професор (Україна)
Голова оргкомітету конференції: Голденблат Марія (Україна)
Заступник голови оргкомітету конференції: Рейчел Апаро (Австрійська Республіка)
Відповідальний секретар: Рабей Настасія Романівна (Україна)

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Квасницька Раїса Степанівна - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Jakhongir Shaturaev** - канд. екон. наук, доцент (Республіка Узбекистан); **Бойко Світлана Василівна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Заднепровська Ганна Ігорівна** - канд. екон. наук (Україна); **Занора Володимир Олександрович** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Маркович Ірина Богданівна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Яковенко Роман Валерійович** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Поливана Людмила Анатоліївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Гевчук Анна Вікторівна** - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Маслій Олександра Анатоліївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Євтушенко Наталія Миколаївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Москвічова Олена Сергіївна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Ясишена Валентина Валеріївна** - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Михайлишин Лілія Іванівна** - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Гавриленко Наталія Вікторівна** - канд. екон. наук, доцент (Україна); **Гіулі Гігуашвілі** - д-р. екон. наук, професор (Грузія); **Тамар Макасарашвілі** - д-р. екон. наук, професор (Грузія); **Мерабі Ванішвілі** - д-р. екон. наук, професор (Грузія).

НАУКОВІ КОНСУЛЬТАНТИ:

Онїкієнко Сергій Володимирович - д-р. екон. наук, професор (Україна); **Marko Timchev** - д-р. екон. наук, доцент (Республіка Болгарія); **Khatuna Tabagari** - д-р. екон. наук, професор (Сакартвело); **Грень Лариса Миколаївна** - д-р. наук з держ. управління, професор (Україна); **Михаліцька Наталія Ярославівна** - канд. наук з держ. управління, доцент (Україна); **Ткаченко Павло Ігорович** - аспірант (Україна); **Купріянова Дарина Сергіївна** - практикуючий юрист (Польща); **Губаль Галина Миколаївна** - канд. фіз.-мат. наук, доцент (Україна); **Козуб Галина Олександрівна** - канд. техн. наук, доцент (Україна); **Козьма Антон Антонович** - канд. хім. наук (Україна); **Морозова Тетяна Василівна** - канд. біол. наук, доцент (Україна); **Купріянова Лариса Сергіївна** - канд. мед. наук, доцент (Україна); **Лисенко Дмитро Андрійович** - канд. мед. наук, доцент (Україна); **Цубанова Наталя Анатоліївна** - д-р. фарм. наук., професор (Україна); **Олійник Світлана Валентинівна** - канд. фарм. наук, доцент (Україна); **Полежаєв Юрій Григорович** - канд. наук із соц. ком., доцент (Україна); **Mukhabbat Khakimova** - д-р. пед. наук, професор (Республіка Узбекистан); **Куліченко Алла Костянтинівна** - д-р. пед. наук, доцент (Україна); **Фурман Тарас Юрійович** - канд. пед. наук, доцент (Україна); **Бажан Станіслав Миколайович** - д-р. філософії (Україна); **Ямполь Юрій Віталійович** - аспірант (Україна); **Антипова Жанна Ігорівна** - старший викладач (Україна); **Яцик Мар'яна Романівна** - канд. пед. наук, доцент (Україна); **Корбозерова Ніна Миколаївна** - д-р. філол. наук, професор (Україна); **Ковальська Наталя Аркадіївна** - канд. філол. наук, доцент (Україна); **Присяжнюк Оксана Ярославівна** - канд. філол. наук, доцент (Україна); **Мелех Галина Богданівна** - канд. філол. наук, доцент (Україна); **Корнус Анатолій Олександрович** - канд. геогр. наук, доцент (Україна); **Фомін Андрій Володимирович** - канд. іст. наук, доцент (Україна); **Рубан Микола Юрійович** - д-р. філос. з іст. та археології (Україна); **Гірна Наталія Мирославівна** - канд. іст. наук, доцент (Україна); **Устінова Ірина Ігорівна** - д-р. арх., професор (Україна); **Катерина Діденко** - канд. арх. (Україна); **Воскобойнікова Юлія Василівна** - д-р. мист. (Україна); **Крипчук Микола Володимирович** - канд. мист., доцент (Україна); **Лугова Тетяна Анатоліївна** - канд. мист., доцент (Україна).

Верстальник: Білоус Тетяна (Україна). **Дизайнер:** Казьміна Надія (Україна). **Коректор:** Дудник Григорій (Україна).

«Грааль науки» є офіційно зареєстрованим мультидисциплінарним науковим виданням з міжнародною сферою поширення, що підтримує політику відкритого доступу. **Ідентифікатор медіа R30-02704** (рішення № 430 від 22.02.2024 Національної Ради України з питань телебачення і радіомовлення).

Наказом МОН України № 582 від 24.04.2024 виданню «Грааль науки» присвоєно Категорію Б фахових видань України з питань економіки (051 «Економіка»).

«Грааль науки» індексується в міжнародних реферативних та наукометричних базах даних:

Index Copernicus Journals Master List; «Наукова періодика України» (Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського НАН України); Національний репозитарій академічних текстів; Google Scholar; WorldCat; Open Ukrainian Citation Index; CrossRef; Mendeley; Scite; Semantic Scholar; Scilit; OpenAIRE, PubPeer.

Конференція зареєстрована УкрІНТЕІ (Посвідчення № 439 від 10.06.2025) та сертифікована Euro Science Certification Group (Сертифікат № 23031 від 15.09.2025).

За точність викладених фактів та коректність цитування відповідальність несе автор.



GRAIL OF SCIENCE : inter. scientific journal. – Vinnytsia : NGO «European Scientific Platform»; SI «Institute of Scientific and Technical Integration and Cooperation», 2025. – No 57. – 982 p.

The publication is intended for scientists, teachers, graduate students, students, all those who seek to obtain thorough knowledge of a theoretical and applied nature.

Recommended for publication by the Academic Council of the Institute of Scientific and Technical Integration and Cooperation. Protocol № 41 from October 16th, 2025.

Editor-in-chief: Alona Tanasiichuk, D.Sc. in Economics, Associate professor (Ukraine)
Deputy editor-in-chief: Olexandr Yemelyanov, D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine)
Chairman of the Organizing Committee: Miriam Goldenblat (Ukraine)
Deputy Chairman of the Organizing Committee: Rachael Aparo (Austria)
Responsible secretary: Nastasiia Rabei (Ukraine)

EDITORIAL BOARD:

Raisa Kvasnytska - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Jakhongir Shaturaev** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Republic of Uzbekistan); **Svitlana Boiko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Hanna Zadnieprovsk** - Ph.D. in Economics (Ukraine); **Volodymyr Zanora** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Iryna Markovych** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Roman Yakovenko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Liudmyla Polyvana** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Anna Hevchuk** - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Oleksandra Maslii** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Nataliia Yevtushenko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Olena Moskvichova** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Valentyna Yasysheva** - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Liliia Mykhailyshyn** - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Nataliia Havrylenko** - Ph.D. in Economics, Associate professor (Ukraine); **Giuli Giguashvili** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia); **Tamar Makasarashvili** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia); **Merabi Vanishvili** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia).

EDITORIAL CONSULTANTS:

