

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Електротехнічний факультет  
Електричні та електронні апарати

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр

на тему Розробка та дослідження тиристорного електроприводу  
600 В, 800 кВт для бурової установки  
(назва теми)

Виконав: студент 2-го курсу, групи Е-813м  
Спеціальності 141 – Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

Освітня програма:

Електромеханічне обладнання енергоємних  
виробництв

**Близняков Д.О.**

Керівник: Андрієнко П.Д.

Рецензент Сахно О.А.  
(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет – Електротехнічний

Кафедра – Електричні та електронні апарати

Ступінь вищої освіти – магістр

Спеціальність – 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

проф., д.т.н. П.Д. Андрієнко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

***Близняков Дмитро Олександрович***

1. Тема роботи: Розробка та дослідження тиристорного електроприводу 600 В, 800 кВт для бурової установки

керівник роботи: доктор технічних наук, професор Петро Дмитрович Андрієнко  
затверджені наказом ректора НУ «Запорізька політехніка»  
від «20» листопада 2024 року № 481

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: номінальна потужність – 800 кВт, номінальна вихідна напруга – 600 В, номінальна напруга силової мережі – 10 кВ, частота силової мережі – 50 Гц, коефіцієнт корисної дії – 0,96, ступінь захисту – IP54

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): дослідження та техніко-економічне обґрунтування схемних та конструктивних рішень; дослідження та розрахунок основних характеристик тиристорного перетворювача; вибір елементів головного кола; дослідження та розрахунок теплових режимів силового блоку перетворювача; конструктивна розробка пристрою

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) \_\_\_\_\_

Загальний вид перетворювача (складальне креслення); схема електрична принципова; основні характеристики перетворювача (плакат); робочі креслення охолоджувача, силового блоку та інших вузлів та деталей

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
	<i>АНДРІЄНКО П.Д., зав.кафедри</i>		

7. Дата видачі завдання « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження та техніко-економічне обґрунтування схемних та конструктивних рішень	2.10.2024	
2	Дослідження та розрахунок основних характеристик тиристорного перетворювача	9.10.2024	
3	Вибір елементів головного кола	16.10.2024	
4	Дослідження та розрахунок теплових режимів силового блоку перетворювача	30.10.2024	
5	Конструктивна розробка перетворювача	6.11.2024	
6	Виконання графічної частини	27.11.2024	
7	Затвердження та рецензування магістерської роботи	11.12.2024	
8	Захист магістерської роботи	15.12.2024	

Студент \_\_\_\_\_

( підпис )

Дмитро БЛИЗНЯКОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

( підпис )

Петро АНДРІЄНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 50 с., 8 табл., 18 рис., , 17 джерел.

ТИРИСТОРНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ВИПРЯМЛЯЧ,  
ТИРИСТОР, ТРАНСФОРМАТОР, СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – тиристорний електропривод 600 В, 800 кВт для бурової установки.

Мета роботи – спроектувати тиристорний електропривод для бурової установки з підвищеними техніко-економічними показниками.

Метод проектування – моделювання та дослідження електричних та теплових процесів в елементах схеми та конструкції тиристорного випрямляча та вибір оптимальних варіантів з використанням методу послідовних наближень та теорії теплової подібності, а також виконання інженерних розрахунків, для підтвердження роботоспроможності та надійності тиристорного випрямляча та електропривода у цілому.

Дана робота містить огляд існуючих конструктивних та схемних рішень тиристорних електроприводів провідних виробників України. Проведено дослідження та вибір елементної бази випрямляча та інших складових частин електропривода. Проведено дослідження та розрахунок теплового режиму силових напівпровідникових приладів випрямляча, а також інші розрахунки, які підтверджують роботоспроможність та надійність електропривода. Проведена конструктивна розробка електропривода.

## З М І С Т

ВСТУП.....	6
1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	8
1.1 Характеристика основних елементів електропривода .....	8
1.2 Огляд схемних рішень випрямлячів .....	9
1.3 Огляд конструктивних рішень .....	13
1.4 Постановка задачі та вибір аналога.....	23
2 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОГО БЛОКУ .....	26
2.1 Огляд різновидів елементної бази випрямлячів .....	26
2.2 Дослідження можливості використання елементної бази випрямляча .	28
2.3 Дослідження та розрахунок теплових режимів тиристорів.....	36
3 ВИБІР УЗГОДЖУВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА .....	38
4 КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА .....	44
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	49

## ВСТУП

Важливим елементом силових електроустановок енергоємних виробництв є електропривод постійного струму. Зокрема, потужні електродвигуни постійного струму, що використовуються для нафтобурових установок потребують саме таких пристроїв. Безпосереднім джерелом живлення сучасних потужних електродвигунів постійного струму є тиристорний перетворювач. Отже, він є одним з важливих елементів електроприводу, призначений для керування та стабілізації робочих процесів двигунів, що входять до складу приводу. Такі двигуни мають високу потужність і працюють у дуже несприятливих умовах.

До складу тиристорних електроприводів входять: керований випрямляч (як правило, із системою імпульсно-фазового керування) – пристрій, з виходу якого безпосередньо здійснюються живлення двигуна; вхідний реактор (або трансформатор); вузол гасіння поля, система опробування, вимірювальні пристрої для контролю вихідного струму та напруги; система захисту та сигналізації, включаючи індикацію несправностей, система автоматичного регулювання та система діагностики.

Добре відомо, що генерація електричної енергії здійснюється переважно на змінному струмі, в той час як обмотки збудження потужних тягових двигунів споживають постійний струм. Отже, ключовим елементом сучасного електропривода постійного струму є силовий напівпровідниковий перетворювач – випрямляч, який забезпечує перетворення електричної енергії змінного струму в електричну енергію постійного струму. Крім того, для підтримки певного режиму роботи двигуна сучасний електропривод повинен забезпечувати автоматичне регулювання струму збудження.

Як відомо, чинне значення напруги мережі змінного струму за звичаєм становить 220 або 380 В; у деяких випадках безпосередньо до технологічної установки, якою є бурова установка (свердловина), підводиться висока напруга 10 кВ і вище. У той же час для живлення обмотки збудження тягових електричних машин потрібна постійна напруга, величина якої зазвичай перевищує кілька сотен вольт. Для узгодження параметрів мережі та випрямляча

використовується силовий трансформатор, первинна обмотка якого підключається до мережі змінного струму. Структурна схема електроприводу показано на рисунку В.1.

Трансформатор забезпечує не тільки зміну рівня змінної напруги, а також гальванічну розв'язку випрямляча та мережі живлення. Випрямляч забезпечує перетворення змінної напруги синусоїдальної форми в пульсуючу напругу однієї полярності, яка подається на вхід фільтра, який забезпечує зменшення пульсації вихідної напруги випрямляча. Стабілізатор забезпечує зменшення коливання напруги на навантаженні.

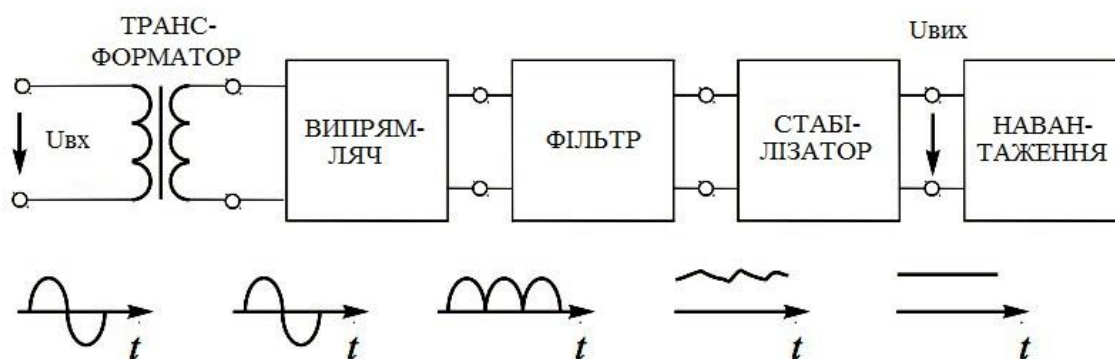


Рисунок В.1 – Структурна схема електроприводу

Велика різноманітність сучасної елементної бази є причиною великої різноманітності схемних та конструктивних рішень силових напівпровідникових перетворювачів. У тиристорних електроприводах використовують велику кількість схем випрямлячів, що відрізняються формою напруги та струму на виході, коефіцієнтом потужності на стороні мережі живлення, видом і числом вентилів. Конструктивне різноманіття та низький рівень уніфікації мають наслідком високу трудомісткість їх виготовлення та вимагають широкої номенклатури матеріалів. Отже проєктування електроприводу постійного струму потребує ретельного дослідження щодо оптимізації схемних, конструктивних та технологічних рішень, забезпечення простоти та надійності функціонування.

# 1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

## 1.1 Характеристика основних елементів електропривода

Основним елементом тиристорного електропривода є перетворювач (випрямляч), який здійснює перетворення трифазної мережевої напруги у постійну напругу. Загальний вигляд функціональної схеми випрямляча надано на рис. 1.1.

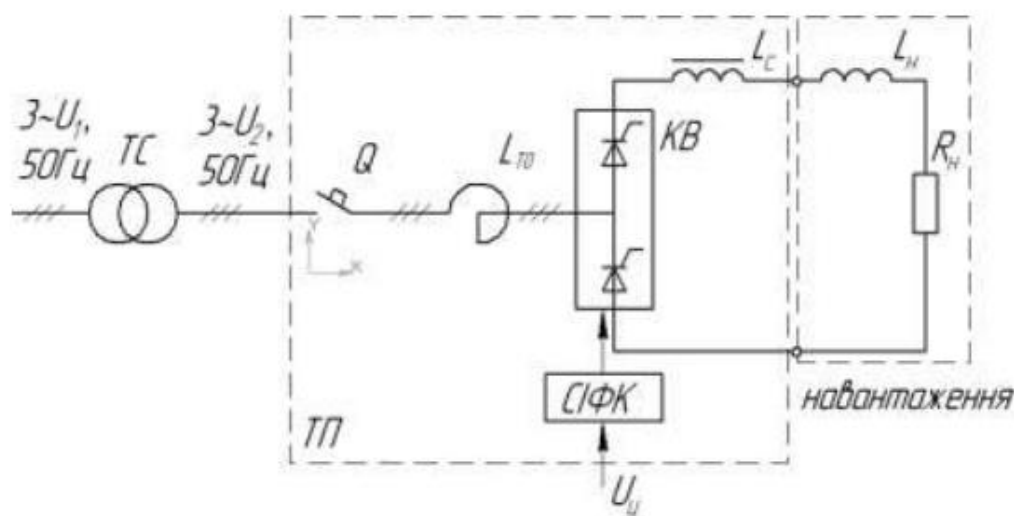


Рисунок 1.1 – Функціональна схема випрямляча

Надана функціональна схема містить тиристорний силовий блок (керований випрямляч)  $KB$ , автоматичний вимикач  $Q$ , силовий трансформатор  $ТС$ , струмообмежувальний реактор  $L_{TO}$ , система імпульсно-фазового керування  $СІФК$ , а також фільтр  $L_c$  для згладжування пульсацій випрямленої напруги. На схемі також умовно показано активно-індуктивне навантаження  $R_n-L_n$ .

*Керований випрямляч* виконує власно перетворення змінної напруги у постійну. Схема випрямляча містить випрямні елементи (вентилі), що мають одnobічну провідність для перетворення змінної напруги в пульсуючу

*Автоматичний вимикач* являє собою контактний комутаційний апарат, призначений для вмикання та вимикання струму навантаження, коли електричне коло в робочому стані, а також захисту електричного обладнання від перевантажень та коротких замикань. Його основною функцією є якнайшвидше

та надійне вимикання кола при виникненні аварійної ситуації (перевантаження або короткого замикання).

*Силовий трансформатор* призначений для узгодження величини мережевої напруги з величиною випрямленої напруги.

*Струмообмежувальний реактор* являє собою високовольтний електричний апарат, різновид електричного реактора послідовного увімкнення, що призначений для обмеження струму короткого замикання та підтримання при цьому достатньої напруги на неушкоджених частинах електроустановки за реактором у мережах змінного струму. Використання струмообмежувальних реакторів забезпечує умови стійкої роботи електричних генераторів та двигунів споживачів в електричних мережах.

*Система імпульсно-фазового керування* призначена для створення системи імпульсів синхронізованих з напругою мережі, що зсунута у часі залежно від величини керуючої дії з метою регулювання вихідної напруги.

## 1.2 Огляд схемних рішень випрямлячів

Як вже зазначалось, існує велика різноманітність схемних рішень випрямлячів. Основними схемами випрямлячів, що використовуються у тиристорних електроприводах постійного струму є наступні: трифазна мостова схема, трифазна нульова, а також багатомостові схеми, переважно одноступеневі та двогрупові.

*Трифазна схема нульова* (або з нульовим виводом), рис . 1.2, є найбільш простою трифазною схемою випрямлення.

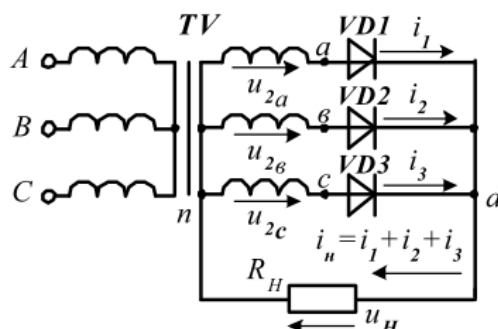


Рисунок 1.2 – Трифазна схема з нульовим виводом

Схема містить, по-перше, вентиляну групу з трьох випрямних елементів  $VD1$ ,  $VD2$ ,  $VD$ ; їх катоди з'єднані у точці  $d$ , а аноди з'єднані з відповідними точками  $a$ ,  $b$ ,  $c$  вторинної обмотки трифазного трансформатора  $TV$ . Вторинні обмотки трансформатора з'єднані зіркою.

