

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

з виконання лабораторних робіт дисципліни

**“ТИПОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД”**

для студентів спеціальності  
141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА  
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА  
усіх форм навчання

Частина I

**2018**

Методичні вказівки з виконання лабораторних робіт дисципліни «Типовий електропривод» для студентів спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА усіх форм навчання. Частина I. /Укл: А.В. Пирожок, О.С. Назарова – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 42 с.

Укладачі:

А.В. Пирожок, к.т.н., доцент

О.С. Назарова, к.т.н., доцент

Рецензент:

В.І. Бондаренко, к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск: П.Г. Засипко, зав. лабораторії

Затверджено  
на засіданні кафедри  
Електропривода і  
автоматизації промислових  
установок  
протокол № 02 від 22. 10. 2018 р.

Затверджено  
на засіданні НМК ЕТФ  
протокол № 04 від 22. 11. 2018 р.

## ЗМІСТ

Передмова .....	4
1 Лабораторна робота №1 Частотно-регульований асинхронний електропривод токарно-гвинторізного верстата 16УО4П на базі транзисторного перетворювача частоти ТПТР-10 .....	5
2 Лабораторна робота №2 Електропривод постійного струму складального конвеєра на базі комплекту ЕТЗІ .....	20
3 Лабораторна робота №3 Асинхронний короткозамкнений електропривод відцентрового вентилятора з безступінчастим регулюванням продуктивності .....	27
Перелік посилань	41

## ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять опис трьох лабораторних робіт з дисципліни «Типовий електропривод» у відповідності до навчальних планів ОКР бакалаврів спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА і рекомендації до їх виконання.

Лабораторні роботи містять короткі теоретичні відомості згідно теми роботи, завдання, рекомендації щодо їх виконання і контрольні запитання для кращого засвоєння матеріалу і перевірки отриманих студентом знань та навичок.

Для студентів спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА усіх форм навчання.

## 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### Частотно-регульований асинхронний електропривод токарно-гвинторізного верстата 16У04П на базі транзисторного перетворювача частоти ТПТР-10.

**Мета:** вивчити принципову схему автоматизації роботи верстата, експериментально дослідити режими роботи привода верстата і побудувати його функціональну електричну схему.

#### Короткі теоретичні відомості.

Токарно-гвинторізні верстати підвищеної точності моделі 16У04П призначені для виконання різних токарних робіт в центрах, в цанзі, в патроні, для нарізування метричних, модульних і дюймових різьблень.

Верстати широко використовуються в лабораторіях, навчальних і ремонтних майстернях.

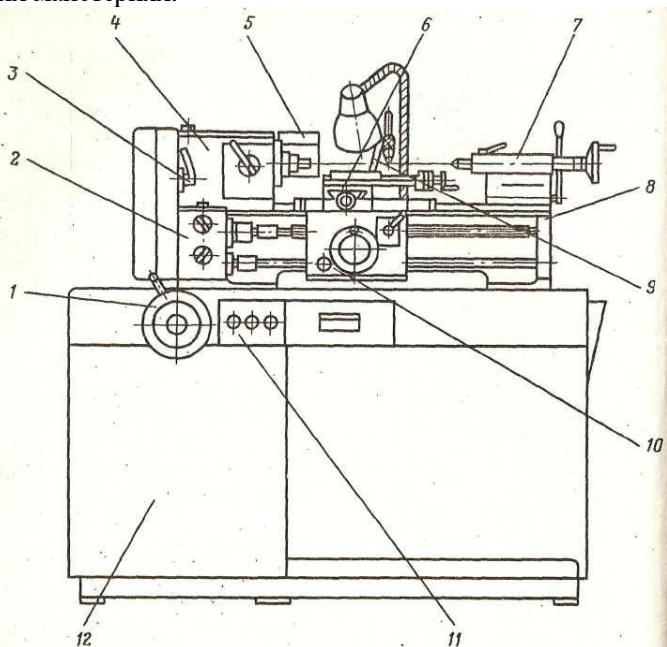


Рисунок 1.1 - Схема розташування основних вузлів на верстатах

На рисунку 1.1 використані такі позначення: 1 – варіатор, 2 – коробка подач, 3 – гітара, 4 – передня бабака, 5 – кожух, 6 – суппорт, 7 – задня бабка, 8 – станіна, 9 – система охолодження, 10 – фартук, 11 – електрообладнання, 12 – тумба.

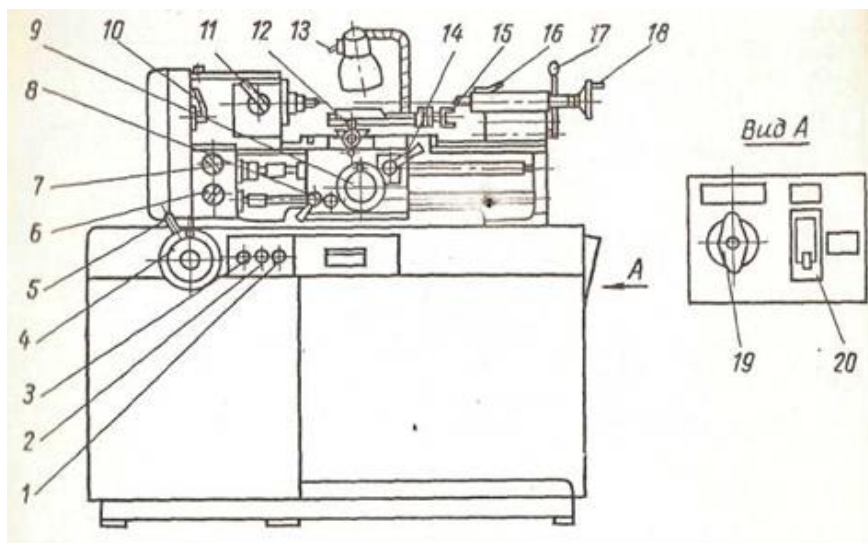


Рисунок 1.2 - Схема розташування органів керування

На рисунку 1.2 використані такі позначення: 1 - кнопка «Стоп-гальмо», 2 - кнопка прямого обертання шпинделя, 3 - кнопка зворотнього обертання шпинделя, 4 - маховичок зміни чисел оборотів шпинделя, 5 - рукоятка варіатора, 6 - рукоятка перемикання величин поздовжніх подач, 7 - рукоятка перемикання величин поздовжніх подач і включення ходового гвинта, 8 - кнопка вимикання обертання маховика, 9 - маховичок ручного поздовжнього переміщення супорта, 10 - рукоятка трензеля, 11 - рукоятка перебору, 12 - рукоятка ручного поперечного переміщення супорта, 13 - вимикач освітлення, 14 - рукоятка включення маткової гайки і поздовжньої подачі, 15 - рукоятка переміщення верхньої каретки, 16 - рукоятка затиску пінолі задньої бабки, 17 - рукоятка затиску задньої бабки, 18 - маховичок переміщення пінолі задньої бабки, 19 - вимикач охолодження, 20 - автоматичний вимикач.

Таблиця 1.1 - Основні дані верстата моделі 16УО4П

Назва	Значення
Розмір верстата (довжина x ширина x висота), мм	1380x730x1215
Маса верстата, кг	750
Висота центрів, мм	108
Розміри виробу, мм:	
найбільший діаметр виробу, що оброблюється над станиною	200
найбільша довжина виробу	500
найбільший діаметр над супортом	118
найбільший діаметр прутка в патроні	19
найбільший діаметр прутка в цанзі	10
Передня бабка:	
діаметр отвору шпинделя, мм	19,2
конус отвору шпинделя	Морзе 3
Задня бабка:	
діаметр пінолі, мм	35
найбільше переміщення пінолі, мм	70
переміщення пінолі за одну поділку лімба, мм	1
конус отвору пінолі	Морзе 2
Станина:	
Діаметр ходового вала, мм	18
Діаметр і крок ходового гвинта, мм	26x5
Механіка верстата:	
кількість швидкостей шпинделя	безступінчате регулювання
Кількість обертів за хвилину:	
основне виконання	70-3500
на замовлення	50-2500
Кількість поздовжніх подач супорта при постійному налаштуванні гітари	4
Межі поздовжніх подач супорта при постійному налаштуванні гітари, мм / об	
	0,04-0,32

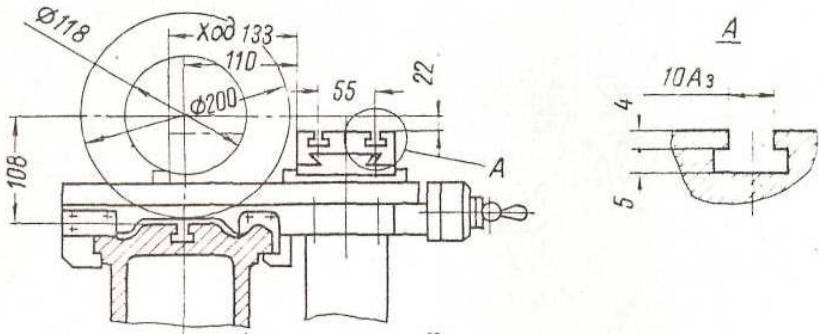


Рисунок 1.3 - Габарити робочого простору

### Фізичні основи процесу різання.

При обробці матеріалів різанням, на інструмент різання діють сили, розподіл яких показано на рисунку 1.4.