Serhii Onikiienko - D.Sc. in Economics, Professor (Ukraine); **Khatuna Tabagari** - D.Sc. in Economics, Professor (Georgia); **Marko Timchev** - D.Sc. in Economics, Associate professor (Republic of Bulgaria); **Larysa Hren** - D.Sc. in Public administration, Professor (Ukraine); **Nataliia Mykhalitska** - Ph.D. in Public administration, Associate professor (Ukraine); **Pavlo Tkachenko** - Ph.D. student (Ukraine); **Daryna Kupriianova** - lawyer (Republic of Poland); **Halyna Hubal** - Ph.D. in Physics and Maths, Associate professor (Ukraine); **Halyna Kozub** - Ph.D. in Technical sciences, Associate professor (Ukraine); **Anton Kozma** - Ph.D. in Chemistry (Ukraine); **Tetiana Morozova** - Ph.D. in Biology, Associate professor (Ukraine); **Larysa Kupriianova** - Ph.D. in Medicine, Associate professor (Ukraine); **Dmytro Lysenko** - Ph.D. in Medicine, Associate professor (Ukraine); **Natalia Tsubanova** - D.Sc. in Pharmacy, Professor (Ukraine); **Svitlana Oliinyk** - Ph.D. in Pharmacy, Associate professor (Ukraine); **Yuriy Polyezhaev** - Ph.D. in Social Communications, Associate professor (Ukraine); **Mukhabbat Khakimova** - D.Sc. in Pedagogy, Professor (Republic of Uzbekistan); **Alla Kulichenko** - D.Sc. in Pedagogy, Associate professor (Ukraine); **Taras Furman** - Ph.D. in Pedagogy, Associate professor (Ukraine); **Stanislav Bazhan** - Doctor of Philosophy (Ukraine); **Yurii Yampol** - Ph.D. student (Ukraine); **Zhanna Antypova** - Senior Lecturer (Ukraine); **Yatsyk Mariana** - Ph.D. in Pedagogy, Associate professor (Ukraine); **Nina Korbozerova** - D.Sc. in Philology, Professor (Ukraine); **Natalia Kovalska** - Ph.D. in Philology, Associate professor (Ukraine); **Oksana Prysiashniuk** - Ph.D. in Philology, Associate professor (Ukraine); **Melekh Halyna** - Ph.D. in Philology, Associate professor (Ukraine); **Anatolii Kornus** - Ph.D. in Geography, Associate professor (Ukraine); **Andrii Fomin** - Ph.D. in History, Associate professor (Ukraine); **Mykola Ruban** - Ph.D. in History and Archaeology (Ukraine); **Nataliia Hirna** - Ph.D. in History, Associate professor (Ukraine); **Iryna Ustinova** - D.Sc. in Architecture, Professor (Ukraine); **Kateryna Didenko** - Ph.D. in Architecture (Ukraine); **Yuliia Voskoboinikova** - D.Sc. in Arts (Ukraine); **Mykola Krypchuk** - Ph.D. in Arts, Associate professor (Ukraine); **Tetiana Luhova** - Ph.D. in Arts, Associate professor (Ukraine).

Responsible for e-layout: Tetiana Bilous (Ukraine). **Designer:** Nadiia Kazmina (Ukraine). **Proofreader:** Hryhorii Dudnyk (Ukraine).

The journal «Grail of Science» is an officially registered in Ukraine multidisciplinary and internationally disseminated scientific edition that supports the policy of open access for scientific publications. **Media identifier R30-02704** (decision № 430 dated 22.02.2024 of the National Council of Ukraine on Television and Radio Broadcasting).

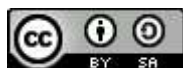
By order of the Ministry of Education and Culture of Ukraine № 582 of April 24, 2024, the journal «Grail of Science» was assigned Category B of specialized publications of Ukraine on economics (051 «Economics»).

The journal «Grail of Science» is indexed in international reference and scientometric databases:

Index Copernicus Journals Master List; «Наукова періодика України» (Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського НАН України); Національний репозитарій академічних текстів; Google Scholar; WorldCat; Open Ukrainian Citation Index; CrossRef; Mendeley; Scite; Semantic Scholar; Scilit; OpenAIRE, PubPeer.

The conference is approved by UKRISTEI (Certificate № 439 dated June 10th, 2025) and certified by Euro Science Certification Group (Certificate № 23031 dated September 15th, 2025).

The author is responsible for the accuracy of the facts presented and the correctness of citations.



**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

METHODS FOR INTEGRATING COMMUNICATION AND SAR IMAGING Borodavka A.	473
--	-----

**РОЗДІЛ XVI.
ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГЕТИЧНЕ
МАШИНОБУДУВАННЯ****СТАТТІ**

ПОРІВНЯННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАКТОРІВ РВПК-1000 ТА ВВЕР-1000 Тяжченко А.О.	476
РОЗРОБКИ УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ ДЛЯ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ Єршова О.Г., Левіна Д.А.	490
СПОСІБ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ОЗДОБЛЮВАЛЬНО- РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2Е78П Науково-дослідна група: Білюк І.С., Савченко О.В., Ставинський Р.А., Тубальцев А.М., Полегенько О.О., Сидорук А.Д., Коваленко Д.В.	500

**РОЗДІЛ XVII.
ЕКОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА****ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

СТРУКТУРА ПОЛЛЕНОХОРІВ ТЕХНОЗЕМІВ НІКОПОЛЬСЬКОГО МАРГАНЦЕВОРУДНОГО БАСЕЙНУ Подпряткова Н.О.	515
--	-----

**РОЗДІЛ XVIII.
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, МОДЕЛЮВАННЯ
ТА ОПТИМІЗАЦІЯ****СТАТТІ**

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ З ВИТОКОМ Гусарова І.Г., Павлюк О.В.	518
МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ВРАЗЛИВОСТЕЙ АВІАЦІЙНИХ СОЦІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ДО ЦІЛЕСПРЯМОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ АТАК Косогов О.М.	525



DOI 10.36074/grail-of-science.17.10.2025.053

СПОСІБ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ОЗДОБЛЮВАЛЬНО- РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2Е78П

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Білюк Іван Сергійович

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Савченко Олег Валерійович 

завідувач лабораторіями кафедри автоматики

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Ставинський Ростислав Андрійович

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Тубальцев Анатолій Миколайович

Доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Полегенько Олег Олегович

студент кафедри автоматики

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Сидорук Артем Денисович

студент кафедри автоматики

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Коваленко Данііл Вадимович

студент кафедри автоматики

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна

Анотація. Розглянуто модернізацію автоматизованого електропривода вертикального оздоблювально-розточувального верстата на основі електродвигуна з короткозамкнутим ротором за допомогою частотного перетворювача.

Ключові слова: імітаційне моделювання, скалярне керування, перехідна характеристика, оздоблювально-розточувальний верстат, математичне моделювання, нелінійна система, систем керування, електропривод.

Постановка проблеми. Модернізація системи керування застарілих верстатів є важливим кроком для підвищення ефективності та продуктивності виробництва. Ціллю даного проекту являється підвищення точності, надійності та енергоефективності привода головного руху верстата за рахунок використання сучасної системи керування та актуалізації виконавчих механізмів. Верстат 2Е78П має наступні проблеми: низька точність позиціонування; відсутність зворотного зв'язку по моменту та положенню; високі пульсації моменту та нестабільність швидкості; обмеження можливості інтеграції з сучасними ЧПК; підвищені енергозатрати.

Аналіз досліджень. Модернізацію можна визначити як процес внесення змін до традиційного обладнання з метою підвищення його ефективності за одночасної мінімізації фінансових та тимчасових витрат та ризиків [1, 2].

Заміна двигуна постійного струму на асинхронний двигун з короткозамкненим ротором та використання частотного перетворювача дозволило забезпечити високі показники якості керування, де час перехідного процесу та перерегулювання відповідають заданим[3].

В роботі[4] розглянуті питання здійснення модернізації привода токарно-верстата. Дана робота включає заміну механічних елементів, але не проводить модернізацію системи керування.

Мета роботи. Метою роботи є заміна застарілої релейно-контакторної системи керування на сучасний частотний перетворювач з частотним керуванням та провести синтез системи керування асинхронним двигуном з короткозамкнутим ротором привода головного руху верстата.

Завданням роботи є заміна застарілої системи керування на сучасний частотний перетворювач з частотним керуванням. Щоб досягти поставленої задачі, слід розв'язати наступні завдання:

- розглянути кінематичну схему та технічні характеристики верстата;
- сформулювати вимоги до нового привода головного руху верстата;
- скласти функціональну схему системи;
- побудувати структурну схему системи керування та виконати розрахунок параметрів її елементів;
- провести моделювання системи керування електропривода головного руху верстата в *MATLAB* та дослідити вплив параметрів регуляторів на показники якості керування.

Виклад основного матеріалу. Верстати оздоблювально-розточувальні вертикальні призначені для ремонтної розточки блоків циліндрів і гільз автомобільних, тракторних і мотоциклетних двигунів, а також для свердління й розточування отворів в окремих деталях, розміри яких відповідають технічній характеристиці верстатів. На верстаті моделі 2Е78П[5] можна здійснювати тонке фрезерування універсальним шпинделем.

Технічні дані верстатів дозволяють проводити тонке розточування в сталях, чавунах і кольорових металах, підрізування торця у розточувального отвору і безрисочний вивід різця.

Кінематична схема верстата 2Е78П показана на Рис.1.

Перелік вузлів та механізмів які відображені на схемі:

1 – стіл (а точніше рухома частина столу – полозки);



- 2 – тримач інструменту;
- 3 – шпіндельна бабка;
- 4 – колона (в якій присутній: противаг, який урівнює масу шпіндельної бабки зі шпинделем та ходовий гвинт шпіндельної бабки з шліцевим валиком приводу шпинделю);
- 5 – коробка швидкостей (включає в себе набір зубчастих коліс для переми-
кання швидкостей);
- 6 – електродвигун приводу головного руху;
- 7 – електродвигун приводу прискореного ходу шпіндельної бабки;
- 8 – електродвигун приводу столу.