Навантаження  $R_n$  увімкнене між нульовим виводом трансформатора  $n$  і точкою  $d$ . Струм у навантаженні забезпечується за рахунок почергового підключення навантаження до тої чи іншої фази трансформатора. Таким чином, середній струм випрямного елемента дорівнює  $1/3$  випрямленого струму. При цьому відкритим є випрямний елемент тої фази, напруга якої найбільш позитивна.

Суттєвими перевагами трифазної нульової схеми (з нульовою точкою) є простота у порівнянні з іншими трифазними схемами, а також зменшена у 2 рази кількість випрямних елементів у порівнянні з мостовою. Слід також зазначити, що втрати у вентиляній групі у цьому випадку значно менше внаслідок того, що випрямлений струм тече через один випрямний елемент, в той час як у мостовій схемі він тече послідовно через два елементи.

Трифазна схема з нульовою точкою використовується у тому випадку, коли основною вимогою є простота схеми випрямляча, або якщо використовується блок трьох випрямних елементів із загальним катодом.

*Трифазна мостова схема випрямляча (схема Ларіонова), рис. 1.3, характеризується високими техніко-економічними показниками та широко використовується на практиці.*

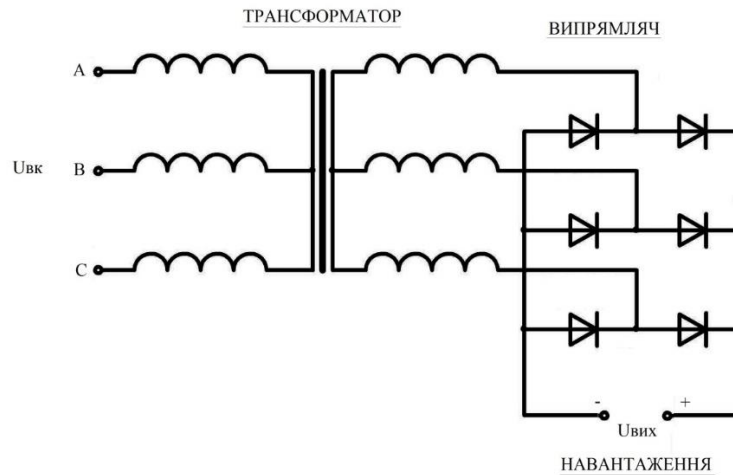


Рисунок 1.3 – Схема Ларіонова

Схема трифазного мостового випрямляча являє собою вентиляну групу, яка являє собою випрямний міст, що складається з шести випрямних елементів, в якому послідовно з'єднані дві трифазні групи. В одній групі, між собою з'єднані катода випрямних елементів і являють собою т.з. *катодну групу*. В іншій групі, між собою з'єднані аноди випрямних елементів (т.з. *анодна група*). Навантаження підключено між точками з'єднання катодної та анодної груп випрямних елементів. Відмінною особливістю схеми є те, вона допускає з'єднання як первинних, так і вторинних обмоток трансформатора зіркою чи трикутником.

Струм навантаження у схемі Ларіонова протікає через два випрямні елементи, а саме: через елемент катодної групи з найвищим потенціалом анода щодо нульової точки трансформатора та через елемент анодної групи з найнижчим потенціалом. Іншими словами, у провідному стані будуть знаходитися ті два навхрест лежачих випрямних елементів мосту, між якими діє у провідному напрямку найбільша лінійна напруга. За період напруги живлення відбувається шість перемикань елементів і схема працює у шість тактів, у зв'язку з чим її часто називають шести імпульсною [4].

Відмінною особливістю трифазної мостової схеми є те, що коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги у даному випадку значно менше ніж у трифазній нульовій схемі та складає 0,057, а частота пульсацій у шість разів вища частоти

мережі. Це дозволяє у більшості випадків не використовувати сглажувальний фільтр. Зворотна напруга на закритих діодах не набагато перевищує постійну складову випрямленої напруги. Слід також додати, що трифазна мостова схема запобігає вимушеного намагнічування магнітної системи трансформатора.

Таким чином, основні переваги трифазної мостової схеми полягають у наступному:

- зворотна напруга, що прикладається до випрямних елементів, у 2 рази менша ніж у трифазній та шестифазній нульових схемах, отже вентиля слід вибирати на напругу близьку до випрямленої  $U_d$ ;

- напруга вторинної обмотки трансформатора, а отже і кількість витків обмотки менша ніж у нульових схемах: вдвічі – ніж у трифазній, і в 1,73 рази – ніж у шестифазній, але переріз проводу повинен бути в 1,41 і в 2 рази більше, відповідно

- відсутність вимушеного намагнічування сердечника трансформатора та нормальне виконання обмоток;

- габаритна потужність трансформатора менше ніж нульових схемах: на 30% – ніж у трифазній, і на 48% менше – ніж у шестифазній; струм первинної обмотки має форму синусоїди;

- при використанні схеми допускається з'єднання первинних та вторинних обмоток трансформатора зіркою або трикутником; допускається також і безтрансформаторний варіант схеми випрямляча.

Слід також зазначити, що мостова схема може бути підключена безпосередньо до мережі, якщо напруга на вході випрямляча підходить за значенням для отримання потрібної величини  $U_d$ , що є її суттєвою перевагою. Отже, при цьому не потрібна ізоляція від мережі випрямленого струму.

Таким чином, вибір схемного рішення та елементної бази випрямляча тиристорного електроприводу є досить складною проблемою і потребує ретельного дослідження та техніко-економічного аналізу. Отже, магістерська робота, що виконується передбачає розрахунок параметрів та вибір елементної бази двох основних варіантів схем: трифазної нульової та трифазної мостової.

### 1.3 Огляд конструктивних рішень

Конструктивне рішення випрямляча та електропривода у цілому залежить від потужності, яка у свою чергу визначає спосіб охолодження силових напівпровідникових приладів і, як наслідок, тип конструкції. Основними конструктивними рішеннями існуючих випрямлячів є компактні, у вигляді шафи та камерні.

Компактна конструкція характеризується тим, що випрямляч виконується у вигляді єдиної конструкції та закривається захисним кожухом. Силові елементи схеми та система керування знаходяться в тісній близькості. Конструкція у вигляді шафи виготовляється з листового металу та за допомогою зварювання та різьбових кріплень. Елементи схеми в шафах кріпляться на рамах та панелях. Елементи системи керування, як правило, встановлюються на двері, що відокремлює її від силових елементів схеми. Камерна конструкція відрізняється тим, що захисна оболонка відсутня, а обладнання розміщується у приміщеннях, які спеціально будуються для цих випрямлячів.

Як показує практика експлуатації, для перетворювачів малої та середньої потужності найбільш прийнятним варіантом є конструкція у вигляді шафи, що дає можливість максимальної уніфікації конструктивних рішень як самої шафи, так і інших елементів випрямляча.

Важливим фактором, що визначає конструкцію випрямляча, є спосіб охолодження силових напівпровідникових приладів. У загальному випадку, у тиристорних електроприводах та випрямлячах використовують наступні види систем охолодження:

- природне повітряне охолодження з використанням радіаторів з встановленими на них силовими напівпровідниковими приладами;
- примусове повітряне охолодження, в яких радіатори з встановленими на них силовими напівпровідниковими приладами піддаються обдуванню повітряним потоком певної швидкості (за звичаєм 1, 3 або 6 м/с);
- з проточним рідинним та випарним охолодженням.

У тиристорних приводах середньої потужності як правило, не використовується рідинний спосіб охолодження, бо це веде до суттєвого підвищення вартості приводу. В той же час використання природного повітряного охолодження при використанні конструкції закритої шафи неможливо внаслідок низької спроможності до тепловіддачі у відкрите повітря, отже у таких випадка найчастіше вдаються до примусового охолодження шляхом обдування силових напівпровідникових приладів, встановлених на радіаторах, та інших джерел теплоти. Зокрема, у силових випрямлячах серії СВ (виробництва НВП «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ-КОМПЛЕКС») з номінальними вихідними струмами до 400 А використовують природне повітряне охолодження, при струмах вище 400 А – примусове повітряне. У деяких випадках використовують комбіноване охолодження.

Слід зазначити, що здійснення примусового охолодження перетворювача вимагає установки у шафі додаткових пристроїв (зазвичай вентиляторів та повітроводів). Це створює додаткові труднощі при розробці та виготовленні приводів, які вимагають захисту елементів випрямляча від впливу довкілля. Отже, використання примусового охолодження веде до суттєвого подорожчання перетворювача, а також до зниження його надійності, оскільки механічні рухливі частини є найбільш ламкими і недовговічними.

Таким чином, найбільш оптимальним технічним рішенням випрямляча буде конструкція у вигляді шафи з природним повітряним охолодженням.

Тиристорні електроприводи для живлення електричних машин, у тому числі двигунів для бурових установок, виробляються багатьма підприємствами України та за кордоном. Тільки у м. Запоріжжя тиристорні електроприводи виробляють ПрАТ «Запорізький електроапаратний завод», НВП «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ-КОМПЛЕКС», Група компаній «Плутон». Виробником тиристорних електроприводів є також компанія «ФОРТ-ИМЕКС» LTD (м. Харків).

Найбільш потужним виробником тиристорних електроприводів є **Запорізький електроапаратний завод**, який виробляє перетворювачі ТПЕ-200-

460-У2.1 та ТПЕ-250-460-МП-У2.1 (на номінальний вихідний струм 200 та 250 А) з природним повітряним охолодженням для електроприводів живлення бурових верстатів СБШ. Ці перетворювачі розроблені для важких кліматичних умов: допускають роботу за температури навколишнього середовища від мінус 50 до +55°C; стійкі до механічних факторів по групі М3. Електроприводи для бурових верстатів мають виконання з неоперативним реверсом напрямку обертання шляхом зміни напрямку струму збудження.

Крім того, Запорізький електроапаратний завод виробляє тиристорні електроприводи постійного струму серії ТЕП у нереверсивному та реверсивному виконаннях. Номінальна вихідна напруга електропривода складає від 230 до 825 В, номінальна вихідна потужність – від 2,3 до 4125 кВт, номінальний вихідний струм – від 10 до 5000 А. Вони забезпечують регулювання швидкості, напруги (ЕРС) двигуна та інших координат руху, що визначаються вимогами об'єкта або технологічного процесу. Силова частина електроприводів побудована на основі трифазної мостової схеми випрямлення. Вентильна частина реверсивних електроприводів виконана на основі зустрічно-паралельної схеми включення та забезпечена системою роздільного керування реверсивними групами.

До складу електроприводів входить: випрямляч (випрямляючий пристрій із системою імпульсно-фазового управління); силовий трансформатор чи мережевий реактор; лінійний контактор; система захисту та сигналізації, включаючи індикацію несправностей; пристрій живлення обмотки збудження двигуна; система автоматичного регулювання та система діагностики.

Конструктивно електроприводи виконані як шафа каркасного типу підлогового виконання з одностороннім обслуговуванням. Допускається встановлення шаф тильними сторонами один до одного та до стіни.

На вході живлення змінного струму встановлений захист від мережевих перенапруг та перенапруг при відключенні ненавантаженого трансформатора.

Шафи електроприводів, залежно від потужності, мають примусове повітряне чи природне повітряне охолодження.

Система захисту електроприводу забезпечує спрацьовування при:

- перевищенні миттєвого струму граничної величини, що встановлюється для даного електроприводу;
- аварійному перевантаженні тиристорів;
- зникненні та неприпустимому зниженні струму збудження електродвигуна;
- зникненні напруги живлення силових ланцюгів та напруги власних потреб;
- перевантаженні електродвигуна, що перевищує задану величину протягом певного часу.

Система сигналізації електроприводу забезпечує інформацію:

- про готовність електроприводу до роботи;
- про аварійне відключення перетворювача;
- про наявність напруги в силовому ланцюгу та напругу власних потреб.

Електроприводи мають канали видачі сигналів до зовнішньої системи автоматизації об'єкта. Можуть бути встановлені додаткові вузли: - джерело живлення обмотки збудження; джерело живлення для електромагнітного гальма; будову динамічного гальмування; джерело живлення обмотки збудження тахогенератора.

Вбудовані тиристорні джерела живлення обмотки збудження двигуна забезпечують вихідну напругу від 40 до 230В при струмі навантаження від 16 до 50 А.

**НВП «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ-КОМПЛЕКС»** виробляє та здійснює комплексні поставки електричного обладнання для бурових установок різного призначення. Устаткування, що виробляється підприємством, має широкую номенклатуру, отже забезпечує повністю укомплектовану бурову установку обладнанням власного виробництва, що у свою чергу забезпечує злагоджену безперебійну роботу всього комплексу.

Бурові установки можуть бути укомплектовані:

- тиристорними випрямлячами для керування двигунами постійного струму;

- низьковольтними та високовольтними пристроями плавного пуску та перетворювачами частоти;

- збудниками синхронних двигунів;

- шафами з низьковольтною комутаційною апаратурою,

- установками компенсації реактивної потужності та відповідними фільтро-компенсуючими пристроями

- шафами автоматизації;

- пультами керування.

Склад комплекту обладнання формується індивідуально для кожного виду бурових установок з урахуванням потреб замовника та умов експлуатації.

Обладнання може бути виконане у шафовому виконанні, для встановлення у приміщеннях бурової установки, або у контейнерному виконанні для встановлення на відкритому майданчику.