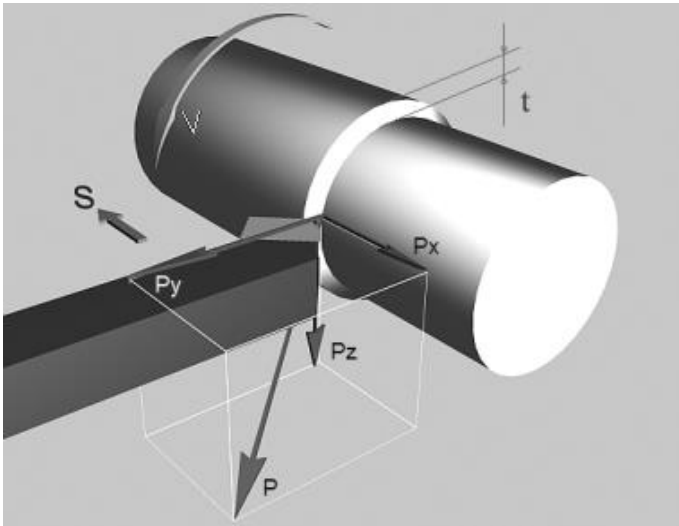


Рисунок 1.4 – Розподіл сил, які діють на інструмент різання

Знаючи сили, що діють у процесі різання, можна розрахувати і вибрати інструмент різання і пристосування, визначити потужність,

що необхідна для різання, а також здійснювати раціональну експлуатацію верстата, інструменту та пристосувань.

Утворення стружки в процесі різання відбувається під дією сили різання, що долає опір металу. Силу різання  $P$  при обробці точення можна розкласти на три складові: тангенціальну  $P_z$ , спрямовану вертикально вниз і визначальну потужність, споживану приводом головного руху верстата; радіальну  $P_y$ , спрямовану уздовж поперечної подачі (ця сила спрямована на зустріч різцю і враховується при розрахунку міцності інструменту і механізму поперечної подачі верстата); осьову  $P_x$ , спрямовану уздовж поздовжньої подачі (ця сила прагне відтиснути різець в сторону супорта і враховується при визначенні допустимого навантаження на різець і механізми верстата при поздовжній подачі).

Також на рисунку:  $S$  - подача,  $t$  - глибина різання. Між трьома складовими сили різання існують приблизно такі співвідношення:  $P_y=(0,25-0,5)P_z$ ;  $P_x=(0,1-0,25)P_z$

У більшості випадків  $P_z$  приблизно дорівнює  $0,9P$ , що дозволяє багато практичних розрахунків проводити не за силою  $P$  різання, а за її тангенціальною складовою  $P_z$ . У процесі різання на величини  $P_z$ ,  $P_y$  і  $P_x$  впливають такі чинники: оброблюваний метал, глибина різання, подача, передній кут різця, головний кут різця в плані, радіус округлення різальної крайки різця, мастильно-охолоджуючі рідини, швидкість різання і знос різця.

Фізико-механічні властивості оброблюваного металу істотно впливають на величину сили різання. Чим більше межа міцності при розтягуванні і твердість оброблюваного металу, тим більше  $P_z$ ,  $P_y$  і  $P_x$ . Збільшення глибини різання і подачі також призводить до збільшення складових сили різання, причому глибина різання більше впливає на силу різання, ніж подача.

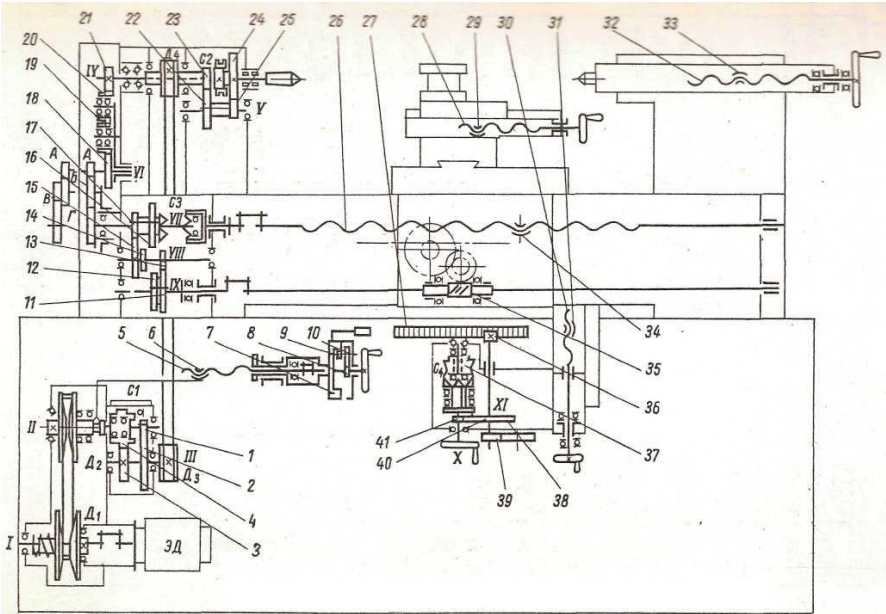


Рисунок 1.5 – Кінематична схема верстата моделі 16У04П

Кінематика верстата дозволяє здійснити: головний рух - обертання шпинделя, рух подачі - переміщення різця.

Електродвигун (ЕД) обертає ведучий диск  $D_1$  варіатора з широким клиновим ременем. Ремінь приводить до обертання ведомий диск  $D_2$ . Зміна швидкості обертання веденого вала варіатора здійснюється переміщенням рухомої частини веденого диска  $D_2$ . Ведений диск варіатора  $D_2$  передає обертання двоступінчатій коробці швидкостей, що складається з зубчастих коліс 1,2,3,4 і муфти  $C_1$ .

Коробка швидкостей передає обертання шківу  $D_3$  клиноремінної передачі. Клинові ремені передають обертання шківу  $D_4$ , встановленому на втулці, що має спільну вісь зі шпинделем. Обертання шпинделя IV передається або при включенні перебора, що складається з зубчастих коліс 22,23,24,25, або при включенні муфти  $C_2$ .

Обертання для здійснення руху подачі передається від шпинделя на вал VI за допомогою зубчастих коліс 21,20,19,18.

Зубчасте колесо 21 може зачіпатися або з колесом 19, або з колесом 20. При цьому перемиканні змінюється напрямок обертання валів приводу подач.

На валу VI розташована перша шестерня гітари верстата. У гітару входять зубчасті колеса А, В, Г при налаштуванні на подачу і А, Б, В, Г при нарізці різьблення. Гітара приводить в обертання вал VII коробки подач. Вал VII передає обертання або ходового гвинта при включенні муфти С3, або ходового валика при переключенні зубчастих блоків 16-17 та 11-12. Всього ходовому валику передається чотири швидкості обертання.

При нарізанні різьби рух супорту і різця передається ходовим гвинтом 26 при включенні маткової гайки 34; при точінні - рейковою шестернею 36 і рейкою 27. Обертання рейкової шестерні передається від ходового валика за допомогою черв'ячної передачі 35,37, муфти С4 і зубчастих коліс 39, 38.

### **Обладнання лабораторної установки**

Лабораторна установка (стенд №26) являє собою серійний токарно-гвинторізний верстат типу 16УО4П з асинхронним електроприводом на базі асинхронного короткозамкненого електродвигуна, що живиться від серійного транзисторного перетворювача частоти ТПТР-10. Транзисторний перетворювач частоти призначений для плавного регулювання частоти обертання шпинделя в заданому діапазоні частот обертання. Задання діапазону частоти обертання виконується установкою ручки перемикача діапазонів на передній панелі верстата. Задавач частоти перетворювача знаходиться на передній панелі перетворювача.

Приводний електродвигун має наступні основні технічні характеристики: тип АО-2-12-4У3, потужність - 0,8 кВт; частота - 50 Гц, частота обертання номінальна - 1350 об/хв, напруга при з'єднанні трикутником - 220 В, напруга при з'єднанні зіркою - 380 В, струм при з'єднанні трикутником - 3,6 А, струм при з'єднанні зіркою - 2,1 А,  $\cos \varphi = 0,78$ , КПД - 74,5%, режим роботи S1, маса - 12,2 кг. Закон регулювання частоти перетворювача ТПТР -  $U/f = \text{const}$ .

Схема електрична принципова органів керування лабораторним стендом №26 показана на рисунку 1.6.