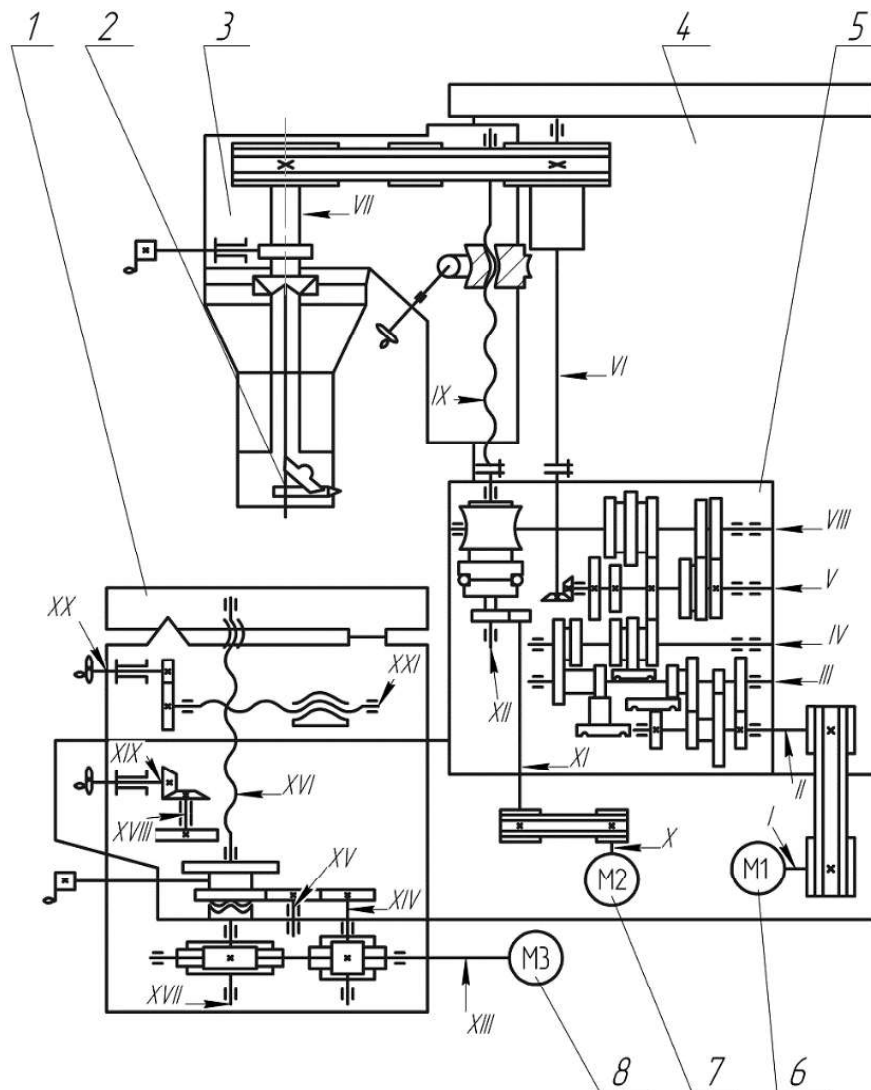


Рис. 1 Кінематична схема верстата 2Е78П

На верстаті моделі 2Е78П встановлено три трифазних короткозамкнених асинхронних двигуна:

- електродвигун головного руху М1 типу 4А90L4УЗ, потужністю 2,2 кВт, частотою обертання 1500 хв^{-1} , виконання М301;
- електродвигун прискореного ходу шпіндельної бабки М2 типу 4АХ80А6, потужністю 0,75 кВт, частотою обертання 1000 хв^{-1} , виконання М103;

- електродвигун приводу столу МЗ типу 4АХ80А6, потужністю 0,75 кВт, частотою обертання 1000 хв^{-1} , виконання М301.

Після розгляду технічної документації на вертикальний оздоблювально-розточувальний верстат 2Е78П та дослідження принципу роботи системи керування приводом головного руху визначимо недоліки:

- неможливість плавного регулювання швидкості обертання шпинделя внаслідок багатоступінчастого редукторного механізму;
- зниження коефіцієнту корисної дії (ККД) електродвигуна, а також у зв'язку з наявністю багатоступінчастого редукторного механізму, що у свою чергу приводить до підвищеного споживання електроенергії;
- взагалі відсутність будь-якої автоматичної системи керування приводом головного руху.

В ході модернізації було замінено двигун головного руху. Доцільність заміни електродвигуна 4А90ЛА4/2УЗ на електродвигун 4А90Л4УЗ[6] у тому, що двигун 4А90ЛА4/2УЗ є багатополісним а отже пристосованим для керування шляхом зміни числа пар полюсів. Також нам не відомий стан базового електродвигуна, тому в цілях надійності роботи електроприводу ухвалюємо заміну. Параметри електродвигуна 4А90Л4УЗ зведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри електродвигуна 4А90Л4УЗ

Параметр	Розмірність	Значення
Потужність двигуна $P_{2\text{НОМ}}$	кВт	2.2
Номинальний момент M_H	Н·м	14.006
ККД $\eta_{\text{НОМ}}$		0.8
Число пар полюсів p_n		2
Синхронна частота обертання ротора n_0	об/хв	1500
Номинальна частота обертання ротора $n_{\text{НОМ}}$	об/хв	1460
Номинальна частота мережі $f_{\text{НОМ}}$	Гц	50
Номинальна фазна напруга $U_{\text{НОМ}}$	В	220
Номинальний фазний струм $I_{\text{НОМ}}$	А	5.79

Для роботи сумісно із обраним електродвигуном використаємо частотний перетворювач *Micromaster440* фірми *Siemens*, розрахованого на сумісність з електродвигуном потужністю 2.2 кВт. Вибір частотного перетворювача виконано за паспортною документацією до серії частотних перетворювачів *Siemens Micromaster440* [7].

Основні особливості перетворювача:

- просте введення в експлуатацію;
- особливо гнучка конфігурація завдяки модульній конструкції;
- шість потенційно розв'язаних цифрових входів;
- два аналогових входи та два параметричних аналогових виходи;
- три параметричних релейних виходи (DC 30В/5А, омичне навантаження, AC 250В/2А, індуктивне навантаження);
- безшумна робота двигуна завдяки високій частоті імпульсів;
- захист двигуна й перетворювача;
- режим енергозбереження.



Відповідно до[8, 9, 10], були отримані данні для елементів структурної схеми, які зведено у таблицю 2.

Таблиця 2

Вхідні дані для розрахунку перехідних процесів	
Назва параметру	Значення параметру
Приведений момент інерції	$J = 0,061 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Жорсткість робочої частки механічної характеристики	$M_d = 2,802 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$
Постійна часу двигуна	$T_d = 0,011 \text{ с}$
Постійна часу частотного перетворювача	$T_{\text{ЧП}} = 0,0033 \text{ с}$
Коефіцієнт передачі інвертора	$K_{\text{ЧП}} = 10$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора швидкості	$K_{\text{РШ}} = 10$
Постійна часу ПІ-регулятора швидкості	$T_{\text{РШ}} = 0,011 \text{ с}$
Коефіцієнт підсилення ПІ-регулятора струму	$K_{\text{РС}} = 10$
Постійна часу ПІ-регулятора струму	$T_{\text{РС}} = 0,0033 \text{ с}$
Передатний коефіцієнт 33 по струму	$K_{\text{ДС}} = 4,133 \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{м}}$
Передатний коефіцієнт 33 по швидкості	$K_{\text{ДШ}} = 0,0636 \text{ В} \cdot \text{с}$

Математична модель електроприводу головного руху верстату 2Е78П складена відповідно до структурної схеми [8, 10] та розрахованих параметрів, приведених у таблиці 2.

Моделювання виконувалось у середовищі *Simulink* пакету програм *Matlab*[11]. Розрахункова структурна схема показана на рис. 2.