Об'єкти:

- НВП «ЗОНД», газові свердловини, Харківська обл., постачання 12 тиристорних перетворювачів у контейнерному виконанні для живлення бурових насосів, лебідок. У комплекті поставлені джерела живлення для обмоток збудження, пульти керування та фільтрокомпенсуючі пристрої.

- Солепром, комплект обладнання керування комбайном видобутку солі.

Основним елементом бурової установки є електричний привод змінного або постійного струму з відповідним перетворювачем. НВП «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ-КОМПЛЕКС» виробляє комплектні тиристорні перетворювачі 5-го покоління серії КТЕ5 потужністю від 1 кВт до 16 МВт на номінальні випрямлені струми від 10А до 16 кА і випрямлені напруги до 1200 В.

Застосування перетворювачів в електроприводі дозволяє забезпечити:

- плавний розгін двигуна за заданий час;

- формування з високою точністю необхідної багатоперіодної діаграми швидкості машини незалежно від зміни навантаження;

- стабілізацію швидкості у періоди рівномірного руху;

- вибір зазорів у механічних передачах;

- вирівнювання навантаження електродвигунів (у дворухових приводах) всіх інтервалах руху;
- рекуперативне гальмування та уповільнення рухомих мас із поверненням енергії в мережу;
- високу точність зупинки без застосування механічних гальм;
- функціонування приводу на знижених швидкостях без непродуктивних втрат електроенергії;
- регулювання всіх відомих координат електроприводу (швидкість, натяг, положення).

Електропривод КТЕ5 забезпечує наступні види захисту та блокування:

- від зовнішніх та внутрішніх коротких замикань;
- від неприпустимих за величиною та тривалістю струмів перевантаження елементів силової схеми та електродвигунів, що живляться від перетворювача (час-струмовий захист);
- від порушення системи охолодження;
- від підвищеної та зниженої напруги живлення;
- від обриву фази напруги живлення;
- від перевищення ЕРС двигуна;
- від перевищення швидкості двигуна;
- від режиму "стоянка під струмом";
- від неприпустимого зниження напруги власних потреб;
- від включення приводу за наявності завдання швидкості;
- від включення приводу на двигун, що обертається;
- від несправності джерел живлення;
- блокування включення за наявності аварійних та попереджувальних сигналів.

Системи керування КТЕ надають користувачеві низку сервісних можливостей:

1. Оперативна зміна структури автоматичного регулювання. Виконується за допомогою пультового терміналу, вбудованого в систему керування спеціальною програмою сервісу.

2. Оперативний доступ до всіх регульованих параметрів перетворювача та електроприводу за допомогою пультового терміналу. Параметри виводяться у кількісному десятковому вигляді однорядковий дисплей пультового терміналу.

3. Самоналаштування окремих налагоджувальних параметрів електроприводу.

4. Уточнена індикація видів відпрацьованих захистів. При спрацьовуванні захисту на пультовий термінал в алфавітному вигляді виводиться перший із відпрацьований захист і всі за нею наступні.

5. Автоматичний запис аварійного "сліду". Запис виконується вбудованою програмою «Слід».

Комплектно з перетворювачами може постачатися допоміжне обладнання для розширення їх функціональних можливостей.

**Група компаній «Плутон»** (м. Запоріжжя) виробляє випрямлячі різного призначення, а саме:

- випрямлячі для тягових підстанцій на напругу від 600 до 3300 В;
- керовані тиристорні випрямлячі серії TCR;
- рекуператори для тягових підстанцій;
- випрямні напівпровідникові підстанції серії КВНП;
- випрямлячі для електролізу, електротехнології та електротермії.

Зокрема, Компанія «Плутон» пропонує широкий асортимент сучасних випрямлячів для тягових підстанцій різних конструктивних та схемних рішень, силової частини, а також рішень щодо програмного забезпечення, систем захисту, діагностики та керування випрямлячем, діагностики перетворювального трансформатора, електричного монтажу, технологій обслуговування та ремонту та інше. Зовнішній вигляд випрямлячів надано на фото, рис. 1.4.

Основними особливостями випрямлячів є наступні:

1. Конструктивне рішення шафи може бути реалізовано як у вискатному так і у стаціонарному варіанті з підключення живлення випрямляча як у верхній так і нижній частині шафи;

2. Схемне рішення силового блоку випрямляча може бути реалізовано за 12-пульсною, 6-пульсною та 6-фазною нульовою схемами випрямлення;

3. Застосування для всіх типів тягових мереж із наступними стандартними вихідними напругами: 600, 750, 825, 1500, 1650, 3000, 3300 В та випрямленими струмами: 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3000, 3150, 4000, 5000, 7000, 8000 А;



Рисунок 1.4 – Випрямлячі Компанії «Плутон» вискатного (а) та стаціонарного (б) виконання

Випрямлячі стаціонарного та вискатного виконання оснащені мікропроцесорною системою керування та діагностики з видачою інформації про стан кожного діода на панель візуалізації за критеріями: «нормальна робота», «погіршення параметрів» (для схеми «діод-діод»), «пробій», а також про температуру діодів. Система керування виконана на базі контролера SOTA, який відповідає серії стандартів на PLC — IEC 61131, та забезпечує підтримку протоколу IEC 61850.

Моніторинг параметрів кожного діода відбувається безперервно, під час експлуатації випрямляча. Діагностування за вказаними критеріями дозволяє суттєво збільшити термін безаварійної роботи випрямляча. У разі зміни параметрів діода до рівня, який відповідає критичному для даної схеми, силовий діод необхідно замінити, не доводячи його до пробою. У разі пробою одного діода випрямляч, виконаний за схемою «діод-діод», залишається в роботі без втрати потужності до моменту заміни діода, який вийшов з ладу.

Інформацію про стан випрямляча та його елементів можна спостерігати на панелі візуалізації, мобільних пристроях (смартфон, планшет) або на моніторі комп'ютера за допомогою Web-інтерфейсу чи спеціалізованої програми. У мнемонічній формі відображаються умовні позначення стану діодів випрямляча, графіки розподілу зворотної напруги між діодами та температури гілок. У випрямлячі реалізований зв'язок з пристроями захисту розподільчих пристроїв середньої напруги та SCADA-системою верхнього рівня.

**Компанія «ФОРТ-ИМЕКС» LTD** (м. Харків) виробляє тиристорні комплектні електроприводи постійного струму ЕКПМ з мікропроцесорною системою керування, для плавного пуску, регулювання швидкості, моменту та гальмування механізмів з приводними двигунами постійного струму. Вони використовуються, зокрема для електроприводів шахтних під'ємних машин, шнекових механізмів (наприклад, сушильних агрегатів при виробництві резини) та інше.

Основні технічні характеристики електроприводів ЕКПМ:

Номінальний струм якоря: 100, 200, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1600, 2000, 2500, 3200, 4000, 5000, 6300 та 8000 А.

Номінальна напруга якоря: 220, 440, 600, 660, 1000 В.

Виконання силової частини:

- 6-пульсна мостова схема;
- 12-пульсна схема.

Спосіб виконання вентильної частини:

- з нереверсивними якірним перетворювачем та збудником;

- з реверсивним якірним перетворювачем та неревверсивним збудником;
- з неревверсивним якірним перетворювачем та реверсивним збудником.

Кількість електродвигунів:

- з одним двигуном;
- з двома двигунами;
- з багатьма двигунами;

Додатковий склад апаратури силового кола:

- з лінійним контактором та без нього;
- з динамічним гальмуванням та без нього.

Спосіб зв'язку з мережею живлення:

трансформаторний;

реакторний.

Струм збудження: 10, 25, 50, 100, 200, 320, 400, 500 А;

Напруга збудження: 110, 220, 440 В;

Склад обладнання електроприводу ЕКПМ:

- шафи (щити) тиристорні якірного перетворювача (вентильні секції);
- шафа управління з мікропроцесорною системою управління та вбудованим збудником;
- щити силові з швидкодіючим автоматичним вимикачем та лінійним контактором;
- шафа (щит) комутаційна (для виконання з багатьма двигунами);
- згладжувальні реактори;
- силовий трансформатор для живлення вентильної частини якірного перетворювача (для 12-пульсних схем випрямлення можливе застосування двох силових трансформаторів із різними схемами з'єднання обмоток).

В електроприводі ЕКПМ реалізовані такі види захисту та контролю:

- від внутрішніх коротких замикань;
- від зовнішніх коротких замикань за постійного струму;
- від навантаження двигуна, що перевищує задану величину протягом заданого інтервалу часу;

- від аварійного навантаження тиристорів;
- від порушення ізоляції;
- від обриву струму головного кола;
- від втрати збудження;
- від перенапруг на якорі;
- від стоянки двигуна під струмом;
- від обриву ланцюга зворотного зв'язку струму;
- від розвитку аварійних процесів при зникненні напруги власних потреб та силової напруги;
- від тривалої роботи без примусового охолодження;
- від влучення обслуговуючого персоналу під напругу (дверні блокування);
- від збоїв мікропроцесорної системи керування.

#### 1.4 Постановка задачі та вибір аналога

Відповідно до завдання до магістерської роботи, розробляється тиристорний електропривод з випрямлячем, параметри якого надані у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри електроприводу, що розробляється

Параметр	Величина
Номінальна потужність, кВт	800
Номінальна вихідна напруга, В	600
Номінальна напруга силової мережі, кВ	10
Граничне відхилення напруги силової мережі, %	±10
Номінальна частота силової мережі, Гц	50
Коефіцієнт корисної дії, %	96
Коефіцієнт потужності	0,9
Ступінь захисту ГОСТ 14254-96	IP54
Кліматичне виконання ГОСТ 15150	УХЛ4

Аналіз існуючих конструктивних та схемних рішень показав, що найбільш близькими аналогами для проектування є тиристорні електроприводи ТПЕ-1600/460-1122-Я-В-1П1-0УХЛ та ТПЕ-2500/660-1122-Я-В-1П1-0УХЛ виробництва Запорізького електроапаратного заводу, параметри яких надані у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри аналогів

Параметр	Величина	
	ТПЕ-1600/460	ТПЕ-2500/660
Номінальний вихідний струм, А	1600	2500
Номінальна вихідна напруга (на навантаженні) випрямляча, В	460	660
Номінальна вихідна потужність, кВт	736	1650
Габаритні розміри L×B×H, мм	1000x800x1950	1135x650x2260
Маса, кг	475	500

Зовнішній вигляд тиристорного електропривода ТПЕ показаний на фотографії, яка надана на рис. 1.5.

До складу електроприводу має входити: випрямляч (випрямляючий пристрій із системою імпульсно-фазового управління); силовий трансформатор; система захисту та сигналізації, включаючи індикацію несправностей; пристрій живлення обмотки збудження двигуна; система автоматичного регулювання та система діагностики.

Відповідно до аналізу існуючих схемних рішень прийнято, що буде проведено розрахунок та аналіз силової частини випрямляча на основі трифазної мостової (схема Ларіонова) схем випрямлення.

Відповідно до аналізу конструктивних рішень, пропонується виконати електропривод як шафу каркасного типу підлогового виконання з одностороннім обслуговуванням. Також пропонується застосувати природне повітряне охолодження шафи перетворювача.



Рисунок 1.5 – Зовнішній тиристорного електроприводу серії ТЕП  
виробництва Запорізького електроапаратного заводу

Для виконання поставленої задачі необхідно:

- 1) Виконати аналіз застосування елементної бази випрямляча та вибрати основні елементи схеми силового блоку: вентиля, захисні елементи тощо;
- 2) Розрахувати втрати та вибрати оптимальну систему охолодження силового блоку;
- 3) Вибрати силовий трансформатор;
- 4) Розробити конструкцію пристрою;
- 5) Виконати складальне креслення, та креслення окремих частин перетворювача.

## 2 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВОГО БЛОКУ

### 2.1 Огляд різновидів елементної бази випрямлячів

В якості елементної бази у випрямлячах використовують переважно силові напівпровідникові прилади (тиристори), які за конструкцією діляться на: прилади зі штирьовим корпусом, таблеткові та напівпровідникові модулі інтегральні [3, 4]. Крім того, в електроприводах широко використовують напівпровідникові модулі, зокрема, IGBT-блоки.

Прилад зі штирьовим корпусом, рис. 2.1, складаються з корпусу, анода та керуючих контактів. Корпус, який утворює катод, являє собою фланець з циліндричним штирем з різьбою, який вкручується у тіло охолоджувача – радіатора. Інший електрод – анод виводиться через ізолятор у вигляді гнучкого виводу зі сполучним наконечником.

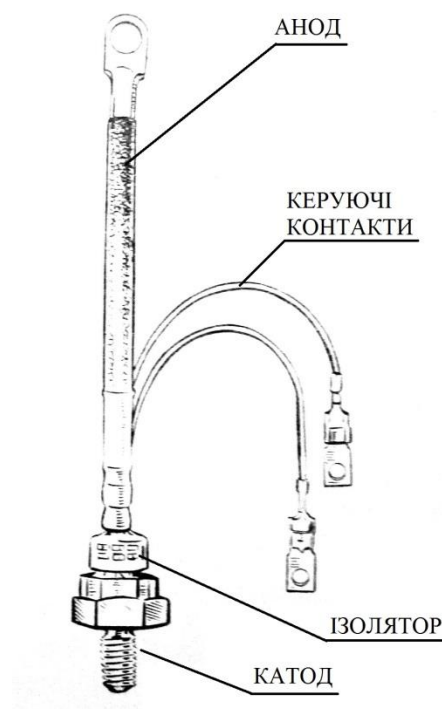


Рисунок 2.1 – Прилад зі штирьовим корпусом

Таблеткові прилади, рис. 2.2, мають майже симетричну конструкцію. Кремнієва платівка *p-n* структури розміщена між масивними мідними дисками

(які є анодом та катодом), ізолюваними і скріпленими по колу керамічним ізолятором.