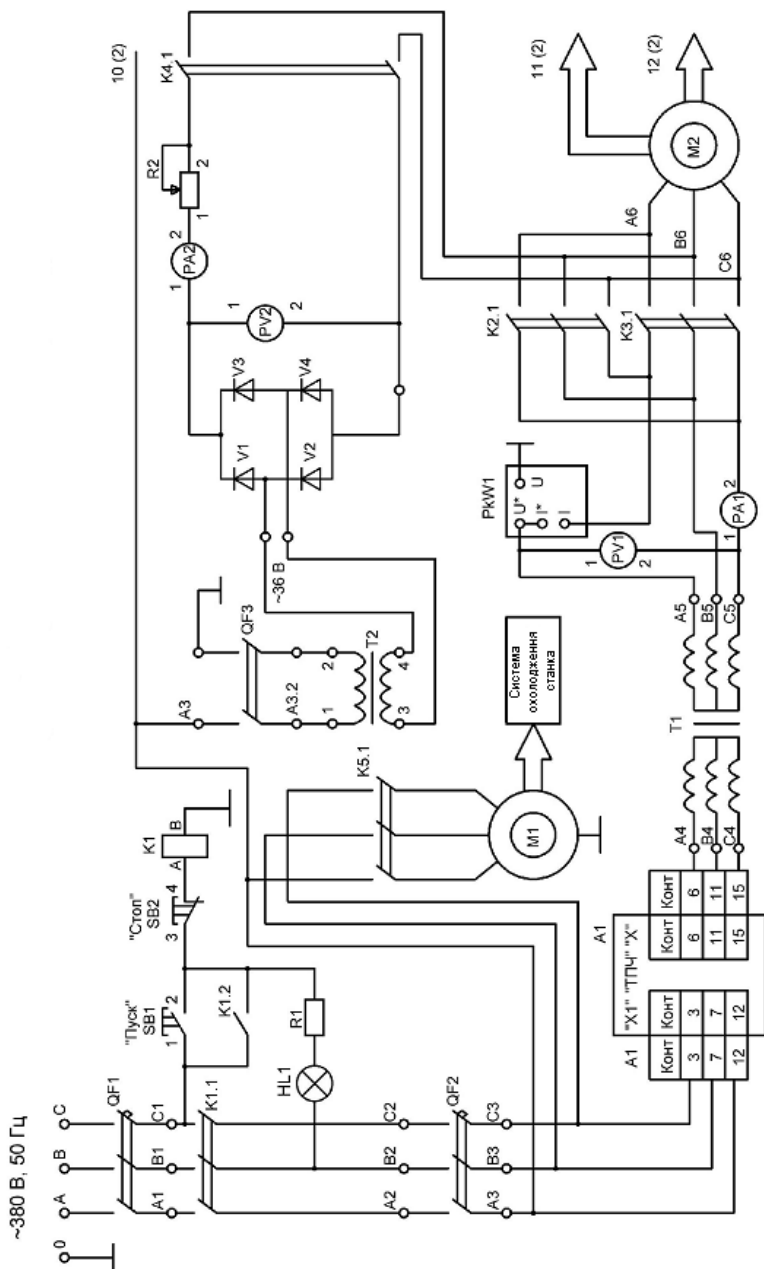


Рисунок 1.6 - Схема електрична принципова

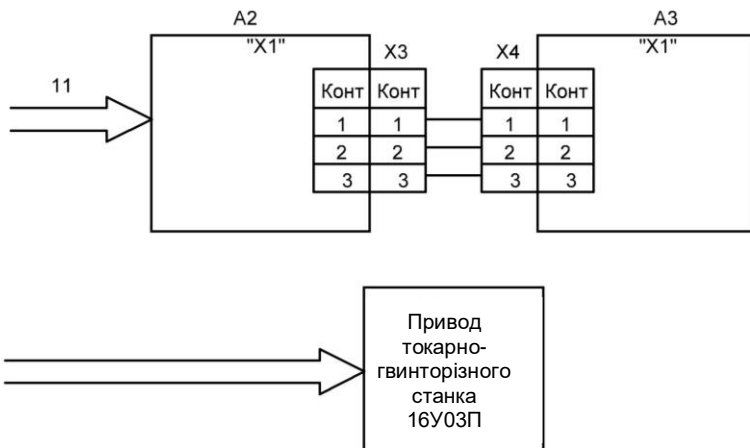
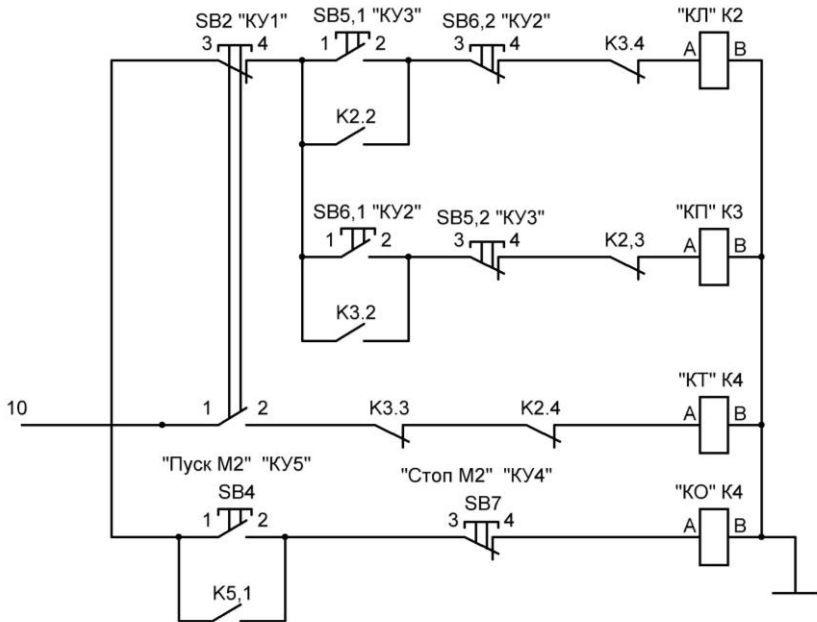


Рисунок 1.7 - Схема електрична принципова (продовження)

Перелік електротехнічного обладнання лабораторного стенда №26 наведено в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Перелік електротехнічного обладнання

Позначення	Найменування	Кіл	Примітка
A1	Перетворювач частоти	1	ТПТР-10-230-200-21УХЛ
A2	Тахогенератор ДТЭ-1	1	
A3	Вимірювач оборотів ИСТ-2	1	
QF1...QF3	Автоматичний вимикач АСТ-3	3	ТУ 16.526.009-71
K1	Контактор П6-III УХП4А	1	ТУ16.536.377-77
K2...K4	Контактор ПМЕ-041	2	
M1	Електродвигун ПА-22	1	
M2	Електродвигун АО-2-12-4У3	1	
PA1	Амперметр Э30	1	ДСТ 8711-60
PA2	Амперметр М362	1	ДСТ8711 -60
PV1	Вольтметр Э30	1	ДСТ 8711-60
PV2	Вольтметр М362	1	ДСТ 8711-60
PkW1	Кіловатметр Д307	1	ДСТ 8476-60
R1	Резистор ПЭВ-25-3,6 кОм ± 10%	1	
R2	Резистор РСП-100 Ом ± 10%	1	
SB1...SB7	Кнопка ВК14-21	7	
T1	Трансформатор ТСЭН-16У2	1	
T2	Трансформатор ТБС 321	1	
V1... V4	Діод В 125	4	
HL1	Лампа 48V, 50мА	1	
X1	Розетка ШР 40 У16НГ2	1	
X2	Вилка ШР40 У16НШ2Н	1	
X3,X4	Розетка ШР 20 ПЗНГ7	2	

Основні характеристики перетворювача частоти ТПТР-10: тип ТПТР -10-230-200-21-УХЛ4, номінальна напруга - 380В; номінальний струм - 10А, частота - 50Гц, ступінь захисту ІР-33.

ТУ16-435.002-83. Тахометр – мікроамперметр М42304, кл.1,5. Ціна поділки тахометра обчислюється, виходячи з даних таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Дані для обчислення ціни поділки тахометра.

Номінальна частота обертання двигуна, об/хв	Ціна поділки приладу: 1 мкА - об/хв
6000	60
3000	30
1500	15
1000	10
750	7,5

### Завдання.

Вивчити конструкцію привода верстата і системи автоматизації, ознайомитися зі схемою електричною принциповою системи автоматизації роботи верстата, записати основні дані електроустаткування і приводного електродвигуна.

Проведення експериментальної частини лабораторної роботи.

Порядок включення привода і регулювання швидкості:

а) ввімкнути необхідні автомати та магнітні пускачі на панелі стенда згідно з рисунком 1.6, попередньо встановивши регулятор перетворювача ТПТР-10 у нульове положення;

б) регулятором перетворювача спробувати роботу установки, встановивши 2-3 поділки на перетворювачі частоти, після чого регулятор знову встановити у нульове положення.

Зняття регулювальних характеристик.

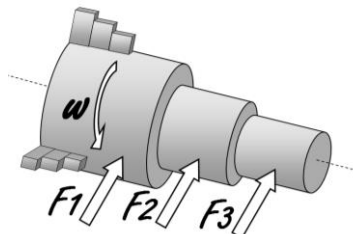


Рисунок 1.8 – Структурна схема навантаження

Для зняття експериментальних даних регулювальної характеристики ручка установки діапазонів встановлюється відповідно в I і II положення і, змінюючи частоту перетворювача від

0 до максимального значення, за тахометром записуються значення частоти обертання, струму, напруги, потужності (таблиця 1.4). Для кожного положення ручки виконати чотири варіанти навантаження, згідно з рисунком 1.8.

Для побудови регулювальної характеристики виконати обчислення і звести отримані дані у таблицю 1.5.