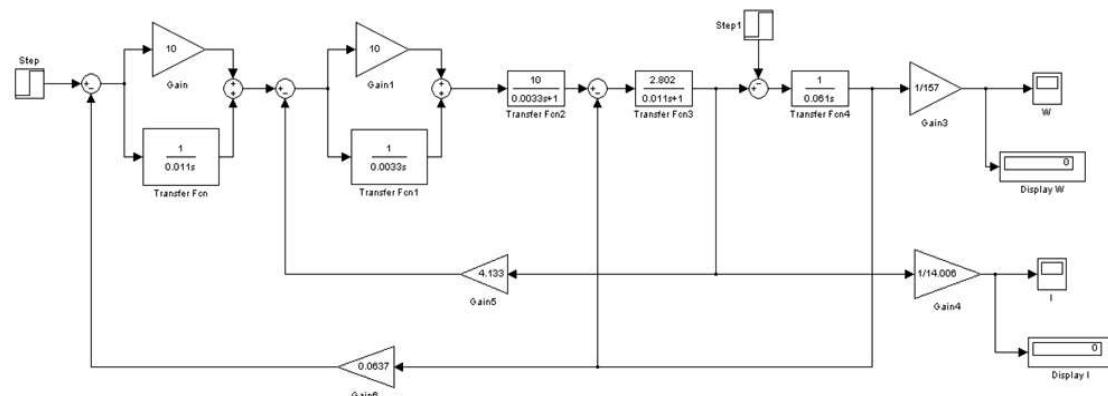


Рис. 2 Розрахункова структурна схема

Відповідно до визначених параметрів системи, що проектується, сформулюємо вимоги до результатів моделювання. Суттєвим для довгострокової роботи елементів системи є плавне нарощування швидкості обертання двигуна при часі досягнення сталого значення до 0,5 с. Перегулювання не має бути більшим за 30%. Пусковий струм не має перевищувати значення максимального пускового струму електродвигуна, який має кратність 6. Також потрібно перевірити реакцію системи на стрибок навантаження. На рис. 3 та 4 відображені графіки перехідних процесів по швидкості та струму, що були отримані при моделюванні системи із

розрахованими раніш параметрами регуляторів (таб. 2). Моделювання виконувалось для пуску без навантаження.

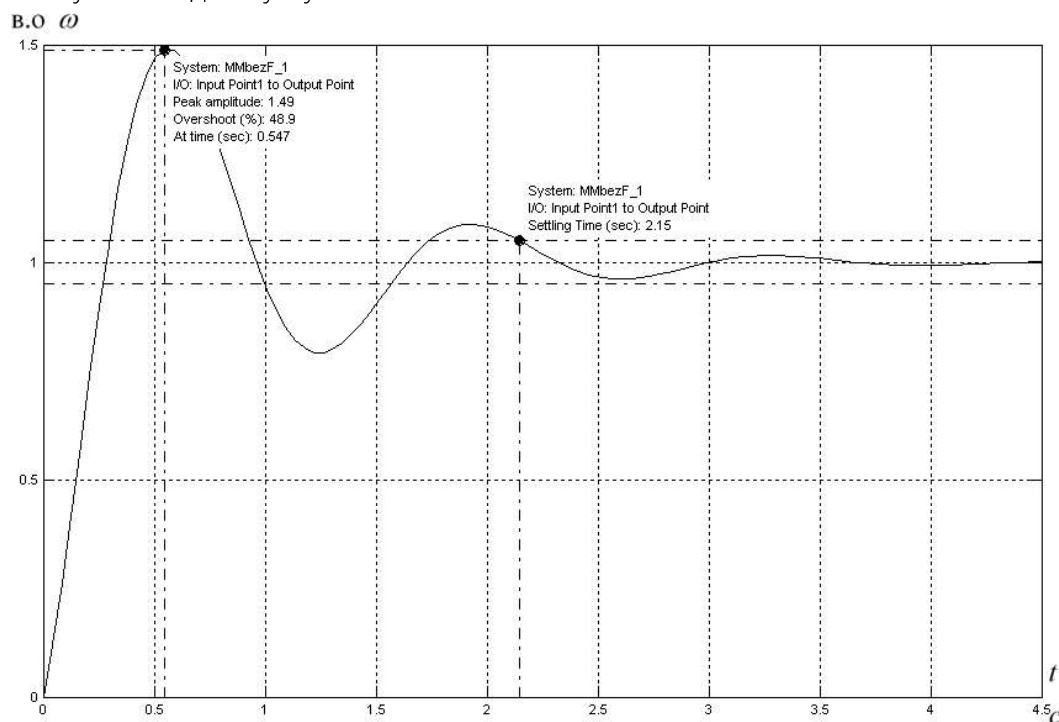


Рис. 3 Перехідний процес по кутовій швидкості, пуск без навантаження

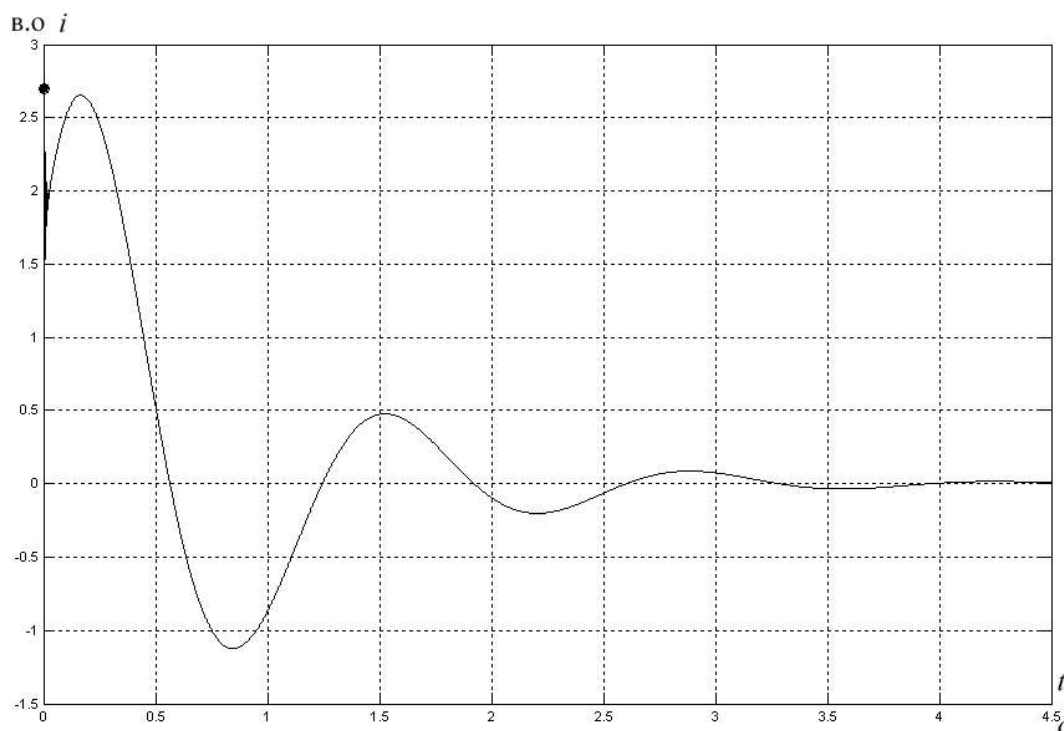


Рис. 4 Перехідний процес по струму, пуск без навантаження

Як видно результати перехідного процесу незадовільні: час перехідного процесу – 2.15 с, пере регулювання – 48.9% та кратність пускового струму – 2.7.

Щоб отримати необхідні показники якості перехідного процесу зробимо параметричну настройку регуляторів струму та швидкості.



Спочатку настроюється внутрішній контур струму, потім зовнішній – швидкості.

Варіюємо параметр K_{PC} в діапазоні від 1 до 1000. Отримані дані у вигляді часу перехідного процесу $t_{пп}$, найбільшого значення пускового струму i та перерегулювання σ вводимо до таблиці 3. На основі даних будуюмо графіки залежностей часу перехідного процесу, пускового струму та перерегулювання від параметру K_{PC} (Рис. 5)

Таблиця 3

Залежність параметрів $t_{пп}$, i та σ від K_{PC}

K_{PC}	1	10	20	50	100	500	1000
$t_{пп}, c$	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
$i, B.O.$	3,34	2,69	2,69	2,69	3,1	2,88	2,65
$\sigma, \%$	49	49	49	49	49	49	49