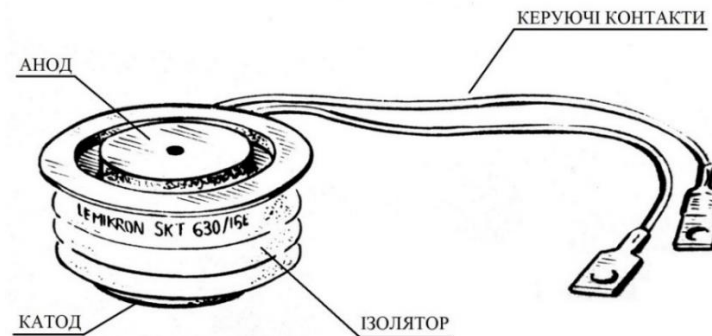


Рисунок 2.2 – Таблетковий діод

Суттєвий недолік таблеткових та штирових приладів полягає у тому, що корпус не заземлений, а має потенціал або катода або анода. Це викликає необхідність додатково ізолювати охолоджувач від заземлених частин корпусу пристрою. До того ж, необхідно додатково захищати обслуговуючий персонал від дотику до струмоведучих частин виробу.

До цього слід додати, таблеткові тиристорні прилади не обладнані елементом, що утворює натиснення контактних поверхонь приладу до охолоджувача (радіатора) для забезпечення надійного теплового контакту. Отже, у даному випадку натиснення має бути забезпечено зовнішнім пристроєм, що веде до удорожчання конструкції пристрою [3, 4].

Інтегральні силові напівпровідникові прилади (модулі) , рис. 2.3, являють собою монолітну структуру з пластиковим корпусом, розташованим на плоскій металевій основі. Модуль, за звичаєм, містить дві напівпровідникові структури і має три силові виводи.

Використання інтегральних тиристорних модулів не потребує ізолювання охолоджувача. У таких випадках, за звичаєм, охолоджувачі модулів розміщують за межами корпусу пристрою, забезпечуючи таким чином покращення охолодження. Отже, у першому наближенні в якості елементної бази схеми випрямлення обираємо тиристорні модулі.

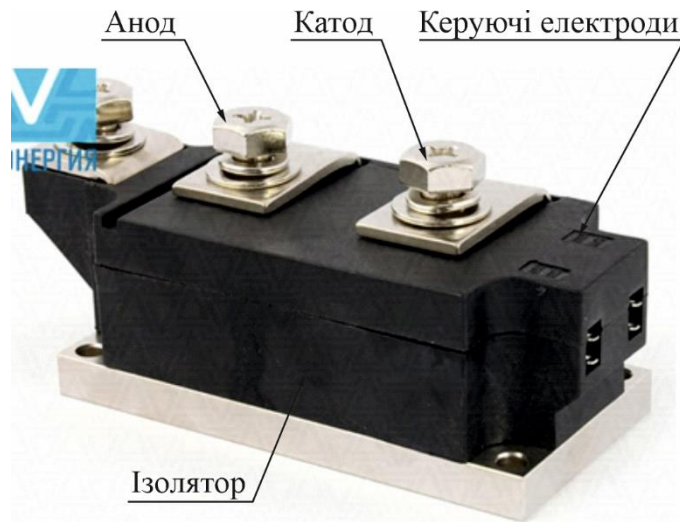


Рисунок 2.3 – Інтегральний діодний модуль

## 2.2 Дослідження можливості використання елементної бази випрямляча

Для вибору елементної бази випрямляча, спочатку має бути розраховано середнє значення струму через випрямний елемент, а також максимальна величина зворотної напруги. Саме ці два основних параметри характеризують силові напівпровідникові прилади.

Струм навантаження випрямних елементів визначається величиною вихідного струму перетворювача, який, у свою чергу, визначається його вихідною потужністю:

$$I_d = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta \cdot U_d}, \quad (2.1),$$

де  $U_d$  – вихідна (випрямлена) напруга;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії двигуна, який являє собою навантаження випрямляча

У даному випадку для бурової установки використовується двигун постійного струму типу GEB22 потужністю 800 кВт на напругу 600 В виробництва компанії General Electric (США). Коефіцієнт корисної дії двигуна складає 86%. Таким чином, вихідний (випрямлений) струм буде складати:

$$I_d = \frac{800000}{0,86 \cdot 600} = 1550 \text{ A.}$$

При використанні трифазної мостової схеми випрямляча середнє значення струму через випрямний елемент визначається наступним виразом [3, 4]:

$$I_{TAV} = \frac{I_d}{n} \quad (2.2),$$

де  $n$  – кількість фаз перетворювача, у даному випадку  $n = 3$ .

Таким чином, середнє значення струму навантаження випрямного елемента має складати:

$$I_{TAV} = \frac{1550}{3} = 516,8 \text{ A}$$

Максимальне значення зворотної напруги розраховується за наступною формулою [3, 4]:

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot k_{3U} \cdot U_{2л} \quad (2.3)$$

де  $U_{2л}$  – лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора;

$k_{3U}$  – коефіцієнт запасу за напругою, що враховує можливе підвищення напруги у мережі живлення (включаючи режим холостого ходу), а також періодичні викиди напруги, обумовлені комутаційними процесами у випрямних елементах (вентиллях); за звичаєм його величина дорівнює 1,8 [4].

Лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора для трифазної мостової схеми визначається за наступним співвідношенням [4]:

$$U_{2л} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \cdot U_{d0} \quad (2.4),$$

де  $U_{d0}$  – середнє значення вихідної (випрямленої) напруги, яке відповідно до завдання складає 600 В.

Таким чином, лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора має складати:

$$U_{2л} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \cdot 600 = 444,25 \text{ В.}$$

Максимальне значення зворотної напруги на випрямному елементі відповідно до формули (2.3) буде складати:

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 444,25 = 1130,9 \text{ В.}$$

Відповідно до отриманих значень максимальної зворотної напруги та середнього струму через випрямний елемент, вибирається тиристорний модуль. У таблиці 2.1 для порівняння надані параметри тиристорних модулів вітчизняного та зарубіжного виробництва.

Аналіз даних, що надані у таблиці 2.1, показує, що параметри тиристорних модулів у різних виробників майже не відрізняються за своїми характеристиками. Основною перевагою використання тиристорних модулів є малі габарити силового блоку. Для визначення навантажувальної спроможності, тобто допустимого тривалого струму навантаження модулів використовуємо наступну формулу [1]:

$$I_{TAVд} = \frac{\sqrt{U_{T(TO)}^2 + 4 \cdot k_{\phi}^2 \cdot r_d \cdot \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{R_{th\Sigma}} - U_{T(TO)}}}{2 \cdot k_{\phi}^2 \cdot r_d}, \quad (2.5)$$

Таблиця 2.1 – Параметри тиристорних модулів

Параметр	Позначення	MT3-1250-8	MTT-1250-8	MTT13/3-1000-10
Середній прямий струм, А	$I_{TAV}$	1250	1250	1000
Повторна імпульсна зворотна напруга, В	$U_{DRM}$	800	800	1000
Час відключення, мкс	$t_q$	160	150	160
Ударний струм у відкритому стані, кА	$I_{TSM}$	34	30	39,6
Тепловий опір кристал-корпус, °С/Вт	$R_{thjc}$	0,05	0,042	0,046
Тепловий опір корпус-охолоджувач, °С/Вт	$R_{thch}$	0,020	0,020	0,020
Максимально допустима температура кристала, °С	$T_j$	150	150	135
Максимально допустима температура корпусу, °С	$T_c$	125	85	85
Порогова напруга, В	$U_{T(ТО)}$	0,8	0,70	0,84
Динамічний опір, $\times 10^{-3}$ Ом	$r_d$	0,12	0,1	0,11

де  $k_\phi$  – коефіцієнт форми струму тиристора; у даному випадку дорівнює 1,73;

$\vartheta_a$  – температура навколишнього середовища, яка приймається максимальною для зони помірного клімату та дорівнює  $+40^\circ\text{C}$ ;

$R_{th\Sigma}$  – тепловий опір  $p$ - $n$  перехід – навколишнє середовище, який має три складових:

$$R_{th\Sigma} = R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}, \quad (2.6)$$

де  $R_{thha}$  – тепловий опір між контактною площиною охолоджувача і до навколишнім середовищем.

Добре відомо, що навантажувальна спроможність модулів, і взагалі силових напівпровідникових приладів, визначається параметрами охолоджувача, зокрема тепловим опором і потужністю, яку даний охолоджувач здатен розсіяти у навколишнє середовище. Виходячи з габаритних розмірів модуля MT3-1250-12, які надані на рис. 2.4, вибираємо охолоджувач, виготовлений з радіаторного профілю ПР157 довжиною 200 мм. Зовнішній

вигляд профілю надано на рис. 2.5а; його теплові характеристики при природному охолодженні – на рис. 2.5б–2.5г.

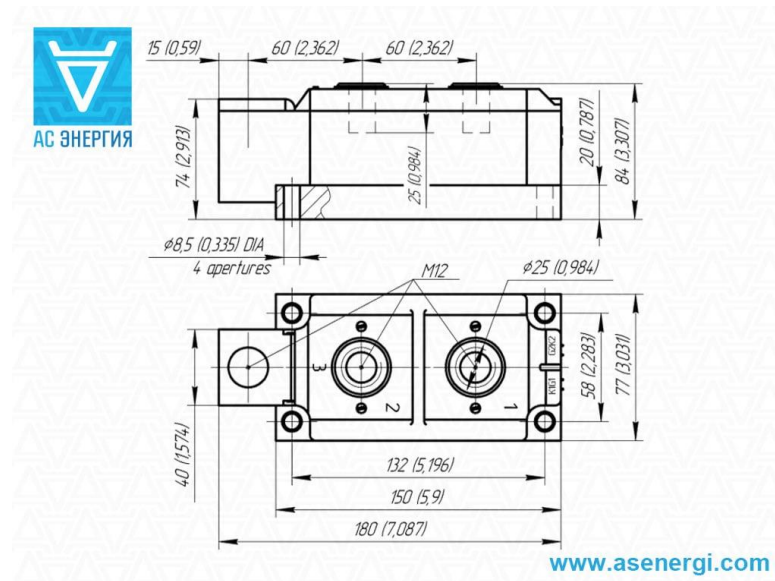


Рисунок 2.4 – Габаритні та настановні розміри тиристорного модуля МТ3-1250-8

Використовуючи дані табл. 2.1 та рис. 2.5б, визначаємо тепловий опір між  $p-n$  переходом та навколишнім середовищем

$$R_{th\Sigma} = 0,05 + 0,020 + 0,5666 = 0,6366 \text{ K/Вт}$$

Таким чином, допустима величина середнього струму тиристорного модуля при природному охолодженні МТ3-1250-8 буде складати:

$$I_{TAVд} = \frac{\sqrt{0,8^2 + 4 \cdot 1,73^2 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{150 - 40}{0,6366}} - 0,85}{2 \cdot 1,73^2 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3}} = 198,3 \text{ А.}$$

Аналогічно розраховуються середні значення допустимого струму для тиристорних модулів інших типів, технічні дані яких надані у табл. 2.1. Результати розрахунків при використанні аналогічного охолоджувача ПР157 надані у табл. 2.2

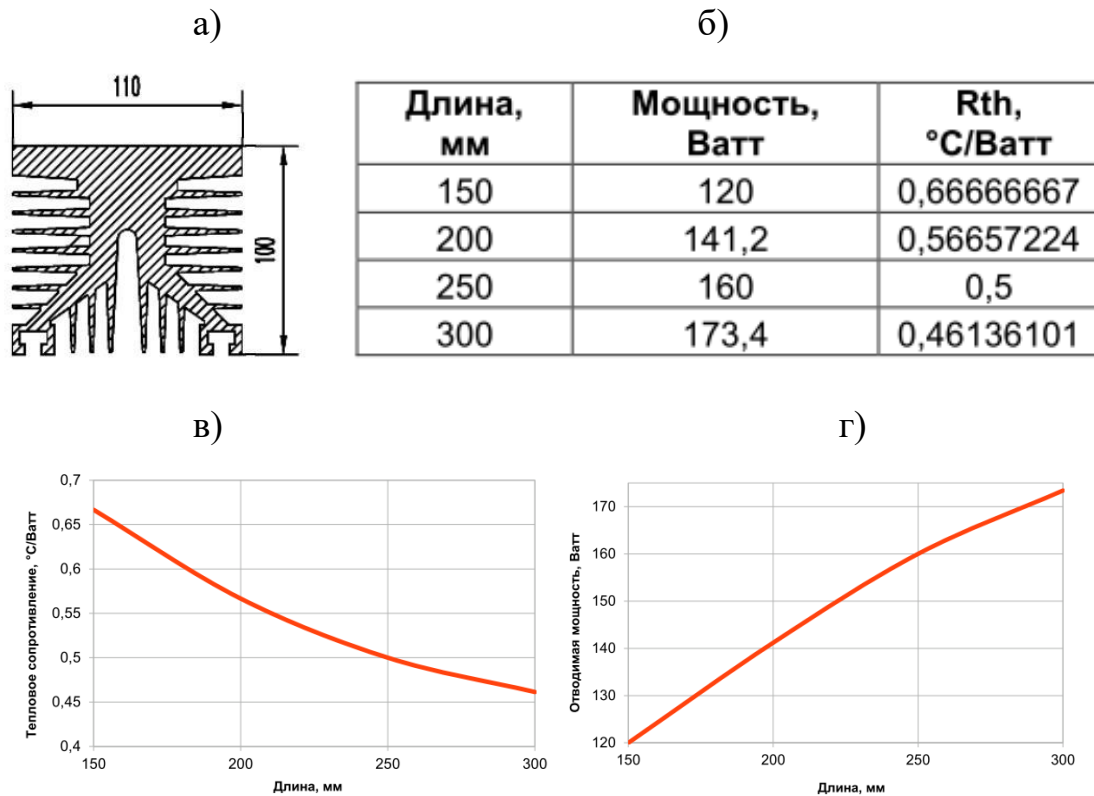


Рисунок 2.5 – Радіаторний профіль ПР157: а) поперечний переріз; б) тепловий опір; в) графік залежності теплового опору від довжини профілю; г) графік залежності відведеної потужності від довжини профілю

Таблиця 2.2 – Середні значення допустимого струму для тиристорних модулів при використанні охолоджувача ПП157 (природне охолодження)

Параметр	МТЗ-1250-8	МТТ-1250-8	МТТ13/3-1000-10
Допустиме значення середнього прямого струму, А	198,3	227,8	167,75

Таким чином, тиристорні модулі **МТЗ-1250-8**, **МТТ-1250-8** та **МТТ13/3-1000-10** при використанні природнього охолодження не можуть бути використані у силовому блоці електропривода, що проєктується, навіть за умови паралельного з'єднання трьох модулів. Причиною цьому є те, що вказані модулі мають недостатній клас щодо рівня повторюваної імпульсної напруги у закритому стані  $U_{DSM}$  та повторюваної імпульсної зворотної напруги  $U_{DRM}$  (див. табл. 2.1); у даному випадку потрібні прилади як мінімум 12-го класу. Отже

використання тиристорних модулів для силових блоків електроприводів не є реальним.