Таблиця 1.4 – Експериментальні дані для побудови регулювальної характеристики привода

I Положення ручки						
Холостий хід						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					
Навантаження I						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					
Навантаження II						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					
Навантаження III						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					
п, об/хв	ТХ					

Продовження таблиці 1.4

II Положення ручки						
Холостий хід						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					
Навантаження I						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					
Навантаження II						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					
Навантаження III						
п, об/хв	ТХ					
I, А	РА1					
U, В	PV1					
P, Вт	PW1					
I, мкА	РА					

За результатами експериментальних даних для кожного діапазону будується статична модель привода за умови того, що навантажувальна характеристика привода на кожному діапазоні є астатичною.

Таблиця 1.5 – Розрахункові дані для побудови регульовальної характеристики привода

I Положення ручки					
Холостий хід					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					
Навантаження I					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					
Навантаження II					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					
Навантаження III					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					
II Положення ручки					
Холостий хід					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					
Навантаження I					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					
Навантаження II					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					
Навантаження III					
$\omega$ , рад/с					
M, Нм					

### Зміст звіту з лабораторної роботи.

Звіт повинний містити тему і мету роботи, схему електричну принципову лабораторного стенда, перелік електроустаткування і коротку характеристику основних елементів електропривода (двигуна, перетворювача ТПТР-230); схему електричну функціональну привода та її опис; таблиці 1.4 та 1.5, графіки  $\omega = f(M)$ , схему структурно-алгоритмічну привода; висновок.

**Контрольні запитання.**

- 1 Поясніть призначення елементів схеми?
- 2 Поясніть принцип регулювання частоти при законі  $U/f = \text{const}$  ?
- 3 Які основні параметри верстата повинні враховуватися при розробці структурно-алгоритмічної схеми привода верстата?
- 4 Як обчислюється електромагнітна та електромеханічна постійні часу?
- 5 Розшифруйте тип верстата 16УО4П?
- 6 Як реалізовано привод подання верстата?
- 7 Які параметри верстата повинні враховуватися при розробці структурно-алгоритмічної схеми привода подання?

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### Електропривод постійного струму складального конвеєра на базі комплекту ЕТЗІ.

**Мета:** вивчити конструкцію електропривода і принципову схему автоматизації режимів роботи конвеєра на основі комплекту ЕТЗІ, експериментально дослідити режими роботи конвеєра.

#### Короткі теоретичні відомості.

Електропривод тиристорний трифазний реверсивний серії ЕТЗІ застосовується у всіх галузях народного господарства, у тому числі у механізмах подачі станків, транспортних пристроях, конвеєрах, інших машинах та механізмах.

Призначений для плавного регулювання частоти обертання електродвигунів постійного струму потужністю від 0,3 до 2 кВт з напругою живлення 110 В, 220 В.

#### Основні дані.

Напруга живлення трифазна – 220В, 380 В; частота мережі – 50Гц, 60Гц; потужність – не більше 2 кВт; регулювання однозонне; зворотній зв'язок за частотою обертання; діапазон регулювання частоти обертання 1:1000; ККД – 85%; діапазон потужностей для двигунів з живленням 220В - 2...4,5 кВт; серії двигунів ПСТ, ПБВ, 2П, 2ПБ, 2ПБВ, ДПУ, ДПМ, 4П та інші; схема випрямлення – трифазна з нулем, роздільне керування; ступінь захисту IP00.

Структурна схема електропривода показана на рисунку 2.1, де БР – блок регулювання; БСВ – блок силових вентелів; РР – релейний регулятор; СО – система струмообмеження; СИФУ – система імпульсно-фазового керування з формуванням довжини імпульсів; ЛУ – логіка керування; ЛТ – струмова логіка; УИ – підсилювач імпульсів; БП – блок живлення; ЗС – задавач швидкості; А6 – підсилювач; А7 – компаратор; А8 – інтегратор; А9 – інвертор; А3-А5 – формувач режиму ковзання; М – двигун; ОВМ – обмотка збудження двигуна; ЛПУ – логічне прилад, що переключач; ВР – тахогенератор.

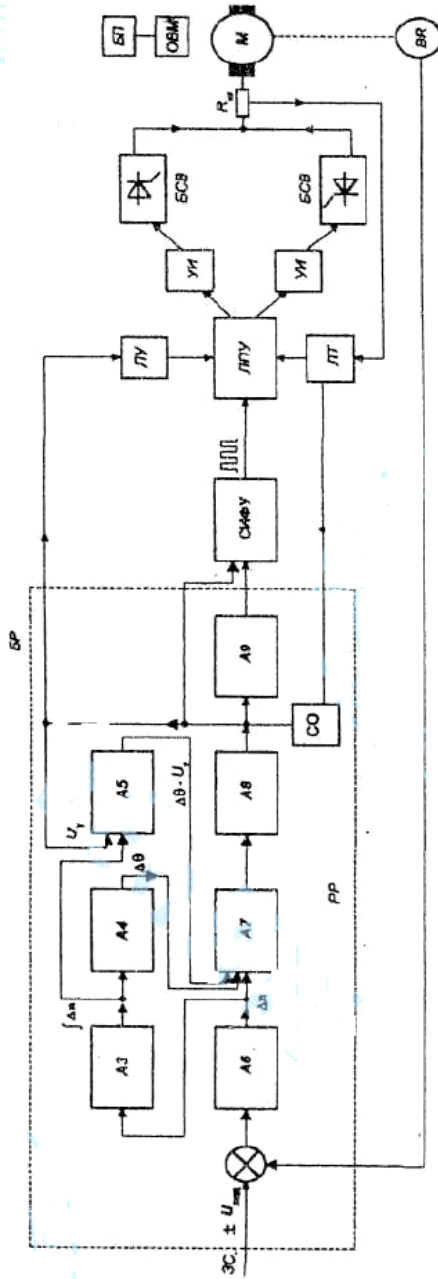


Рисунок 2.1 – Структурна схема електропривода ETZ

### **Обладнання лабораторної установки**

Лабораторна установка (стенд №28) являє собою серійний підвісний конвеєр з електроприводом постійного струму, що побудований на базі серійного комплекту ЕТЗІ. Система автоматизації режимів роботи конвеєра виконана у виді шафи керування конвеєром типу ЯОК 3101.

Редуктор типу КДВ-200 М1, виконання 14, передаточне число редуктора - 103. Засоби керування конвеєрною установкою і діагностування працездатності привода розташовані на передній панелі шафи керування.

Принципова електрична схема автоматизації режимів роботи конвеєрної установки й основні характеристики наведені на установці.

Дані шафи керування конвеєром. Назва: шафа керування конвеєром; тип - ЯОК 3101-443У2; виконання ІР42, напруга живлення - 380В; частота мережі - 50Гц; ТУ 16-536.042-76; 1986 р.; маса 106 кг; № 56; виробництво Тернопільського РМЗ.

Дані приводного електродвигуна.

Тип - П-42УХЛ4, потужність - 3,5 кВт; струм якоря - 9,8А; напруга якоря - 440В; режим - І, збудження - незалежне; напруга збудження - 220 В; ККД- 81,5%; клас ізоляції - В; частота обертання - 1500/2250 об/хв.; ГОСТ 18374-86; Вага - 88 кг.

Принципова схема шафи керування ЯОК 3101 наведено на рисунку 2.2, на якому показане і підключення шафи до мережі живлення лабораторії 198.