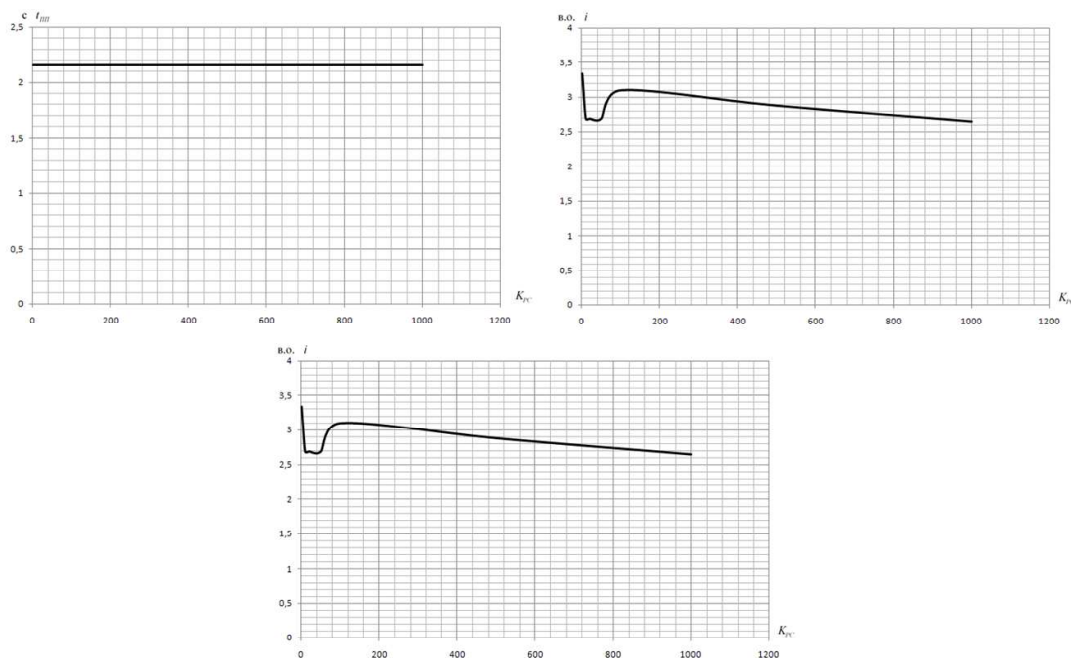


Рис. 5 Залежність пускового моменту від струму, часу та перерегулювання

На підставі отриманих даних обираємо $K_{PC} = 10$.

Далі варіюємо параметр T_{PC} в діапазоні від 0,00033 до 3,3 с. Отримані дані у вигляді часу перехідного процесу $t_{пп}$ та найбільшого значення пускового струму i та перерегулювання σ вводимо до таблиці 4, на основі даних будуюмо графіки залежностей часу перехідного процесу, пускового струму та перерегулювання від параметру T_{PC} (Рис. 6).

Таблиця 4

Залежність параметрів $t_{пп}$, i та σ від T_{PC}

T_{PC}	0,00033	0,0033	0,033	0,33	3,3
$t_{пп}, c$	2,15	2,15	2,15	2,14	2,14
$i, B.O.$	3,13	2,69	2,67	2,67	2,67
$\sigma, \%$	49	49	48,8	48,4	48,4

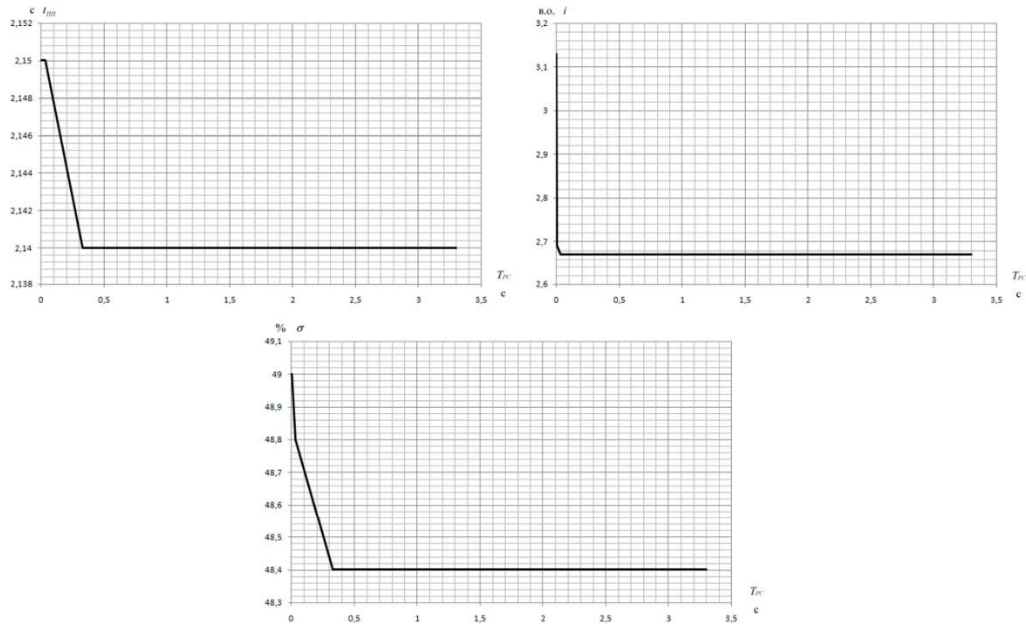


Рис. 6 Залежність часу перехідного процесу

На підставі отриманих даних обираємо $T_{PC} = 0,33$ с.

Тепер переходимо до настройки контуру швидкості. Варіюємо параметр $K_{PШ}$ в діапазоні від 0,1 до 50. Отримані дані у вигляді часу перехідного процесу $t_{пл}$ та найбільшого значення пускового струму i та перегулювання σ вводимо до таблиці 5, на основі даних будуємо графіки залежностей часу перехідного процесу, пускового струму та перегулювання від параметру $K_{PШ}$ (Рис. 7).

Таблиця 5

Залежність параметрів $t_{пл}$, i та σ від $K_{PШ}$

$K_{PШ}$	1	5	10	14	18	18,5	19	20	50
$t_{пл}, \text{с}$	20,4	4,62	2,14	1,51	1,36	1,3	0,916	0,915	0,715
$i, \text{в.о.}$	3,13	2,79	2,67	3,92	5,75	5,91	6,07	6,39	16
$\sigma, \%$	91,1	67,4	48,4	38,3	30,9	30,1	29,4	28	8,97

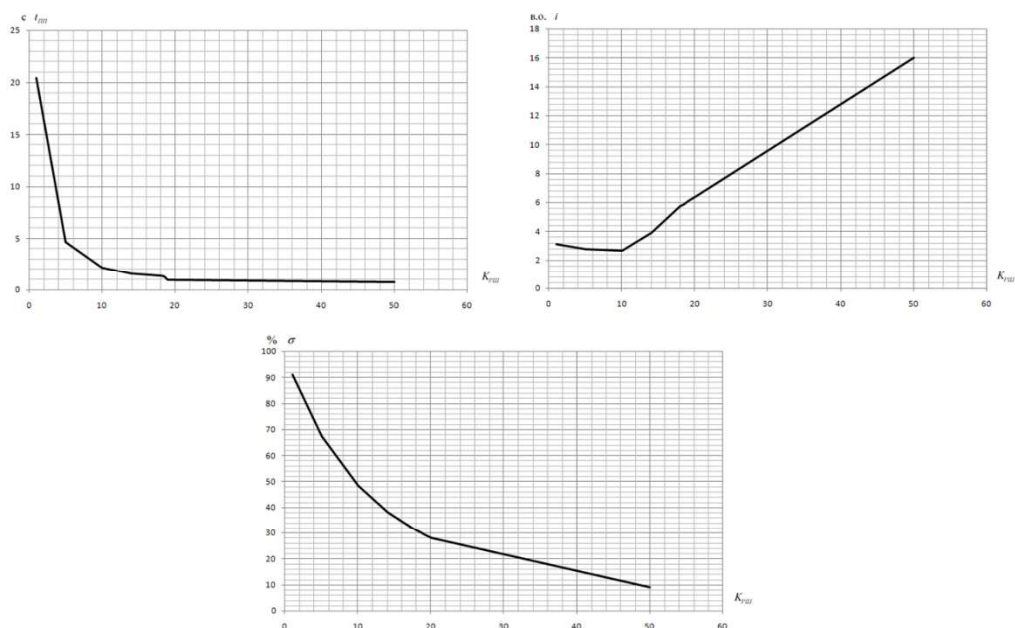


Рис. 7 Залежність часу перехідного процесу



На підставі отриманих даних обираємо $K_{PШ} = 18.5$.