Більш реальним варіантом конструкції силового блока випрямляча є використання тиристорів з більш високим класом зворотної напруги без використання групового з'єднання силових напівпровідникових приладів. У таблиці 2.3 наведено параметри деяких таблеткових тиристорів вітчизняного виробництва.

Таблиця 2.3 – Параметри тиристорів

Параметр	Позначення	T373-3200-10	T283-3200-12	T583-3200-12
Середній прями́й струм, А (температура корпусу)	$I_{TAV}$	3200	3200	3200
Повторна імпульсна зворотна напруга, В	$U_{DRM}$	1000	1200	1200
Захисний показник, $кА^2 \cdot с$	$I^2 t$	32000	25000	25000
Тепловий опір кристал-корпус, $^{\circ}C/Вт$	$R_{thjc}$	0,01	0,0075	0,0075
Тепловий опір корпус-охолоджувач, $^{\circ}C/Вт$	$R_{thch}$	0,002	0,00195	0,00195
Тепловий опір кристал-середовище (природне охолодження), $^{\circ}C/Вт$	$R_{thja}$	0,178 (охолоджувач O273)	0,1105 (охолоджувач O193)	0,1105 (охолоджувач O193)
Максимально допустима температура кристала, $^{\circ}C$	$T_{jmax}$	140	125	125
Порогова напруга, В	$U_{T(ГО)}$	0,823	1,16	0,97
Динамічний опір, $\times 10^{-3} \text{ Ом}$	$r_d$	0,063	0,052	0,071

Конструктивні та теплові параметри охолоджувачів, які рекомендуються для їх охолодження надані у табл. 2.4.

Зовнішній вигляд і габаритні розміри охолоджувачів надані на рис. 2.6.

Навантажувальна спроможність тиристорів визначається за формулою (2.5) з урахуванням даних наданих у табл. 2.3. Результати розрахунків надані у табл. 2.5.

Таблиця 2.4 – Конструктивні та теплові параметри охолоджувачів

Параметр	Величина	
	О193-300	О273-250
Діаметр контактної поверхні, мм	100	76
Розсіювальна потужність при природному охолодженні, Вт	650	500
Тепловий опір при природному охолодженні, К/Вт	0,107	0,166
Тепловий опір при примусовому охолодженні (швидкість повітря 6 м/с), К/Вт	0,03	0,047
Перепад тиску, Па	50	40
Зусилля стискання, кН	не більш 80	не більш 45
Габаритні розміри, мм	385×300×305	280×250×195
Маса, кг	28,0	13,0

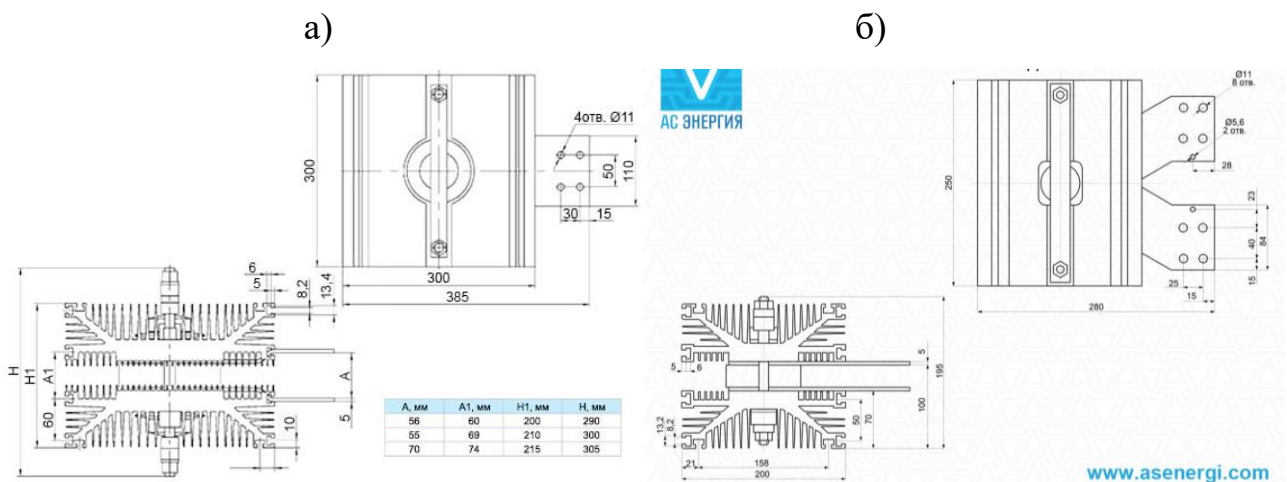


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри охолоджувачів О193 (а) та О273 (б)

Таблиця 2.5 – Середні значення допустимого струму для тиристорів

Параметр	T373-3200-10	T283-3200-12	T583-3200-12
Допустиме значення середнього прямого струму, А	600,1	612.76	689.02
Коефіцієнт запасу у тривалому режимі	1,16	1,19	1,33

Аналіз даних, наданих у табл. 2.5 показує, що при побудові трифазної мостової схеми випрямлення вельми реальним варіантом, у порівнянні з використанням тиристорних модулів, є використання тиристорів, зокрема

тиристора T283-3200-12 або T583-3200-12. Слід зазначити, що використання тиристора T373-3200-10 у даному випадку неможливе, оскільки він на відміну від вказаних вище приладів, має недостатній клас щодо рівня повторюваної імпульсної напруги у закритому стані  $U_{DSM}$  та повторюваної імпульсної зворотної напруги  $U_{DRM}$  (див. табл. 2.3). Як зазначалося вище, у цьому випадку потрібен прилад як мінімум 12-го класу за цими параметрами. Отже, такий варіант побудови силового блоку є найбільш реальним та найбільш економічним щодо масогабаритних показників випрямляча та, електропривода у цілому.

Можливий також варіант побудови силового блоку випрямляча з використанням трифазної нульової схеми, рис.1.1. У цьому випадку середнє значення струму тиристора, а також максимальне значення зворотної напруги складатимуть такі ж величини, як і при використанні трифазної мостової схеми [1]. Таким чином:

$$I_{TAV} = 516,8 \text{ A}; \quad U_{\max} = 1130,9 \text{ В.}$$

Отже, якщо використовувати трифазну нульову схему, то та ж сама елементна база може бути використана, зокрема тиристор T583-1250-12. Такий варіант побудови силового блоку випрямляча є більш дешевим завдяки у два рази меншим втратам та масо-габаритним показникам у порівнянні з використанням трифазної мостової схеми випрямлення.

Виходячи зі рішення, яке прийняте в аналогу, остаточним варіантом силового блоку випрямляча вибирається трифазна мостова схема випрямлення; у цьому випадку силовий блок випрямляча буде складатись з шістьох тиристорів таблеткового типу T583-1250-12 з індивідуальними охолоджувачами O193-300.

### 2.3 Дослідження та розрахунок теплових режимів тиристорів

Основними джерелами теплової енергії в електроприводах є силові напівпровідникові прилади, інші джерела тепла також присутні, але вони не

відіграють суттєвої ролі, отже ними можна знехтувати. Теплова енергія виникає як вторинний продукт перетворення електричної енергії і має бути відведена у навколишнє середовище.

Потужність теплової енергії, яка виділяється у напівпровідниковому пристрої визначається за наступною формулою [4]:

$$P_1 = I_{TAV} \cdot U_{T(ТО)} + k_{\phi}^2 \cdot I_{TAV}^2 \cdot R_d \quad (2.7)$$

де  $I_{TAV}$  – середня величина струму у тиристорі;

$U_{T(ТО)}$  – порогова напруга тиристора;

$R_d$  – динамічний опір тиристора;

$k_{\phi}$  – коефіцієнт форми струму для керованого випрямляча, який для трифазної мостової схеми при куті провідності 120 ел. град. дорівнює 1,73 [1].

Оскільки у даному випадку розглядається трифазний випрямляч з мостовою схемою випрямлення, то середнє значення струму тиристора буде дорівнювати третині випрямленого струму:

$$I_{TAV} = \frac{1550}{3} = 516,8 \text{ A}$$

Як вже зазначалось, в якості елементної база випрямляча обрано тиристорі Т283-3200-12. Враховуючи паспортні параметри цього тиристора (див. табл. 2.3), тепла потужність, що виділяється в ньому, який, буде складати:

$$P_1 = 516,8 \cdot 1,16 + 1,73^2 \cdot 516,8^2 \cdot 0,064 \cdot 10^{-3} = 641,05 \text{ Вт}$$

Як вже зазначалось, для охолодження тиристорів використовуються індивідуальні охолоджувачі. У даному випадку використовується охолоджувач О193-300; відповідно до паспортних даних (див. табл. 2.4) його розсіювальна потужність при природному охолодженні складає 650 Вт. Отже, обраний охолоджувач здатен забезпечити нормальний тепловий режим обраного тиристора.

### 3 ВИБІР УЗГОДЖУВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Узгоджувальний трансформатор – це спеціальний силовий трансформатор, призначений для перетворення трифазної напруги мережі у величину, яка потрібна на вході перетворювача (тобто, для узгодження з вхідною напругою). Відповідно до завдання стандартна мережева змінна напруга промислової частоти 10 кВ має бути перетворена у постійну напругу 600 вольт для живлення двигуна постійного струму.

За своєю конструкцією, узгоджувальні трансформатори перетворювача принципово не відрізняються від звичайних силових трансформаторів. Основним конструктивним елементом трансформатора є його активна частина, яка містить у собі магнітопровід (магнітна система) з трьома сердечниками (стрижні), на які насаджуються первинні та вторинні обмотки відповідних фаз. Магнітна система трансформатора за звичаєм виготовляються з листової електротехнічної сталі. Стрижні набираються з окремих пластин, ізольованих одна від одної. Загальний вигляд активної частини трансформатора надано на рис. 3.1.

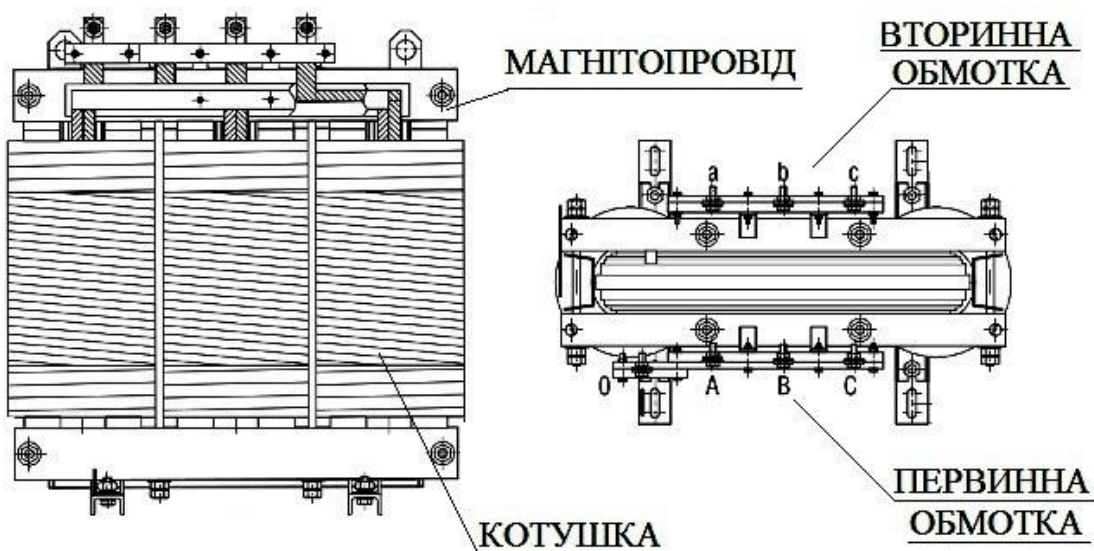


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд активної частини силового трансформатора

Обмотки сучасних сухих трансформаторів виготовляються за технологією RESIBLOC та мають оригінальну конструкцію обмоток ВН та НН, виконаних з дроту та фольги, рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Сухий трансформатор

Як вже зазначалось, напруга первинної обмотки трансформатора повинна дорівнювати напрузі мережі живлення, яке складає 10 кВ; інші параметри трансформатора, зокрема потужність, а також напругу вторинної обмотки, потрібно визначити, виходячи з номінальної напруги навантаження випрямляча, тобто його вихідної напруги.