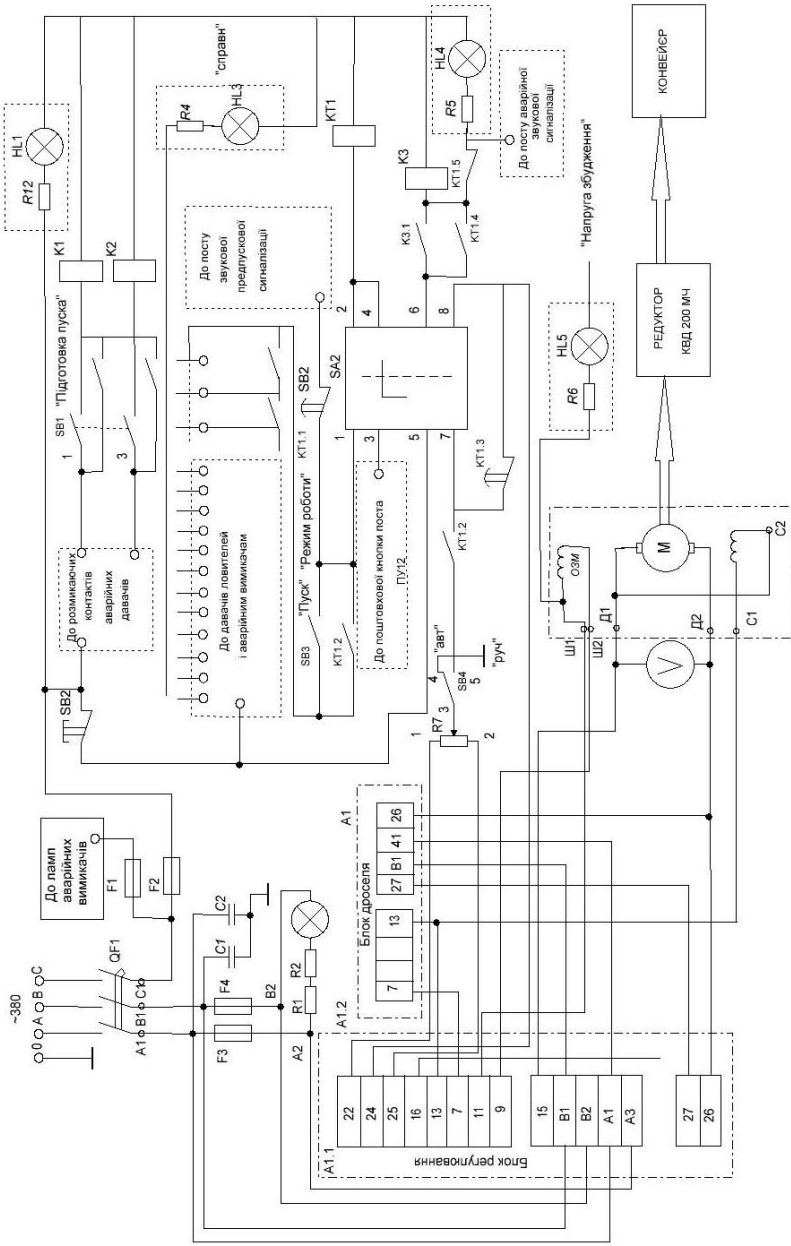


Рисунок 2.2 - Принципова схема шафи керування ЯОК 3101

Таблиця 2.1 – Перелік електротехнічного обладнання

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
A1	Електропривод ЕТО2-1У4 380В	1	ТУ 16-530.104-
QF1	Автоматичний вимикач АЕ2016-	1	ТУ16.522.064-75
C1,C2	Конденсатор КЗИ 1000В, 047ткФ	1	
K1...K3	Реле РПУ2-36200143ЦИ 220В	6	ТУ16.523.331-78
M1	Електродвигун П-42УХЛ4	1	
KT1	Реле РПП-13104И 220В	1	ТУ16.523.554-78
PV1	Вольтметр М325 кл. 1,5	1	ДСТ 8711-78
R1-R6	Резистор ПЭВ-301-63-100Ом±5%	1	
R7	Резистор ППБ-15М-4,7кОм±10%	1	
SA1	Перемикач 15ПІНІЕИ	1	ТУ0.360.600
S2	Перемикач ПКУЗ-14ИУЗ	1	ТУ16.526.047-74
SB1	Кнопка КЕ011 УЗ исп.1	1	ТУ16.526.407-
SB2	Кнопка КЕ 21УЗ исп.5	1	ТУ16.526.407-
SB3	Кнопка КЕ01143 исп.4	1	ТУ16.526.407-
SB4	Перемикач ТП1-2	1	
F1...F4	Запобіжник ПН-50 АТО 481.501 ТУ1 пл. у ст.1А	4	
HL1	АС 120 14 У2, 220В	1	пост. з R3
HL2	АС 12014 У2, 380В	1	пост. з R1, R2
HL3	АС 12015 У2, 220В	1	пост. з R4
HL4	АС 12011 У2, 220В	1	пост. з R5
HL5	АС 12014У2, 220В	1	пост. з R6

**Завдання.**

Задати 10 значень напруги  $U$  для побудови залежності  $\omega=f(U)$ .

За допомогою секундоміра визначити час  $t$ , який витрачається на проходження одного кола кареткою конвеєра. Використовуючи отримані дані обчислити лінійну швидкість руху конвеєра і кутову швидкість обертання вала двигуна.

Таблиця 2.2 – Експериментальні і розрахункові дані

Величина, од. вимір.	Показання							
$U, \text{В}$								
$t, \text{с}$								
$v, \text{м/с}$								
$\omega, \text{с}^{-1}$								

Кінематична схема конвеєра показана на рисунку 2.3.

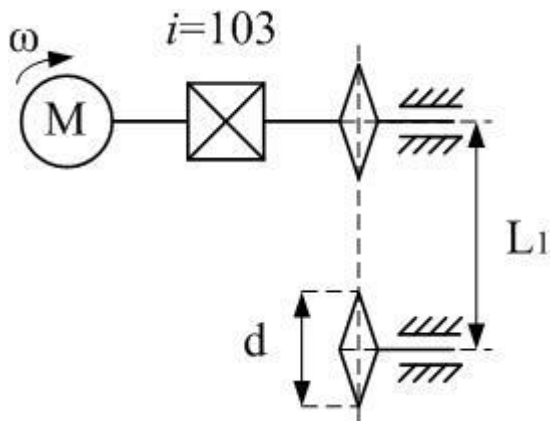


Рисунок 2.3 - Кінематична схема конвеєра

Довжина півкола:

$$L_2 = \pi \cdot d$$

Загальна довжина конвеєра:

$$L = 2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2$$

**Зміст звіту з лабораторної роботи.**

Звіт повинний містити тему і мету роботи, схему електричну принципову лабораторного стенда, перелік електроустаткування і коротку характеристику основних елементів електропривода; кінематичну схему електропривода конвеєра; таблицю з експериментальними і розрахунковими даними (табл. 2.2); графік залежності  $\omega=f(U)$ ; висновок.

**Контрольні запитання.**

- 1 Назвіть способи регулювання швидкості ДПТ НЗ.
- 2 Поясніть призначення елементів схеми.
- 3 Як здійснюється регулювання швидкості конвеєра за законом П-регулювання?
- 4 Як здійснюється регулювання швидкості конвеєра за законом ПІ-регулювання?
- 5 Як здійснюється регулювання швидкості конвеєра за законом ПІД-регулювання?
- 6 Назвіть способи обмеження динамічних навантажень на привод механізмів.
- 7 Які можливості надає системі регулювання жорсткий зворотний зв'язок?
- 8 Які можливості надає системі регулювання гнучкий зворотний зв'язок?

## 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

**Асинхронний короткозамкнений електропривод відцентрового вентилятора з безступінчастим регулюванням продуктивності.**

**Мета:** вивчити конструкцію та принципову електричну схему електропривода відцентрового вентилятора, експериментально зняти регулювальну і навантажувальну характеристики вентилятора.

**Короткі теоретичні відомості.**

Визначення потужності двигуна вентилятора.

Потужність на валу приводного двигуна вентилятора визначається за формулою, кВт

$$P = \frac{F \cdot V^3 \cdot \gamma \cdot 10^{-3}}{2 \cdot g \cdot \eta_g}, \quad (3.1)$$

де  $P$  - потужність приводного двигуна, кВт;  $F$  - перетин трубопроводу,  $m^2$ ;  $V$  - швидкість газу,  $m/c$ ;  $\gamma$  - питома вага газу,  $H/m^3$ ;  $g$  - прискорення сили тяжіння,  $m/c^2$ ;  $\eta_g$  - ККД вентилятора.

Продуктивність вентилятора  $Q$  може бути визначена,  $m^3/c$

$$Q = F \cdot V_{cp}. \quad (3.2)$$

Натиск вентилятора  $H$  пропорційний квадрату швидкості, питомій вазі газу і дорівнює,  $H/m^2$

$$H = \frac{V^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g}. \quad (3.3)$$

Після підстановки(2) і (3) у формулу (1) маємо, Вт

$$P = \frac{Q \cdot H}{\eta_g}, \quad (3.4)$$

тобто потужність двигуна вентилятора визначається продуктивністю і натиском вентилятора.

Визначення натиску і продуктивності можливе кількома способами. Одним з досить точних способів визначення натиску і продуктивності вентилятора є використання трубки Вентурі.

На рисунку 3.1 зображена схема установки вентилятора з труюкою Вентурі.

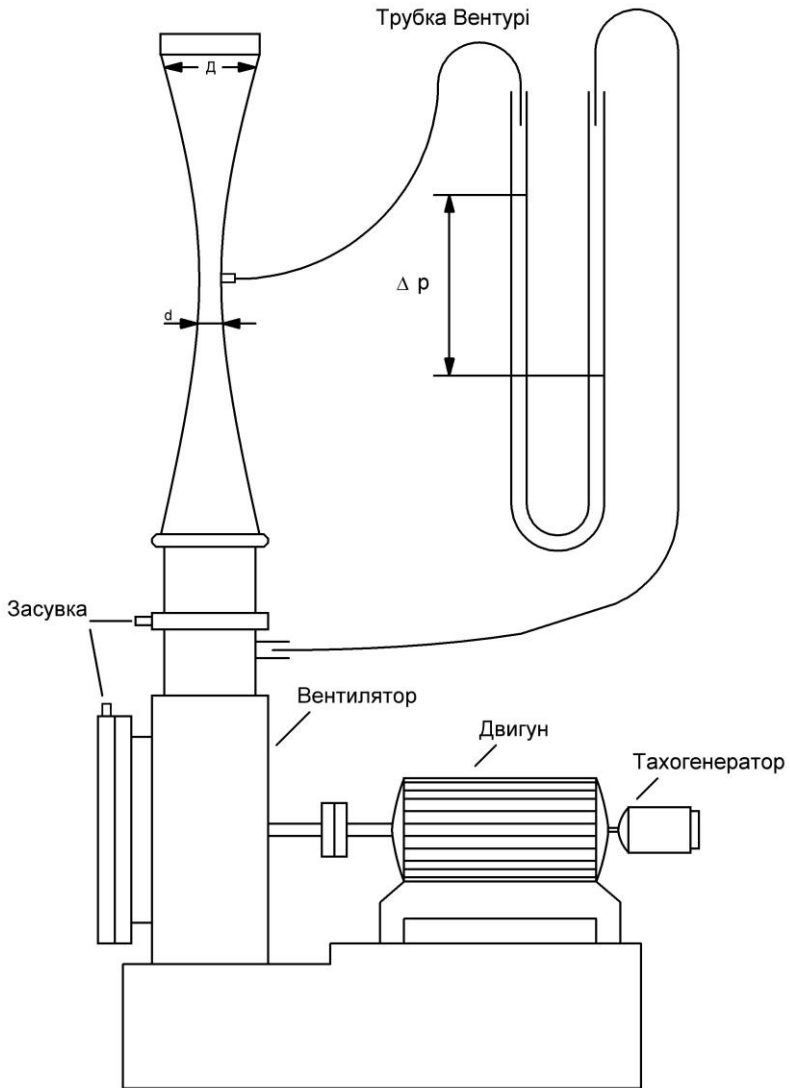


Рисунок 3.1 – Схема установки вентилятора з труною Вентурі

Вимірювання перепаду статистичесих тисків  $\Delta p$  здійснюються за допомогою U-подібної скляної трубки з рідиною (вода).