Тепер варіюємо параметр $T_{PШ}$ в діапазоні від 0,0011 до 11 с. Отримані дані у вигляді часу перехідного процесу $t_{ПП}$ та найбільшого значення пускового струму i та перегулювання σ вводимо до таблиці 6, на основі даних будуємо графіки залежностей часу перехідного процесу, пускового струму та перегулювання від параметру $K_{PШ}$ (Рис. 8)

Таблиця 6

Залежність параметрів $t_{ПП}$, i та σ від $T_{PШ}$

$T_{PШ}$	0,0011	0,011	0,11	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	11
$t_{ПП}$, с	1,27	1,3	1,97	0,632	0,65	0,656	0,659	0,661	0,663	0,665
i , в.о.	8,7	5,91	4,38	4,88	5,96	5,96	5,96	5,79	5,79	5,79
σ , %	64	30,1	6,73	0,748	0	0	0	0	0	0

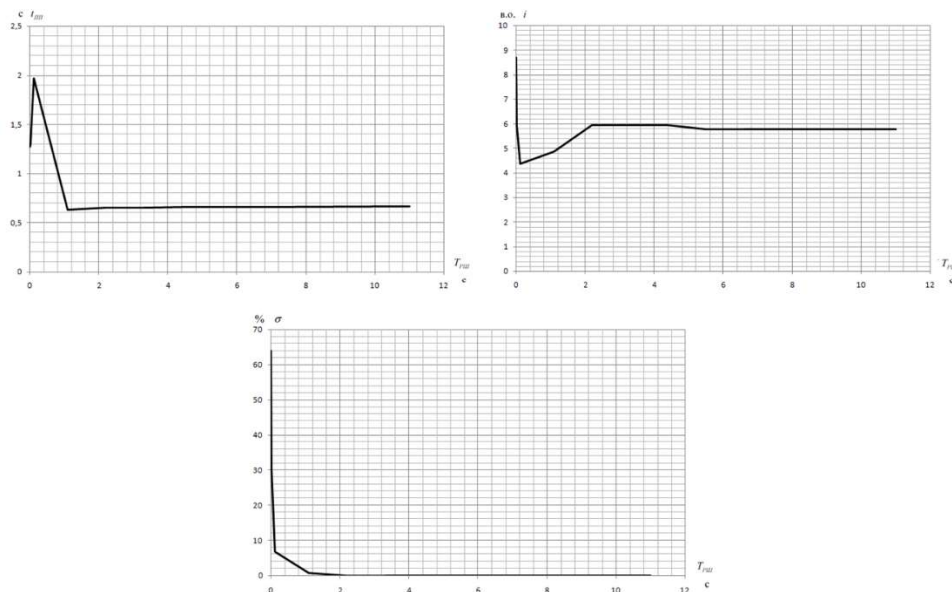


Рис. 8 Залежність часу перехідного процесу

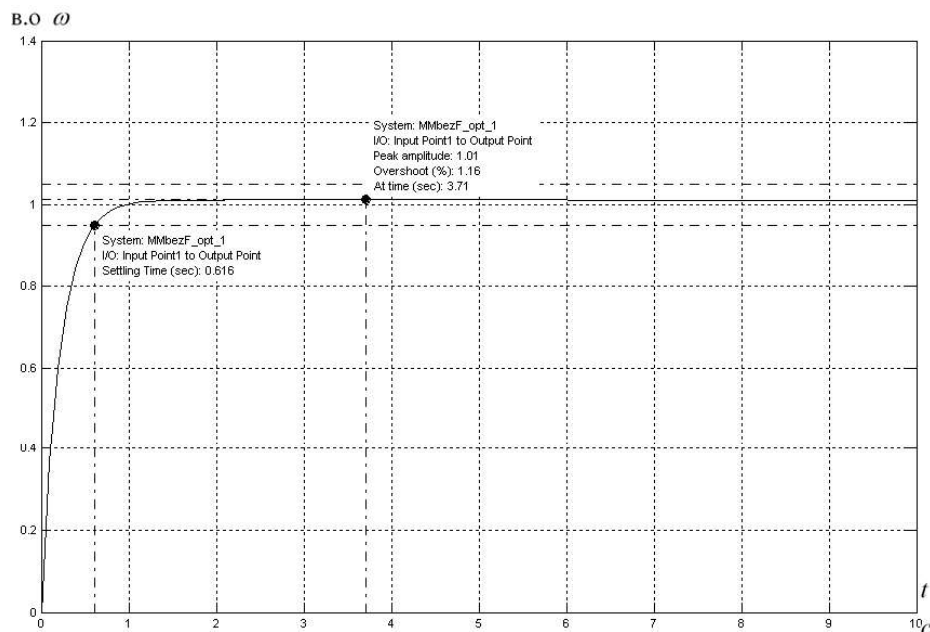


Рис. 9 Перехідний процес системи керування з підібраними параметрами по кутовій швидкості, пуск без навантаження

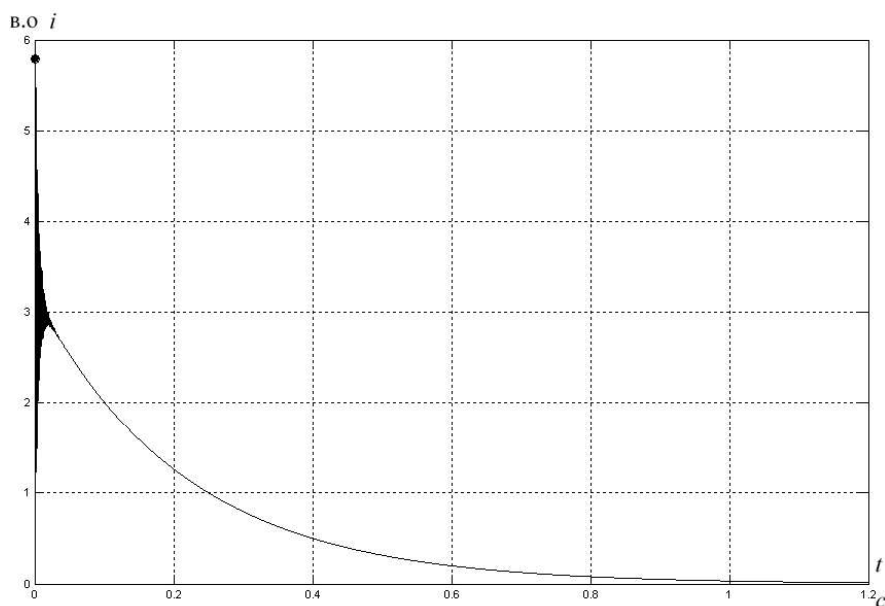


Рис. 10 Перехідний процес системи керування з підібраними параметрами по струму, пуск без навантаження

Підставивши параметри регуляторів у структурну схему математичної моделі, були отримані перехідні характеристики, які показано на рис. 9 та рис. 10.

Після моделювання системи з підібраними параметрами, були отримані графіки перехідних процесів, які наведені на Рис. 9 (кутова швидкість) та Рис. 10 (струм). Пуск виконувався без навантаження.

Як видно з Рис. 9 та Рис. 10, час перехідного процесу дорівнює 0.616с, перегулювання становить 1.16%, пусковий струм має кратність 5.8. Такі показники якості на задовольняють технічним вимогам, тому було ухвалене рішення поставити після джерела вхідного сигналу фільтр, який згладжує вхідний сигнал та не дає йому різко змінюватись за амплітудою. Отримані результати показано на рис. 11 та рис. 12.

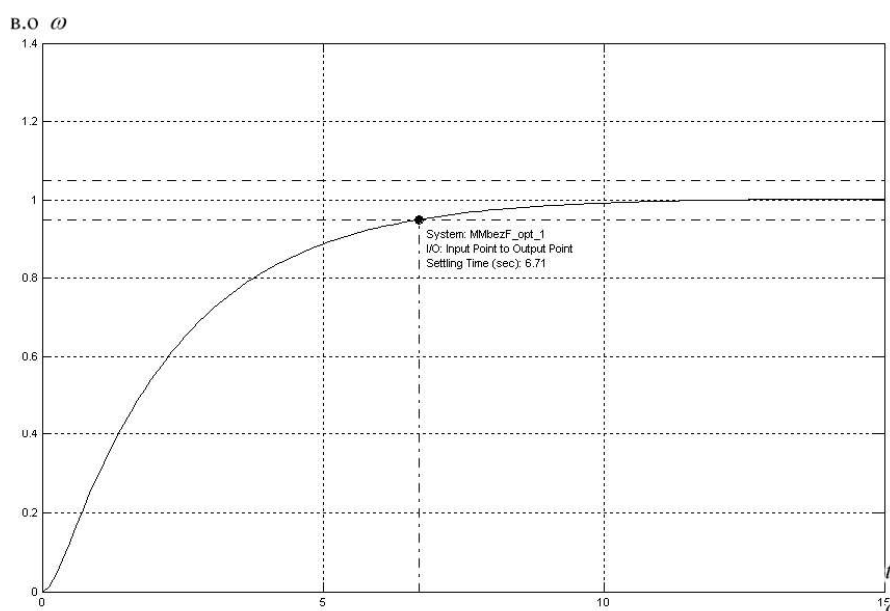


Рис. 11 Перехідний процес системи керування з вхідним фільтром по кутовій швидкості, пуск без навантаження