Фазна напруга вторинної обмотки трансформатора за звичаєм визначається за наступним співвідношенням [1]:

$$U_2 = k_u \cdot k_c \cdot k_a \cdot k_r \cdot U_d, \quad (3.1)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт, який характеризує відношення вихідної напруги ідеального трифазного мостового випрямляча до фазної напруги вторинної обмотки трансформатора,  $k_u = 0,427$  [1];

$k_c$  – коефіцієнт запасу за напругою, який враховує відхилення та коливання напруги мережі у бік зниження; за звичаєм приймається  $k_c = 1,1$  [1];

$k_a$  – коефіцієнт запасу по неповному відкритті вентилів при максимальному керуючому сигналі; за звичаєм приймається  $k_a = 1,1$  [1];

$k_r$  – коефіцієнт запасу, який враховує падіння напруги в обмотках трансформатора, у вентилях, а також падіння напруги за рахунок перекриття анодів; за звичаєм  $k_u = 1,05$  [1];

$U_d$  – номінальна вихідна напруга споживача, яка відповідно до завдання складає 600 В.

Отже, діюче значення фазної напруги вторинної обмотки силового трансформатора буде складати:

$$U_2 = 0,427 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 600 = 325,5 \text{ В.}$$

Діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора розраховується за наступним співвідношенням [1]:

$$I_2 = k_i \cdot k_{cx} \cdot I_d, \quad (3.2)$$

де  $k_{cx}$  – коефіцієнт схеми, який характеризує відношення вихідного струму випрямляча до струму у вторинній обмотці трансформатора в ідеальній схемі випрямляча; у даному випадку він складає  $k_{cx} = 1,1$  [1];

$k_i$  – коефіцієнт форми анодного струму, що враховує відхилення від прямокутної форми струму; у даному випадку  $k_i = 0,815$  [1];

$I_d$  – номінальний вихідний (випрямлений) струм, який відповідно до проведених вище розрахунків складає 1550 А.

Таким чином, величина вторинного струму трансформатора буде складати:

$$I_2 = 0,815 \cdot 1,1 \cdot 1550 = 1390 \text{ А.}$$

Потужність однієї фази трансформатора:

$$S_1 = U_2 \cdot I_2 = 325,5 \cdot 1390 = 452307 \text{ ВА} = 452,3 \text{ кВА}$$

Оскільки для трифазного перетворювача необхідний трифазний трансформатор, то повна потужність його буде втричі більше:

$$S = 3 \cdot S_1 = 3 \cdot 452,3 = 1357 \text{ кВА}$$

Необхідно підібрати для пристрою, що проектується, трансформатор саме такої потужності. Перевагу будемо надавати сухим трансформаторам, так як вони більш прості в експлуатації, ніж масляні.

У таблиці 3.1 наведені параметри сухих трансформаторів різних виробників.

Таблиця 3.1 – Параметри сухих трансформаторів різних виробників

Параметр	ТСЛУ-1600/10	ТСЗ-1250/10	ЕІРі
	ТОВ «ЕЛІЗ», Україна	ПАО «ЕЛТІЗ», Україна	Elettromeccanica Piosasco, Італія
Номінальна потужність, кВА	1600	1250	1250
Первинна напруга, кВ	10	10	10
Вторинна напруга, кВ	0,4	0,4	0,4
Втрати холостого ходу, Вт	–	4700	–
Напруга короткого замикання, %	–	6,0	–
Схема та група з'єднання обмоток	Y/Y <sub>H</sub> -0	Y/Y <sub>H</sub> -0	–

Проаналізувавши характеристики трансформаторів різних виробників, обирається трансформатор з литою ізоляцією ТСЛУ-1600/10 виробництва ТОВ

ЕЛІЗ, оскільки така конструкція є найбільш сучасною. Зовнішній вигляд трансформатора показано на фотографії, яка надана на рис. 3.3



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд трансформатора ТСЛУ  
виробництва ТОВ «ЕЛІЗ»

Силові сухі трансформатори з литою ізоляцією серії ТСЛУ – це різновид сухих трансформаторів, у яких одна або кілька обмоток залиті ізоляційним компаундом на основі епоксидних смол з кремнієвим наповнювачем. Призначені для перетворення електроенергії в мережах енергосистем та споживачів електроенергії змінного струму номінальною частотою 50 Гц й встановлюються в промислових приміщеннях й громадських будівлях, до яких пред'являються підвищені вимоги в частині пожежної безпеки, вибухозахищеності, екологічної чистоти.

Висока пожежна безпека та експлуатаційна надійність, знижений рівень шуму й компактність дали можливість експлуатувати ці трансформатори в місцях з підвищеними вимогами безпеки – це підприємства хімічної, металургійної, нафтопереробної промисловості, а також громадські будівлі та

споруди. Трансформатори з литою ізоляцією прості в обслуговуванні, відповідають вимогам CENELEC на відповідність класам E2 з екологічної безпеки для навколишнього середовища, C2 по роботі в несприятливих кліматичних умовах, F1 по пожежній безпеці.

Оскільки трансформатор має досить велику масу та габарити, то встановити його у шафі перетворювача неможливо. Тому він встановлюється поза шафою у вигляді окремого виробу та підключається у схему за допомогою гнучкого дроту необхідного перерізу. У зв'язку з цим трансформатор повинен мати свій окремий кожух з ступенем захисту не нижче ступеня захисту перетворювача.

#### 4. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Як вже зазначалось, привод постійного струму, що проєктується, буде складатись з випрямляча, який являє собою окрему шафу та силового трансформатора, який встановлюється окремо.

Тиристорний перетворювач має складатись з наступних основних вузлів: силовий блок (з вентилями та охолоджувачами), система управління, ошинування змінного та постійного струму, клемні блоки для підключення зовнішніх електричних кіл відповідно до вимог замовника.

Щодо конструктивного оформлення, перетворювач має являти собою комплектний пристрій у вигляді металевої шафи, в якій розміщені всі елементи принципової електричної схеми, а також елементи системи охолодження. Корпус шафи є основною несучою конструкцією та має захищати розміщені в ньому елементи від зовнішніх статичних і динамічних перевантажень, а також обслуговуючий персонал від можливих уражень електричним струмом.

Корпус шафи перетворювача має складатись з каркаса, оболонки та інших конструктивних вузлів та деталей. Каркас шафи має являти собою зварну конструкцію зі сталевого прокатного профілю. Оболонка має утворювати стінки, двері, дно та кришку шафи. Усі елементи шафи мають бути вкриті шаром поліефірної порошкової фарби сірого кольору. Для захисту від проникнення пилу та води до внутрішнього простору мають використовуватись ущільнення з мікропористої гуми різноманітних профілів різного перерізу.

У дні шафи мають бути передбачені отвори для підключення силового кабелю відповідно до вимог замовника. Для уникнення руйнування захисту від пилу та води ці отвори мають бути закриті гумовими сальниками. Відповідно до Правил улаштування електроустановок, підключення до навантаження на струм 1550 А має використовуватись одножильний алюмінієвий кабель з паперовою ізоляцією перетином не менше 625 мм<sup>2</sup> [5].

Для забезпечення переміщення трансформатора та, відповідно, захоплення стропами, в кришці шафи мають бути встановлені рим-болти. Відповідно до ваги пристрою та способу стропування вибираються рим-болти розміру M22 [7].

Силовий блок перетворювача має являти собою конструктивно закінчений вузол, що складається з напівпровідникових приладів (тиристорів), встановлених на охолоджувачах та зібраних за відповідною електричною схемою та шинних виводів, рис. 4.1.

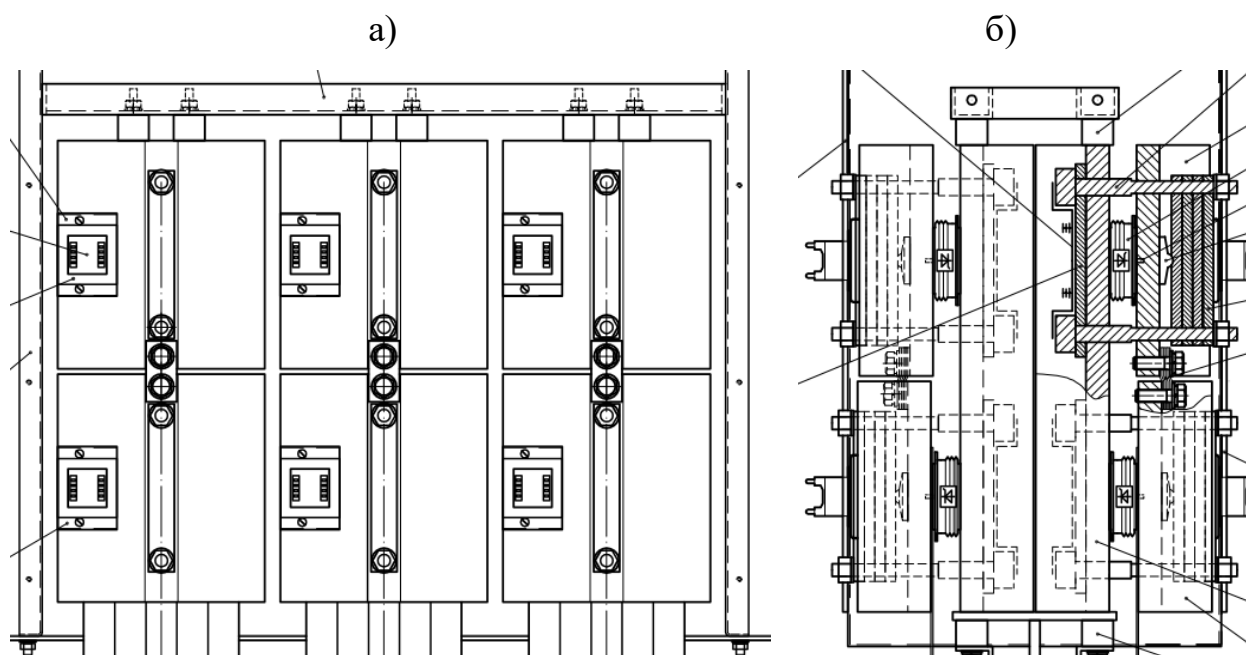


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд силового блоку: спереду (а); збоку (б)

Силовий блок має бути встановлений на задній стінці шафи у такий спосіб, щоб ребра охолоджувача знаходились назовні шафи, проте силові напівпровідникові прилади та силові шини були всередині шафи. Між охолоджувачами силового блоку та стінкою шафи за контуром має бути прокладене гумове ущільнення.

Для захисту охолоджувачів від корозії та покращення теплового контакту з корпусом тиристорів контактні поверхні перед встановленням приладів змащуються теплопровідною пастою ЦИАТИМ.

Електричні з'єднання силових кіл випрямляча (ошиновка) здійснюється алюмінієвими шинами прямокутного перерізу. Площа поперечного перерізу шин має бути обрана відповідно до економічної щільності струму, а також стійкості до протікання наскрізних струмів короткого замикання. Відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок, для електричного обладнання з номінальним струмом головних кіл 1550 А рекомендується використовувати шини поперечним перерізом 800 мм<sup>2</sup>. Отже у проєктованому випрямлячі застосовано шину АДЗ1 80×10.

Блок керування має являти собою друковану плату з мікропроцесором. Друкована плата, як правило, виготовляється з фольгованого текстоліту з ізоляційним шаром, на якому знаходяться друкарські провідники, отримані методом хімічного травлення. Друковані провідники розташовані на одній з сторін ізоляційної основи.

На дверях шафи мають бути встановлені амперметри та вольтметр для індикації струмів на вході та виході випрямляча, а також вольтметр для індикації випрямленої напруги. Крім того, на дверях шафи мають бути встановлені індикатори поданої напруги та аварії. Зовнішній вигляд дверей шафи надано на рис. 4.2.

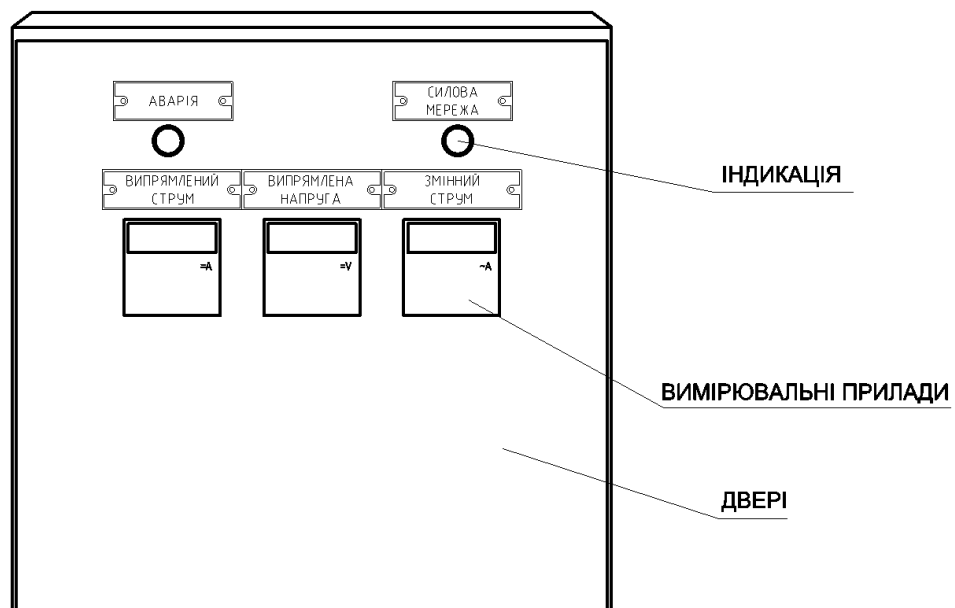


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд дверей шафи

Узгоджувальний трансформатор є частиною електроприводу і за своєю конструкцією практично нічим не відрізняється від звичайних загальнопромислових силових трансформаторів. Проте, розміри трансформатора вельми великі, що не дає можливості встановити його всередині шафи, де встановлено силовий блок. Крім того, своїм магнітне поле, що збуджується трансформатором, вноситиме перешкоди у роботу обладнання, що розміщено у шафі. У зв'язку з цим, трансформатор за звичаєм, встановлюється на місці експлуатації як окремий компонент електропривода та з'єднується з шафою силовим кабелем певного перерізу. Загальний вигляд трансформатора, встановленого в окремому кожусі, який має природне повітряне охолодження, показано на рис. 4.3.