Тут  $D, d$  – діаметри, м. ( $D=250\text{мм}$ ,  $d=50\text{мм}$ )

Для визначення витрати повітря (продуктивності) вентилятора  $Q$  треба визначити коефіцієнт  $K'$  за формулою Бернуллі

$$K' = \sqrt{\frac{1}{\frac{\rho}{2} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{d^2} - \frac{1}{D^4}\right)}}, \quad (3.5)$$

де  $\rho=1,2$  кг/м<sup>3</sup> - щільність повітря при температурі 20°C, барометричному натиску (тиску) 760 мм рт.ст. і відносній вологості 0,5.

Тоді  $Q = K' \cdot \sqrt{\Delta p}$ , м<sup>3</sup>/с

Для визначення натиску  $H$  необхідно визначити середню швидкість  $V_{cp}$  за формулою (3.6) з використанням тарировочного коефіцієнта  $K$ , м/с

$$V_{cp} = K \sqrt{\Delta P}. \quad (3.6)$$

Тоді натиск  $H$  дорвнює,  $H / \text{м}^2$  або Па

$$H = \frac{\gamma \cdot V_{cp}}{2 \cdot g}. \quad (3.7)$$

У координатах  $H=f(Q)$  будуємо основну та типову характеристики вентилятора при різних швидкостях обертання та різних характеристиках магістралі.

Швидкість обертання асинхронного двигуна змінюється за допомогою тиристорного перетворювача частоти. Регулювання швидкості виконується при постійному моменті, так як зміна частоти в даному перетворювачі провадиться за законом

$$\frac{U}{f} = const,$$

тобто зі зміною частоти в стільки ж разів змінюється напруга. Частота змінюється в межах від 20 до 55 Гц.

Приклад розрахунку.

$$K' = \sqrt{\frac{1}{\frac{\rho}{2} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{d^2} - \frac{1}{D^4}\right)}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1,2}{2} \left(\frac{4}{3,14}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{0,05^4} - \frac{1}{0,25^4}\right)}} = 0,0025.$$

$$Q = K' \cdot \sqrt{\Delta p} = 0,0025 \cdot \sqrt{130 \cdot 9,81} = 0,09.$$

$$\Delta p = 130 \text{ мм}.$$

$$1 \text{ мм водяного стовпчика} = 9,81 \text{ Па} = 9,81 \text{ Н/м}^2.$$

$$V_{cp} = K \sqrt{\Delta P} = 1,24 \sqrt{130 \cdot 9,81} = 43,4 \text{ [м/с]}$$

$$K = 1,24.$$

$$H = \frac{\gamma \cdot V_{cp}}{2 \cdot g} = \frac{1,2 \cdot 43,4^2}{2} = 1130 \text{ [Н/м}^2\text{]},$$

$$\text{де } \gamma = \frac{m_g}{V} = \rho g; \quad \rho = \frac{m}{V}; \quad m - \text{ маса газу (повітря), кг/с.}$$

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot KI}{\eta_e} = \frac{0,09 \cdot 1130 \cdot 1,3}{0,52} = 254 \text{ [Вт]}.$$

Момент, що розвивається двигуном, Нм

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{254}{150} = 1,7,$$

$$\text{де } \omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1425}{60} = 150 \text{ рад/с.}$$

Статична модель відцентрового вентилятора будується за результатами експериментальних досліджень.

Спершу, визначається коефіцієнт передачі вентилятора за каналом керування  $K_{\omega}$  за статичною характеристикою  $H=f(\omega)/Q=\text{const}$ , в результаті чого маємо статичну ланку пропорційного типу (рис. 3.2,а).

Далі визначається коефіцієнт передачі вентилятора за каналом навантаження на основі статичної характеристики  $H=f(Q)/\omega=\text{const}$ , в результаті чого маємо статичну ланку пропорційного типу (рис. 3.2,б).

Статична модель вентилятора будується на основі схем, показаних на рис. 3.2, а і б з урахуванням  $\beta$  – величини жорсткості навантажувальної характеристики вентилятора (рис. 3.2,в).

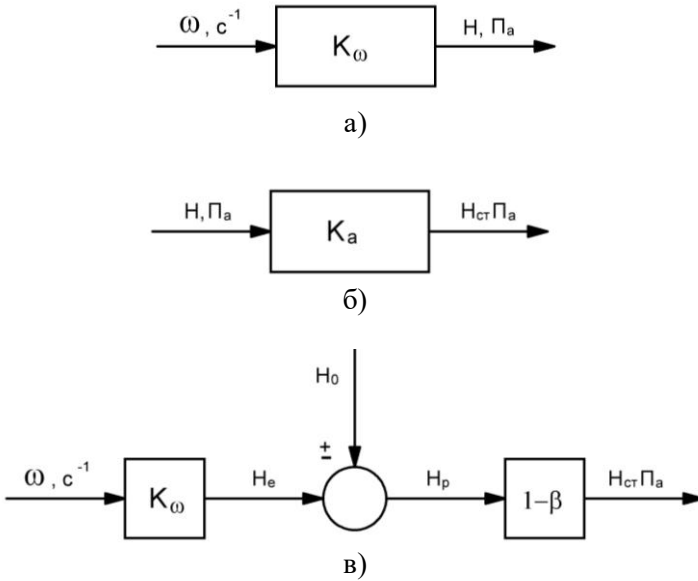


Рисунок 3.2 – Схеми структурно-алгоритмічні відцентрового вентилятора.

### **Обладнання лабораторної установки**

Лабораторна установка (стенд №21) для зняття статичних характеристик (регульовальних і навантажувальних) представляє собою комплект, що складається з серійного відцентрового вентилятора типу СТд-57 з асинхронним короткозамкненим приводом. Кутова швидкість приводного двигуна регулюється за допомогою тиристорного перетворювача частоти з ланкою постійного струму типу ТПТР-10-230-200-21-УХЛ4, тобто регулювання продуктивності вентилятора по каналу керування здійснюється безступінчасто за допомогою ТПТР-10-230-200-21-УХЛ4. Регулювання продуктивності по каналу навантаження виробляється дискретно за допомогою засувки, тобто проводиться шибберне регулювання продуктивності. Принципова схема лабораторного стенду наведено на рисунку 3.3. та основні технічні характеристики обладнання стенду наведені у таблиці 3.1.

Основні дані ТПТР-10-230-200-21-УХЛ4: номінальна напруга 380В; номінальний струм 10А; номінальна частота 50 Гц; ступінь захисту IP33; маса 76 кг; ТУ16-435.002-83.

### **Завдання.**

Зняти регульовальну  $H=f(\omega)$ ,  $Q=const$  і навантажувальну  $H=f(Q)$ ,  $\omega=const$  характеристики вентилятора.

За допомогою регулятора «Частота» перетворювача ТПТР-10-230-200-21-УХЛ4 регулюється значення швидкості приводного двигуна, яка вимірюється за допомогою тахометра (рис.3.4). По водяному манометру, який розташовано на лабораторному стенді, вимірюється величина тиску, яка спричинена вентилятором, при постійному значенні положення регулюючої засувки (шибера).

Далі дослід повторюється при двох інших положеннях регулюючої засувки вентилятора.

Змінюючи положення вихідної засувки, змінюємо перетин і опір магістралі, тобто змінюємо характеристику магістралі. Для нового положення засувки знімаємо дані, встановлюючи відповідні швидкості регулятором швидкості по приладу.

Результати експеримента заносяться в таблицю 3.2.