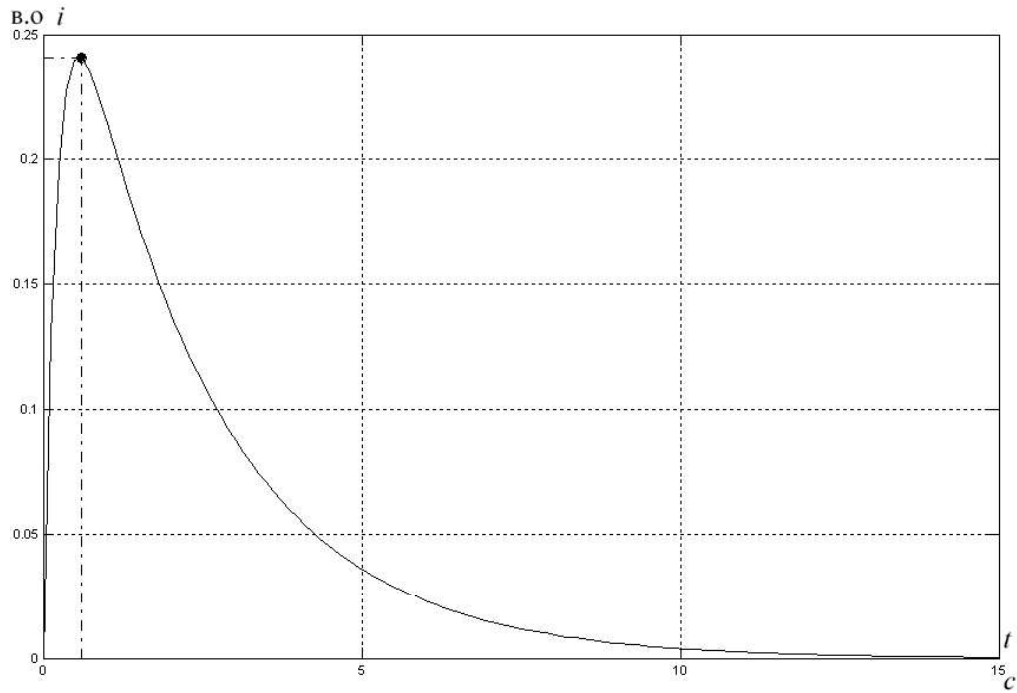


Рис. 12 Перехідний процес системи керування з вхідним фільтром по струму, пуск без навантаження

Перехідні процеси по кутовій швидкості та струму відповідно до нових значень параметрів показані на Рис. 13 та Рис. 14 відповідно.

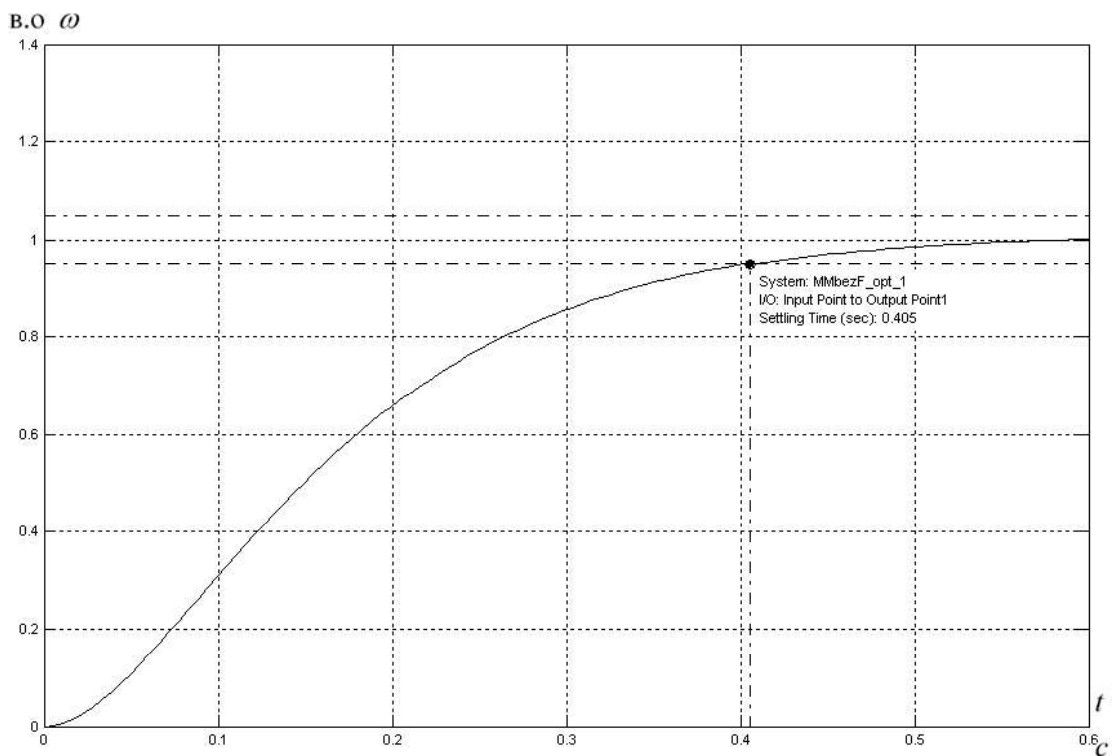


Рис. 13 Перехідний процес системи керування з вхідним фільтром по кутовій швидкості, пуск без навантаження

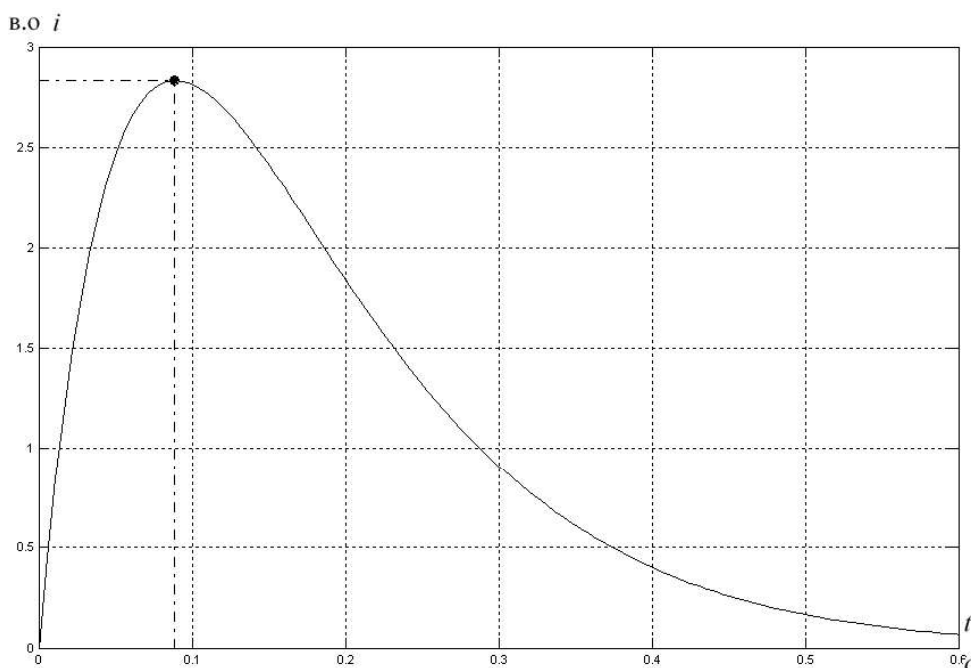


Рис. 14 Перехідний процес системи керування з вхідним фільтром по струму, пуск без навантаження

Показники якості при перехідних процесах: час перехідного процесу – 0,405 с, перерегулювання – 0% , кратність пускового струму – 2.83.

Всі показники перехідного процесу задовільняють технічним вимогам, тому проводимо дослідження системи далі.

Для перевірки системи на стрибок навантаження виконаємо пуск з накиданням 20 % навантаження при часі 1 с та зменшенням навантаження до 0 при часі 2 с. Графіки перехідних процесів по кутовій швидкості та струму показані на Рис. 15 та Рис. 16 відповідно.