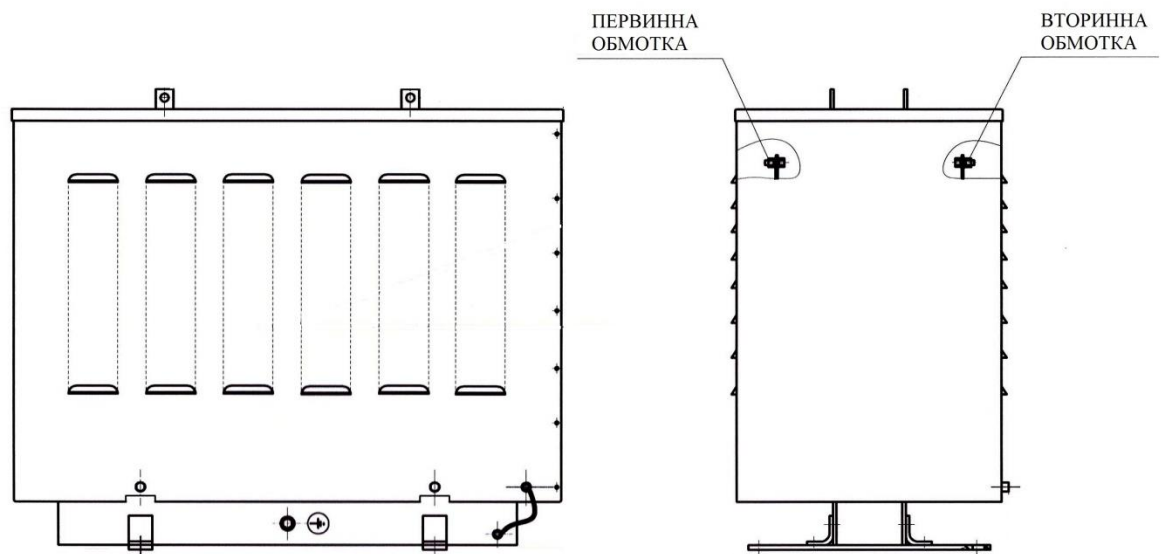


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд кожуху трансформатора

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було проведено техніко-економічне обґрунтування та спроектовано електропривод постійного струму, зокрема:

- проведено огляд існуючих конструктивних та схемних рішень електроприводів для живлення бурової установки;
- проведено огляд та дослідження щодо використання тої чи іншої елементної бази головних кіл випрямляча;
- проведені дослідження та визначені розміри охолоджувача, необхідного для відведення тепла с силових тиристорів та визначено їх оптимальний тепловий режим;
- проведено огляд силових трансформаторів та обрано найбільш оптимальний варіант узгоджувального трансформатора вітчизняного виробника.
- проведено аналіз недоліків базової конструкції, запропоновано шляхи їх усунення;
- вибрано найбільш оптимальну структуру та базову конструкцію електропривода з урахуванням його вхідних та вихідних параметрів та призначення.

Проведені заходи дозволили розробити перетворювач, що відповідає світовим стандартам та сучасним вимогам, що ставляться до електричного обладнання для енергоємних технологічних установок.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

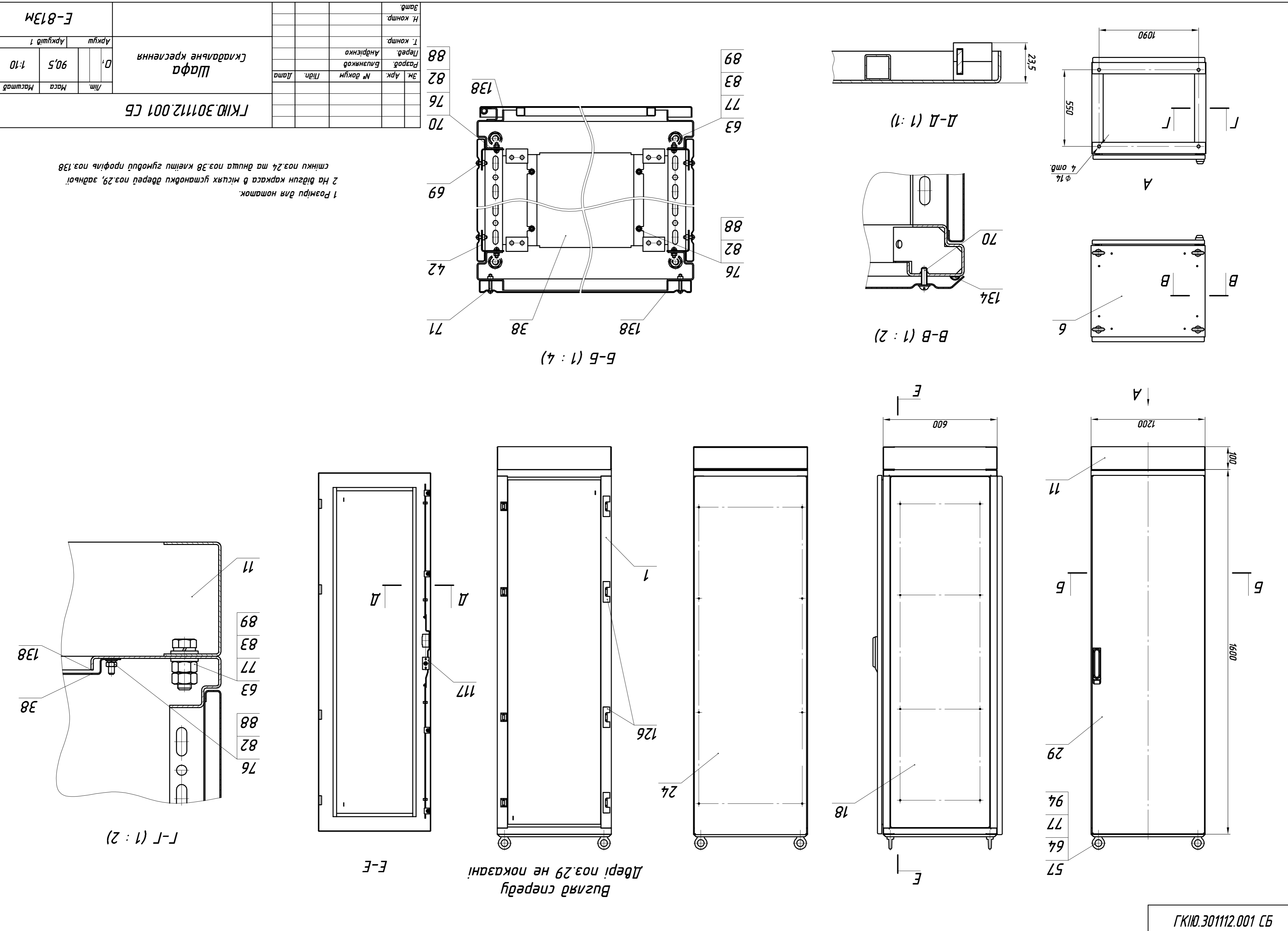
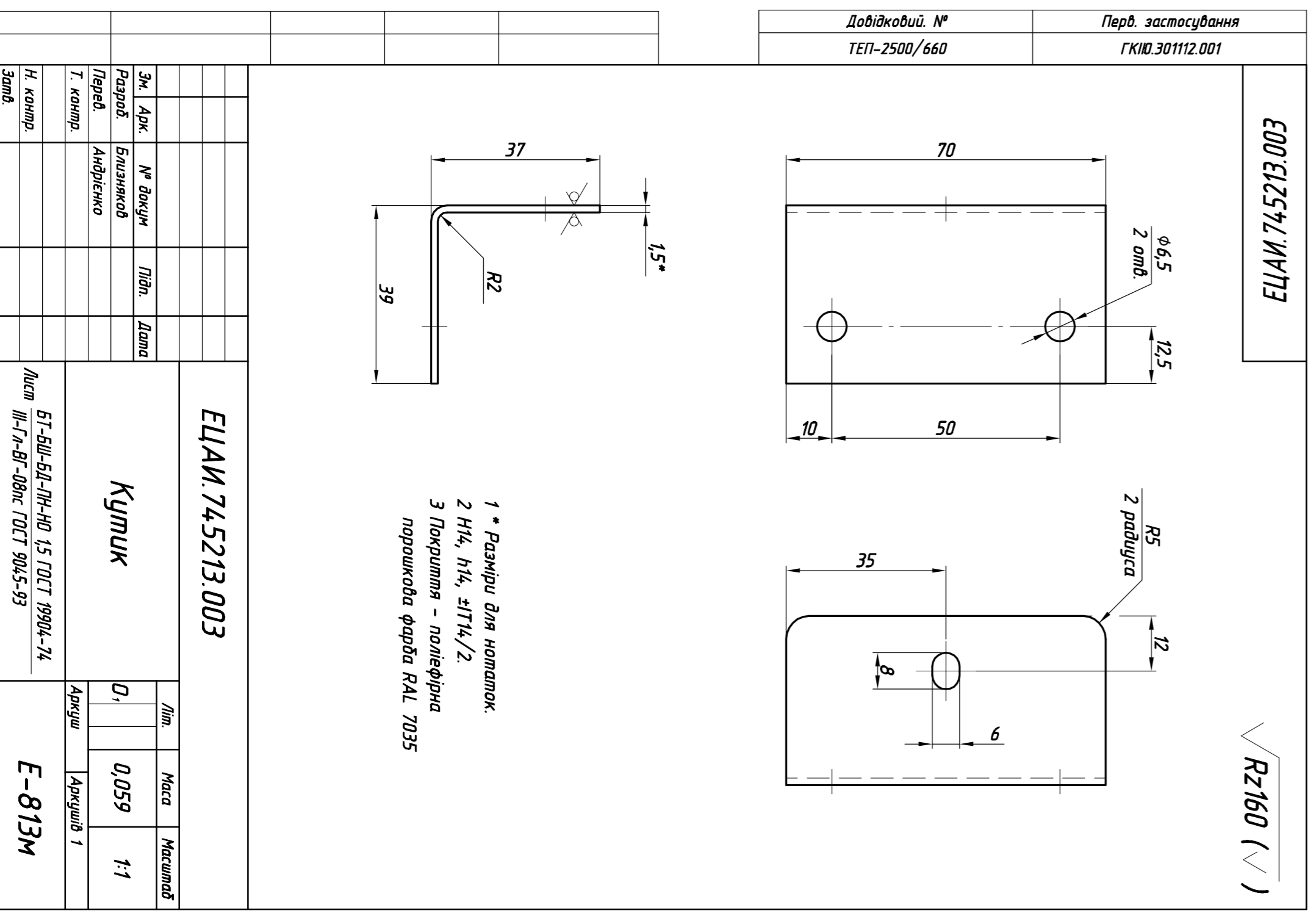
1. Електроніка та мікросхемотехніка. Підручник у 4-х томах / С.І. Сенько, М.В. Панасенко, Е.В. Сенько та ін.; під ред. В.І. Сенька – К.: ТОВ "Видавництво "Оберіг". 2000. – Т 1. Елементна база електротехнічних пристроїв. – 300 с., іл. (Бібліогр.: с. 296-297. ISBN: 906-513-175-3).
2. Мілих В.І., Шавьолкін О.О Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Підручник за ред. В.І. Мілих. 2-е вид. – К.: Каравела, 2008. – 688 с.
3. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник / О. О. Шавьолкін; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 403 с.
4. Силові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії: навч. посіб. / К.К. Победаш, В.А. Святненко; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 244 с.
5. Денисов Ю. О. Системи перетворювальної техніки – РВВ ЧДТУ, 2012. – 172 с.
6. Колонтаєвський Ю. П. Перетворювальна техніка в нетрадиційній та відновлювальній електроенергетиці : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 67 с.
7. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне / Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
8. Thermal design of electronic equipment (Electronics handbook series). / Ralph Remsburg. – CRC Press LLC, 2001. – 353 p.
9. Power electronics handbook: devices, circuits, and applications handbook / edited by Muhammad H. Rashid. – 3rd ed., Elsevier Inc., 2011. – 1409 p.
10. Sueker, Keith H. Power electronics design: a practitioner's guide / by Keith H. Sueker. – 1st ed., SciTech Publishing Inc., 2005. – 272 p.
11. Bliznyakov O.V. Thermal Behavior Analysis of Power Electric and Electronic Equipment: The educational textbook. – Zaporizhzhya : ZNTU, 2014. – 134 p.