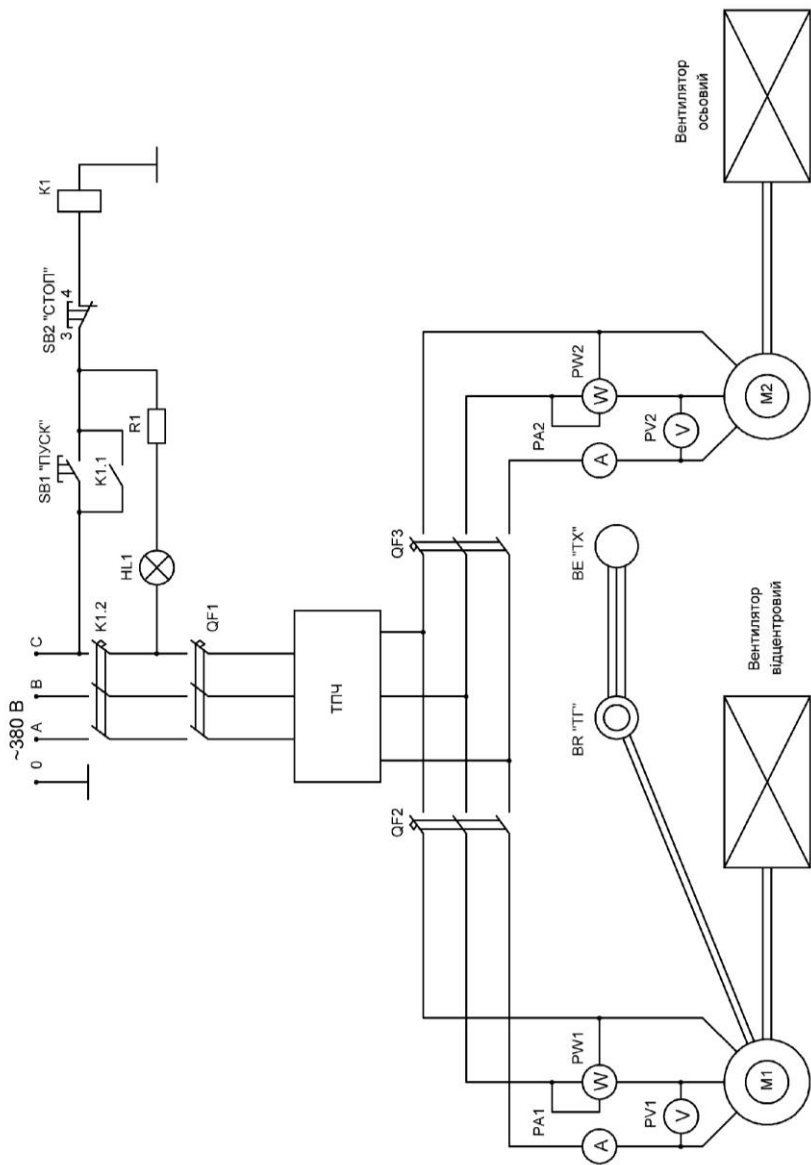


Рисунок 3.3 – Схема дослідження механічних характеристик вентиляторів

Таблиця 3.1 – Перелік електротехнічного обладнання

Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
A1	Перетворювач частоти	1	ТПТР-10-230-200-21-УХЛ4
A2	Тахогенератор ДТЕ-1	1	
A3	Вимірювач обертів ІСТ-2	1	
QF1...QF3	Автоматичний вимикач	3	A3163
K1	Контактор П6-Ш УХЛ 4А	1	ТУ16.536.377-7
M1	Електродвигун асинхронний	1	АОЛ2-21-4
M2	Електродвигун асинхронний	1	4АА56.А4У3
РА1	Амперметр Е-377	1	ГОСТ 8711-60
РА2	Амперметр Е-377	1	ГОСТ 8711-60
PV1	Вольтметр Е-377	1	ГОСТ 8711-60
PV2	Вольтметр Е-377	1	ГОСТ 8711-60
PW1	Ваттметр Д529	1	ГОСТ 8476-60
PW2	Ваттметр Д529	1	ГОСТ 8476-60
R1, R2	Резистор МЛТ 3,3 МОм ±10%	2	
SB1	Подвійна кнопка ПКЕ 212-243	1	
X1,X2	Розетка ШР20 ПЗН17	2	
X3,X4	Розетка	2	Входить у комплект Д529
X5	Вилка 220В, 50Гц	1	
X6	Розетка 220В, 50Гц	1	
X7	Вилка 220В, 50Гц	1	
X8	Розетка 220В, 50Гц	1	

Таблиця 3.2 – Експериментальні і розрахункові дані

Величина, од. вимір.	Експериментальні дані					Розрахункові дані					
	$n$ , об/хв	$U$ , В	$I$ , А	$P_w$ , Вт	$\Delta p$ , мм	$\omega$ , 1/с	$v_{cp}$ , м/с	$Q$ , м/с	$H$ , Н/м <sup>2</sup>	$P$ , Вт	$M$ , Нм
Відкрита засувка											
Напіввідкрита засувка											
Закрита засувка											

Таким чином для декількох положень засувки знімаємо експериментальні дані при однакових швидкостях обертання вентилятора.

За експериментальними даними і вище наведеними формулами визначаємо розрахункові дані для всіх положень засувки і всіх швидкостей.

За отриманими точкам в координатах  $H$  і  $Q$  будуємо основну і типові характеристики вентилятора.

З'єднуючи точки для одного положення засувки отримаємо характеристику магістралі (рис.3.5 - 3.7).

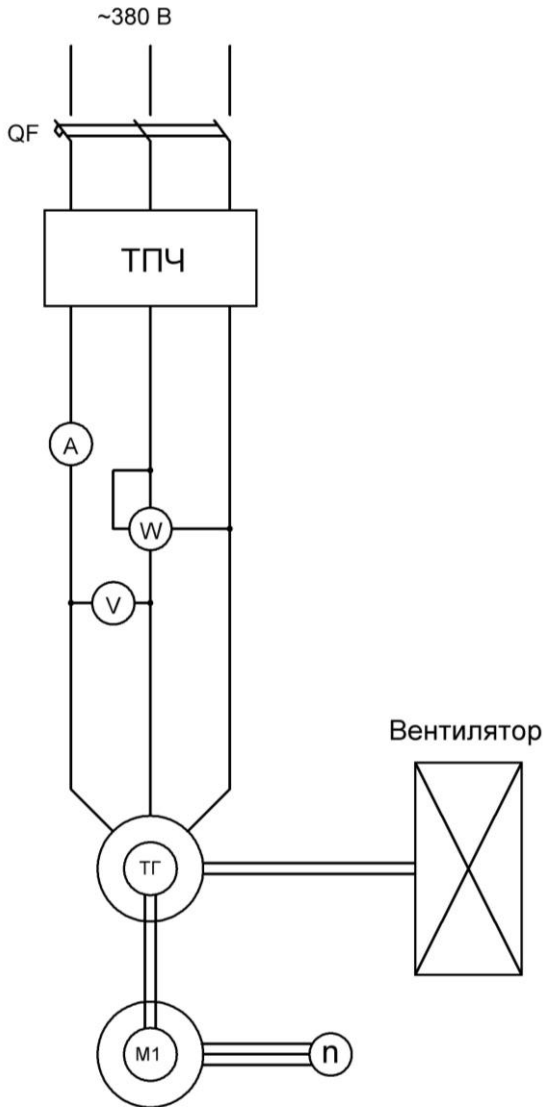


Рисунок 3.4 – Схема керування двигуном вентилятора

Установка складається з двигуна вентилятора, на осі якого через перехідну муфту сидить крильчатка вентилятора, вхідна засувка, трубка Вентурі і манометр для виміру статистичного перепаду тиску (рис. 3.1).

До двигуна живлення підводиться від статистичного тиристорного перетворювача частоти. Швидкість обертання двигуна визначається за що показує приладу тахогенератора, що сидить на валу двигуна (рис. 3.4).

Напруга вимірюється вольтметром перетворювача частоти, а струм у фазі і потужність визначаються амперметром і ваттметром.

Дані двигуна: тип АОЛ – 21-4,  $P_n = 1,1$  кВт,  $U_n = 220/380$ В,  $I_n = 2,7$ А,  $n_n = 1400$  об/хв,  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $\eta_n = 78\%$ .

Дані вентилятора: тип СТД-57, №3,  $P = 0,8$  кВт,  $n = 1400$  об/хв,  $\eta_v = 52\%$ .

Основною характеристикою вентиляторів, насосів і компресорів є залежність розвиваючого натиску  $H$  від продуктивності цих механізмів  $Q$ .

Ці залежності зазвичай даються заводами-виробниками у вигляді графіків  $H=f(Q)$  для різних кутових швидкостей обертання механізмів (у каталогах).

Подібні криві, зображені на рис. 3.5 (криві 1,2,3,4), де  $n$  і  $Q$  виражені у відносних одиницях, причому  $H_{ном}$  і  $Q_{ном}$  - натиск і подача при номінальній швидкості, а  $H$  і  $Q$  - при поточному значенні кутової швидкості (регульовальні характеристики).

Для визначення робочої точки (нашого графіка) треба знати ще основну характеристику магістралі (крива 6), тобто системи складається з труб з різними перерізами, місцевими звуженнями, закругленнями і т. д. Точки перетину характеристик 1,2,3,4 з характеристикою 6 визначають величини натиску і продуктивності при роботі вентилятора на певну магістраль при різних швидкостях обертання.

При відсутності протитиску (ідеальна магістраль) маємо криві (5,5',5'').

Якщо побудувати в одних координатних осях характеристики механізму і магістралі, то по точках їх перетину можна визначити необхідну потужність приводного електродвигуна механізму при даній швидкості його обертання.