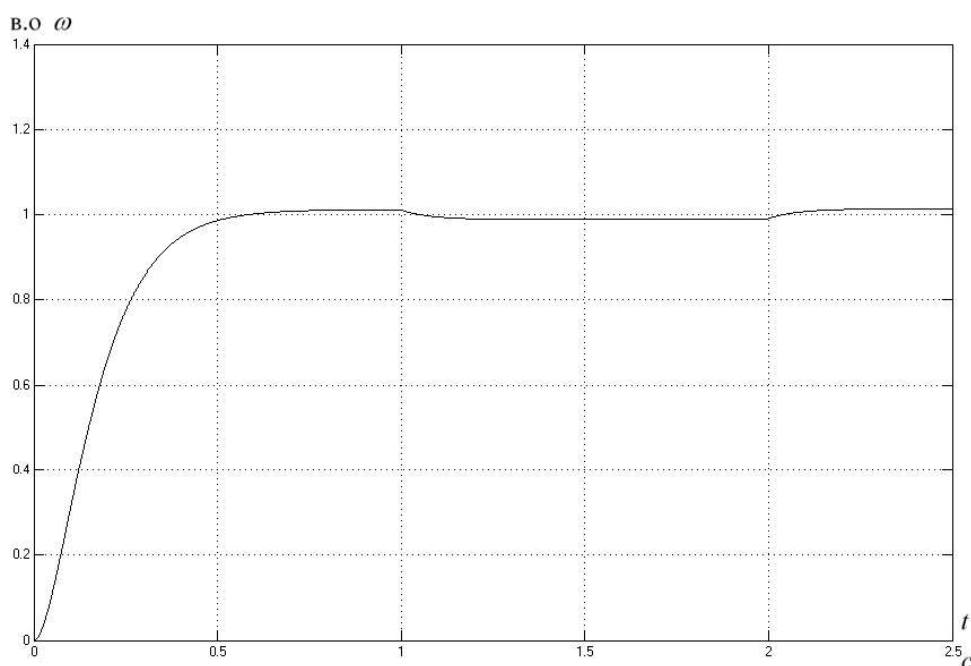


Рис. 15 Перехідний процес системи керування з вхідним фільтром по кутовій швидкості з накиданням 20% навантаження

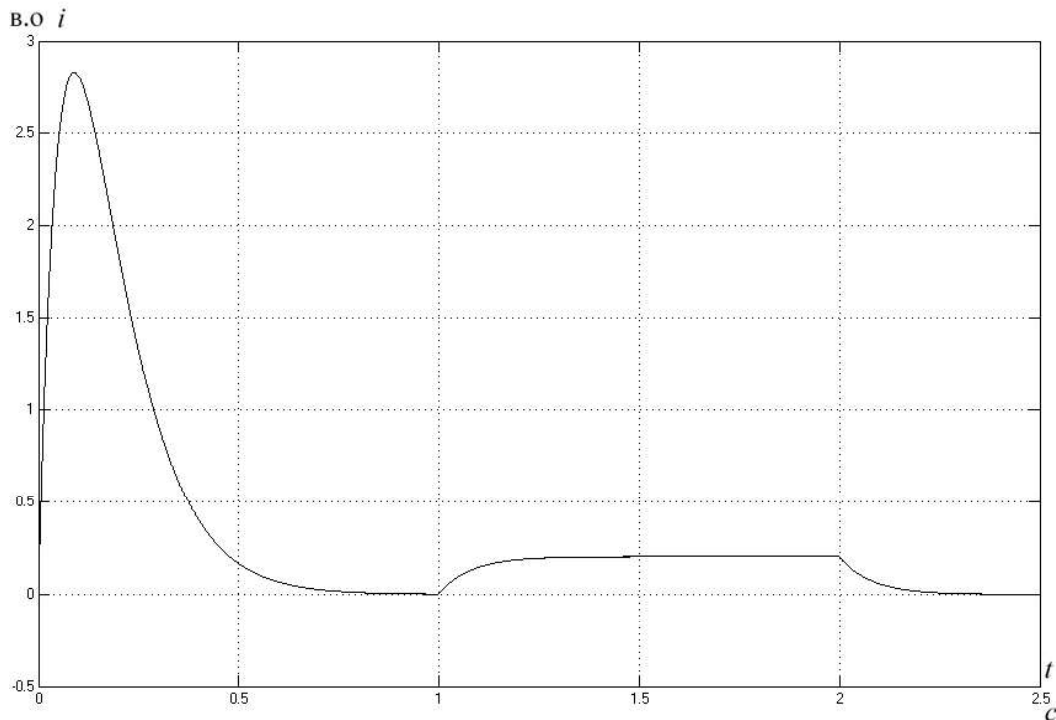


Рис. 16 Перехідний процес системи керування з вхідним фільтром по струму з накиданням 20% навантаження

Перехідні процеси задовільні швидкість стабілізується доволі швидко а струм не перевищує номінального значення.

Остаточні параметри регуляторів та вхідного згладжуючого фільтру, отримані шляхом параметричної настройки: $T_{PC} = 0.33$ с, $K_{PC} = 10$, $T_{PШ} = 0.1$ с, $K_{PШ} = 50$, $T_{\Phi} = 0.1$ с.

Показники якості керування :

- час перехідного процесу – 0.405 с,
- кратність пускового струму – 2.83,
- Перерегулювання – 0 %.

Отримані результати підтверджують доцільність введення вхідного згладжуючого фільтру до системи керування приводом головного руху.

Висновки. При виконання роботи була розглянута конструкція верстату, проаналізовані його технічні характеристики та кінематична схема. Був обраний електродвигун та частотний перетворювач відповідно до виконаних розрахунків та технічних вимог[12, 13]. Розроблені принципова електрична схема та схема електричних підключень елементів модернізованого приводу головного руху – двигуна, частотного перетворювача.

Виконаний розрахунок параметрів елементів математичної моделі приводу. Обрані параметри настроювання регуляторів та вхідного фільтру для забезпечення потрібних показників якості керування шляхом параметричної настройки. Була доведена доцільність включення в систему керування вхідного згладжуючого фільтру. Виконана перевірка приводу на стрибок навантаження. Результати моделювання підтверджують прийняті технічні рішення: час перехідного процесу системи становить 0.405 с, кратність пускового струму – 2.83, перерегулювання взагалі відсутнє.

Список використаних джерел:

- [1] Ehrlich, M., Wisniewski, L., & Jasperneite, J. (2015). Usage of retrofitting for migration of industrial production lines to industry 4.0. *Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation (KommA)*.
- [2] Strauß, P., Schmitz, M., Wöstmann, R., & Deuse, J. (2018, December). Enabling of predictive maintenance in the brownfield through low-cost sensors, an IIoT-architecture and machine learning. In *2018 IEEE International conference on big data (big data)* (pp. 1474-1483). IEEE.
- [3] Білюк, І. С., Гуров, А. П., Савченко, О. В., Майборода, О. В., & Марченко, А. В. (2022). СПОСІБ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИВОДА ПОДАЧ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА. *Trends in science and practice of today*, 29, 306.
- [4] Пушишин, П. В. (2023). Модернізація токарного верстату з числовим програмним керуванням.
- [5] Станки отделочно-расточные вертикальные 2Е78П и 2Е78ПН.(1974) Руководство по эксплуатации.
- [6] Кравчик, А. Э. (1982). Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник.
- [7] Siemens Micromaster440. Посібник з експлуатації. Комплект постачання. <http://www.siemens.com.ua/>
- [8] Siemens Micromaster440. (2020). Manuals. <http://www.siemens.com.ua/>.
- [9] Терехов, В. М. (2005). Системы управления электроприводов.
- [10] Башарин, А. В. (1982). Управление электроприводами. Рипол Классик.
- [11] Герман-Галкин, С. Г., & Кардонов, Г. А. (2003). Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. СПб.: КОРОНА принт, 256.
- [12] Білюк, І. С., Савченко, О. В., Оружак, І. В., Гудима, І. П., & Корзун, Б. М. (2023, March). Спосіб модернізації токарно-револьверного напівавтомата. In *The 10th International scientific and practical conference "Modern methods of applying scientific theories"* (March 14–17, 2023) Lisbon, Portugal. International Science Group. 2023. 481 p. (p. 453).
- [13] Білюк, І. С., Савченко, О. В., Трушкін, О. О., Грек, А. О., Морозов, М. О., & Манукян, В. С. (2024). Спосіб модернізації автоматизованого електропривода подачі координатно-шліфувального верстата.

METHOD OF MODERNIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE FINISHING AND BORING MACHINE MODEL 2E78P

SCIENTIFIC RESEARCH GROUP:

Bilyuk Ivan

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Savchenko Oleh

Head of Laboratories, Department of Automation
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Stavyns'kyi Rostyslav

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Tubal'tsev Anatoliy

Associate Professor,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

**Polehen'ko Oleh**

Student of the Department of Automation,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Sydoruk Artem

Student of the Department of Automation,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Kovalenko Daniil

Student of the Department of Automation,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine

Summary. *The modernization of the automated electric drive of a vertical finishing and boring machine based on a squirrel-cage electric motor using a frequency converter is considered.*

Keywords: *simulation modeling, scalar control, transient response, finishing and boring machine, mathematical modeling, nonlinear system, control systems, electric drive.*