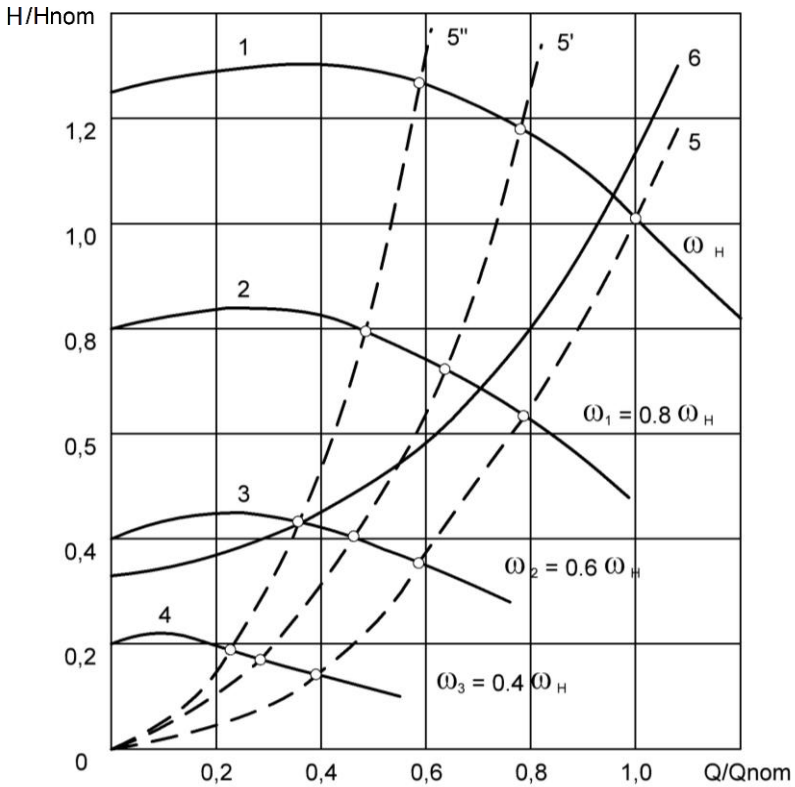


Рисунок 3.5 – Навантажувальні характеристики вентилятора  $H=f(Q)$

На рис. 3.5: 6 – характеристика магістралі, 5, 5', 5'' – характеристики магістралі при відсутності тротитиску.

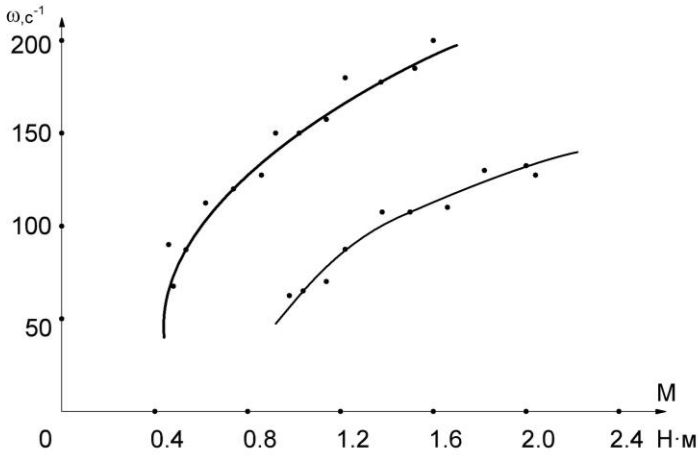


Рисунок 3.6 – Механічна характеристика вентилятора  $\omega=f(M)$

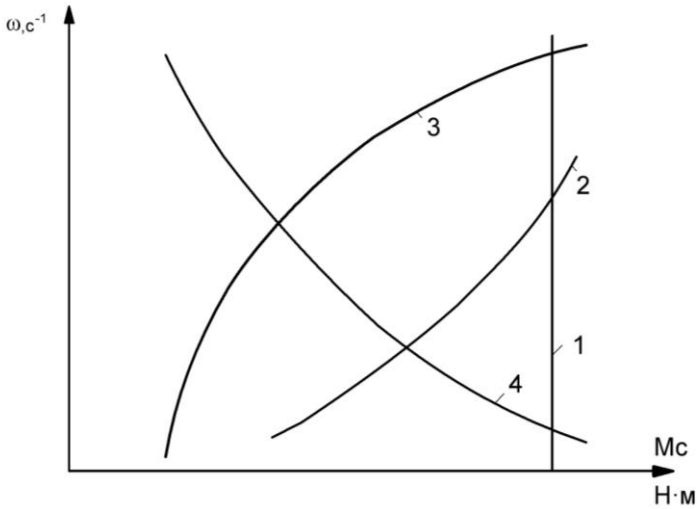


Рисунок 3.7 - Механічні характеристики: 1 – при  $Mc=\text{const}$ , 2 – при  $\omega=kMc$ , 3 – параболічна вентиляторна  $Mc=f(\omega^2)$ , 4 – гребного гвинта.

**Зміст звіту з лабораторної роботи.**

Звіт повинний містити тему і мету роботи, схему електричну принципову лабораторного стенда, перелік електроустаткування і коротку характеристику основних елементів електропривода; схему установки вентилятора; схему керування двигуном вентилятора, таблицю з експериментальними і розрахунковими даними (табл. 3.2); графіки залежностей  $\omega=f(M)$ ,  $N=f(Q)$ ; висновок.

**Контрольні запитання.**

1. Що таке вентиляторна характеристика механізму? Як вона виглядає?
2. Які способи регулювання продуктивності відцентрових механізмів ви знаєте?
3. Чим відрізняється потужність, що підводиться, до асинхронного двигуна від потужності на валу двигуна?
4. Як регулюється швидкість двигуна в цій установці? Яка умова регулювання швидкості за потужністю? Яка за моментом?
5. Як побудувати природну характеристику двигуна з короткозамкненим ротором за паспортними даними?
6. Які способи електричного гальмування асинхронних короткозамкнених двигунів існують? Побудуйте гальмівні механічні характеристики двигуна.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, В.А.Новиков, Л.Н. Рассудов. – 3-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.
2. Ключев, В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001 – 704 с.
3. Попович, М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка», Ч. 1 / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інш. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
4. Попович, М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка», Ч. 2 / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інш. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
5. Зайцев, А.В. Асинхронный электропривод подъемно-транспортных машин: учебн. пособие / А.В. Зайцев. – Саратов: СООО «АН ВЭ», 2011. – 258 с.
6. Яуре, А.Г. Крановый электропривод: Справочник. / А.Г. Яуре, Е.М. Певзнер – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
7. Лезнов, Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
8. Сафонов, Ю.М. Электроприводы промышленных роботов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
9. Смирнитский, Б.В. Автоматизированный электропривод типовых промышленных механизмов. Учебное пособие. – Харьков: ХГПУ, 1998. – 382 с.
10. Мазепа, С.С. Електрообладнання промислових підприємств. Навчальн. посібник. – 2-ге вид., стереот. / С.С. Мазепа, Я.Ю. Марущак, А.С. Куцик – Львів “Магнолія 2006”. 2008. – 260 с.
11. Пашков, Е.В. Следящие приводы промышленного технологического оборудования: Учебное пособие. – 2-е изд., стер. / Е.В. Пашков, В.А. Крамарь, А.А. Кабанов – СПб.: Издательство «Лань», 2015. – 368 с.

12. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.– М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616с.

13. Фролов Ю.М. Проектирование электропривода промышленных механизмов: Учебное пособие. / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 448 с.

14. Новое в моделировании и исследовании электромеханических систем станов холодной прокатки : монографія / А. В. Садовой, Е. С. Назарова, В. И. Бондаренко, А. В. Пирожок; Запорізьк. нац. техніч. ун-т, Дніпродзерж. держ. теніч. ун-т – Запоріжжя: «Просвіта», 2014. – 144 с.

15. Назарова, Е. С. Имитационная модель механического движения металла для реверсивного одноклетового стана холодной прокатки / Е. С. Назарова, А. В. Пирожок, Ю. А. Супрун // Електротехніка та електроенергетика. – 2007. – №1. – С. 9-15.

16. Назарова, Е. С. Учет эффекта обрыва прокатываемой полосы при моделировании электроприводов двух смежных клетей стана холодной прокатки / Е. С. Назарова, А. В. Пирожок, А. С. Нечпай, П. А. Подпружников // Електротехніка та електроенергетика. – 2011. – №2. – С. 37-41. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2011-2-6>

17. Назарова, Е. С. К вопросу разработки систем диагностирования электромеханических систем станов холодной прокатки / Е. С. Назарова // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – № 1. – С. 36-41. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2013-1-6>

18. Внуков, Ю. Н. Проблематика взаимосвязанной электромеханической системы станка при скоростной металлообработке / Ю.Н. Внуков, А.В. Пирожок // Вісник НТУ «ХП». Збірник наук. праць. Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХП». – 2013. – №36. (1009). – С. 137-138.

19. Кучугуров, М. В. Особенности реализации возможностей управления приводами станков на базе стойки ЧПУ Siemens / М.В. Кучугуров, А.И. Гермашев, С.И. Дядя, А.В. Пирожок // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ «ХП», 2015. – Вип. 1 (25). –С.80-87.