12. Офіційний сайт ПрАТ «Запорізький електроапаратний завод»: <https://zeaz.com.ua/>.
13. Офіційний сайт компанії «ФОРТ-ІМЕКС» LTD: <https://fortimex.com.ua/>.
14. Офіційний сайт ООО «НПП «Преобразователь-комплекс»»: <https://pcomplex.ua/>.
15. Офіційний сайт групи компаній «Плутон»: <https://pluton.ua/>.
16. Офіційний сайт ТОВ «ЕЛІЗ», Запорізький електротехнічний трансформаторний завод: <http://eliz.zp.ua/>.
17. Офіційний сайт ПП «ЕЛТІЗ»: <https://eltiz.ua/>.

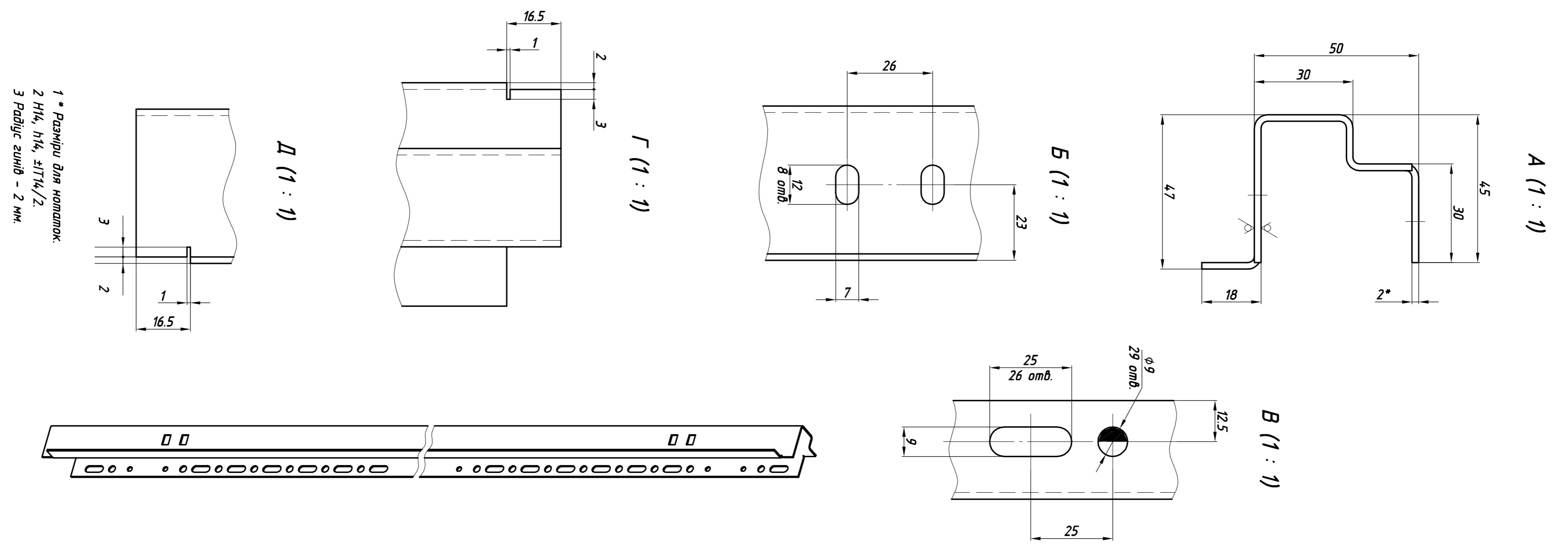
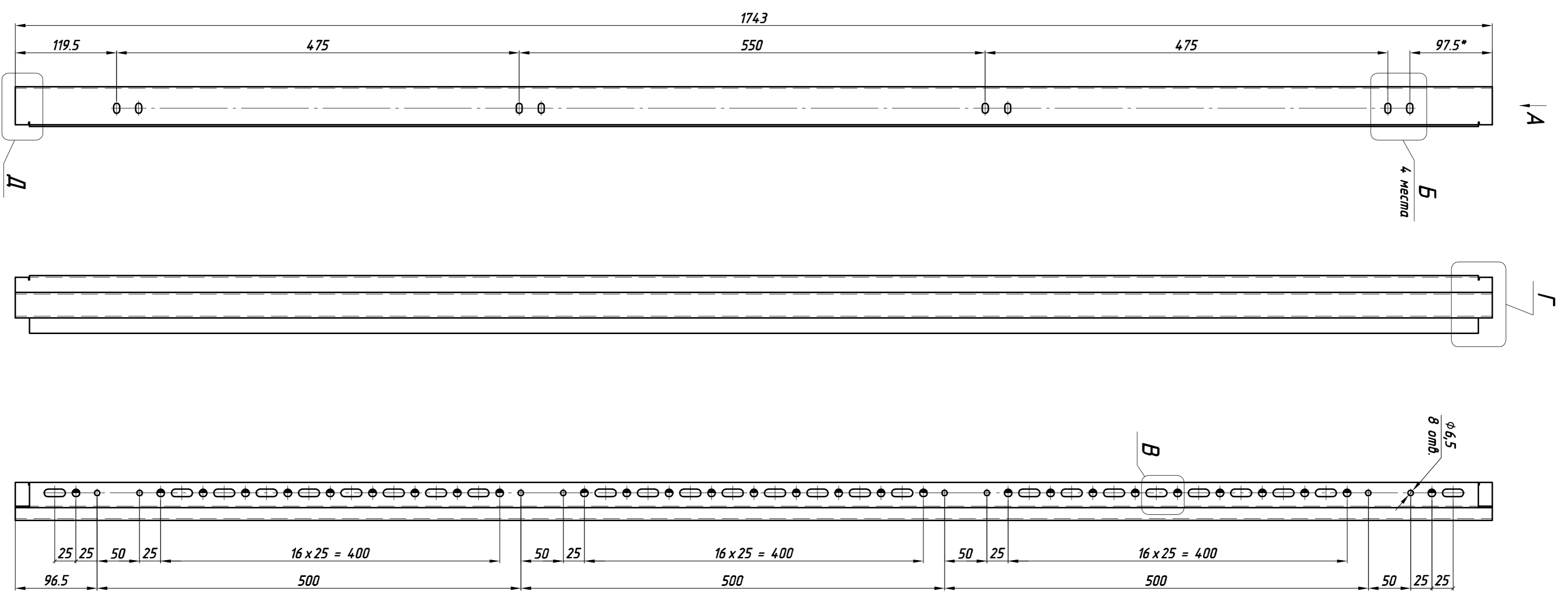
Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий №	Перв. застосування	Формат	Зона	Поз.	Назначення	Нідення	Кіл.	Примітка
44					ТЕР-2500/660				A2	ГКЮ.4.35311.001 СБ	Складальне креслення	1	
44									A4	ГКЮ.30124.1001	Складальні одиниці	1	
44									A4	ГКЮ.30138.001	Каркас	1	
44									A4	ГКЮ.301732.001	Шпилька	2	
44									A4	ГКЮ.301732.002	Слітка	1	
44									A4	ГКЮ.30534.1003.001	Двері	1	
43									A3	ГКЮ.7354.12.001	Демпні	1	
44									A4	ЕДАМ.745213.003	Куттик	16	

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий №	Перв. застосування	Формат	Зона	Поз.	Назначення	Нідення	Кіл.	Примітка
89						ГКЮ.301112.001			63	Болт ДСТУ ГОСТ 7798-2008	Стандартні вироби	4	
88						ГКЮ.301112.001			64	M12-6gx50-58.019		4	
89						ГКЮ.301112.001			76	Шпилька ДСТУ ГОСТ 174.73-2008		16	
88						ГКЮ.301112.001			77	Шпилька ДСТУ ГОСТ 5927-2008		66	
89						ГКЮ.301112.001			88	M5-6Hx5.019		16	
89						ГКЮ.301112.001			89	M12-6Hx5.019		16	
89						ГКЮ.301112.001			89	С.5.01.10.019		142	
89						ГКЮ.301112.001			89	C.12.01.10.019		12	

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий №	Перв. застосування	Формат	Зона	Поз.	Назначення	Нідення	Кіл.	Примітка
94						ГКЮ.301112.001			94	Руч-болт ГОСТ 4751-73 M12.019		4	
99						ГКЮ.301112.001			99	Шпилька ГОСТ 104.63-81 5.65Г.016		16	
117						ГКЮ.301112.001			117	Замок ЗМ-3-1/ВС-ЗН/13-03	Інші вироби	1	
123						ГКЮ.301112.001			123	Наклеювачи RV-125-5		18	
126						ГКЮ.301112.001			126	Шпирець дверний ШД-101		4	
134						ГКЮ.301112.001			134	Глина самоклеювася	Матеріали		
135						ГКЮ.301112.001			135	D-профіль 7x9		2,80 м	
138						ГКЮ.301112.001			138	E-профіль		8,80 м	
142						ГКЮ.301112.001			142	Профіль гумовий ТВД армований		10,6 м	
142						ГКЮ.301112.001			142	Профіль ПВХ 15-3-Ж		2,0 м	



Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий. №	Перв. застосування
					ТЕН-2500/660	ГКІЮ.30124.1.001



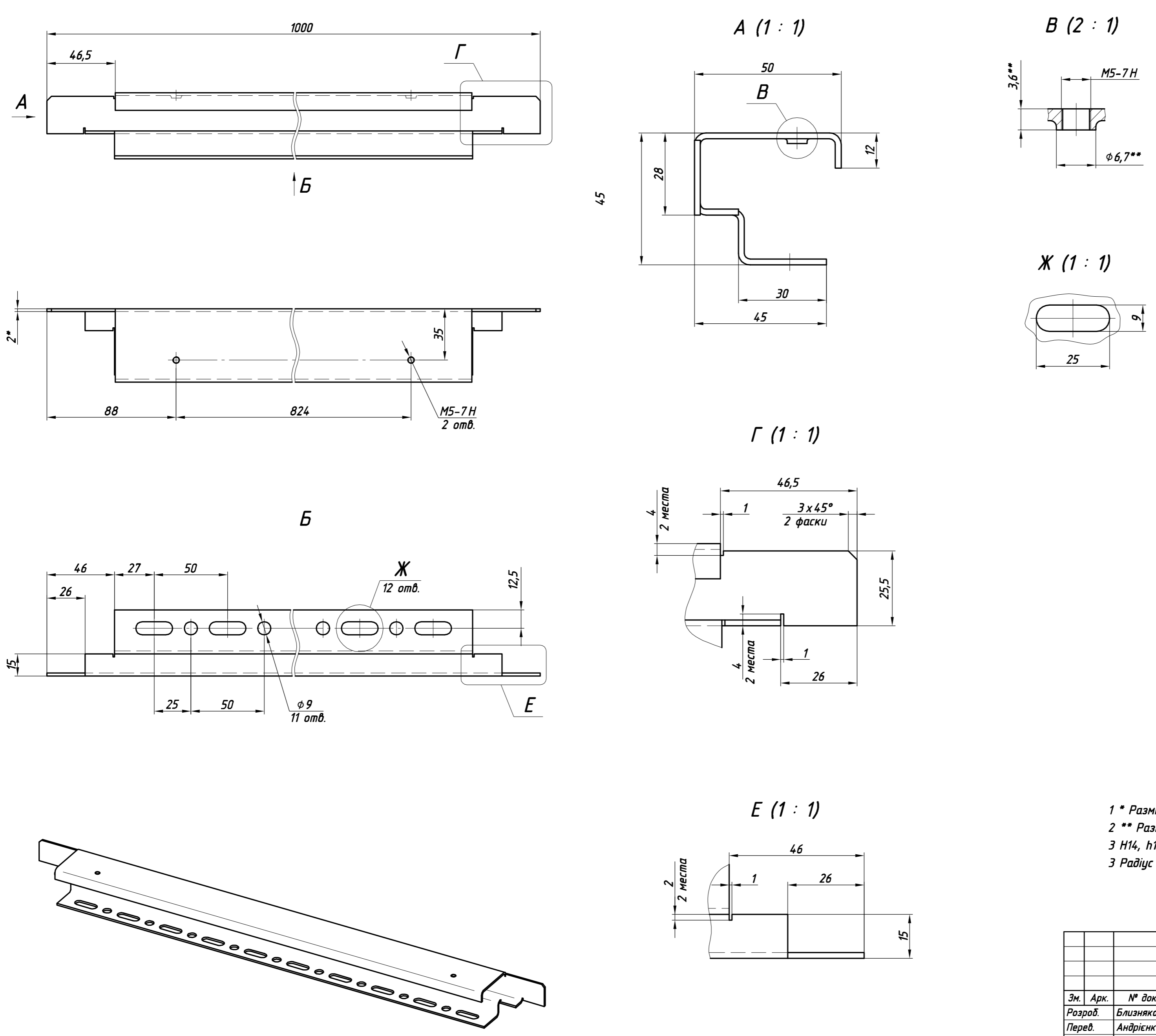
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Близняк		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Замб.			
ГКІЮ.745422.002			
Профіль			
Лист	Маса	Масштаб	
01	4,06	1:4	
БТ-БШ-БД-ПН-НО 2,0 ГОСТ 19904-74			
ІІІ-ГЛ-ВГ-ВВс ГОСТ 9045-93			
Аркушів 1			
E-813M			

ГКІЮ.745422.002

Rz160 (✓)

ГКІЮ.745447.001

Rz160 (✓)



1 \* Розміри для напоянок.  
2 \*\* Розміри забезпеч. інстр.  
3 Н14, Н14, ±Т14/2  
3 Радіус гинів - 2 мм.

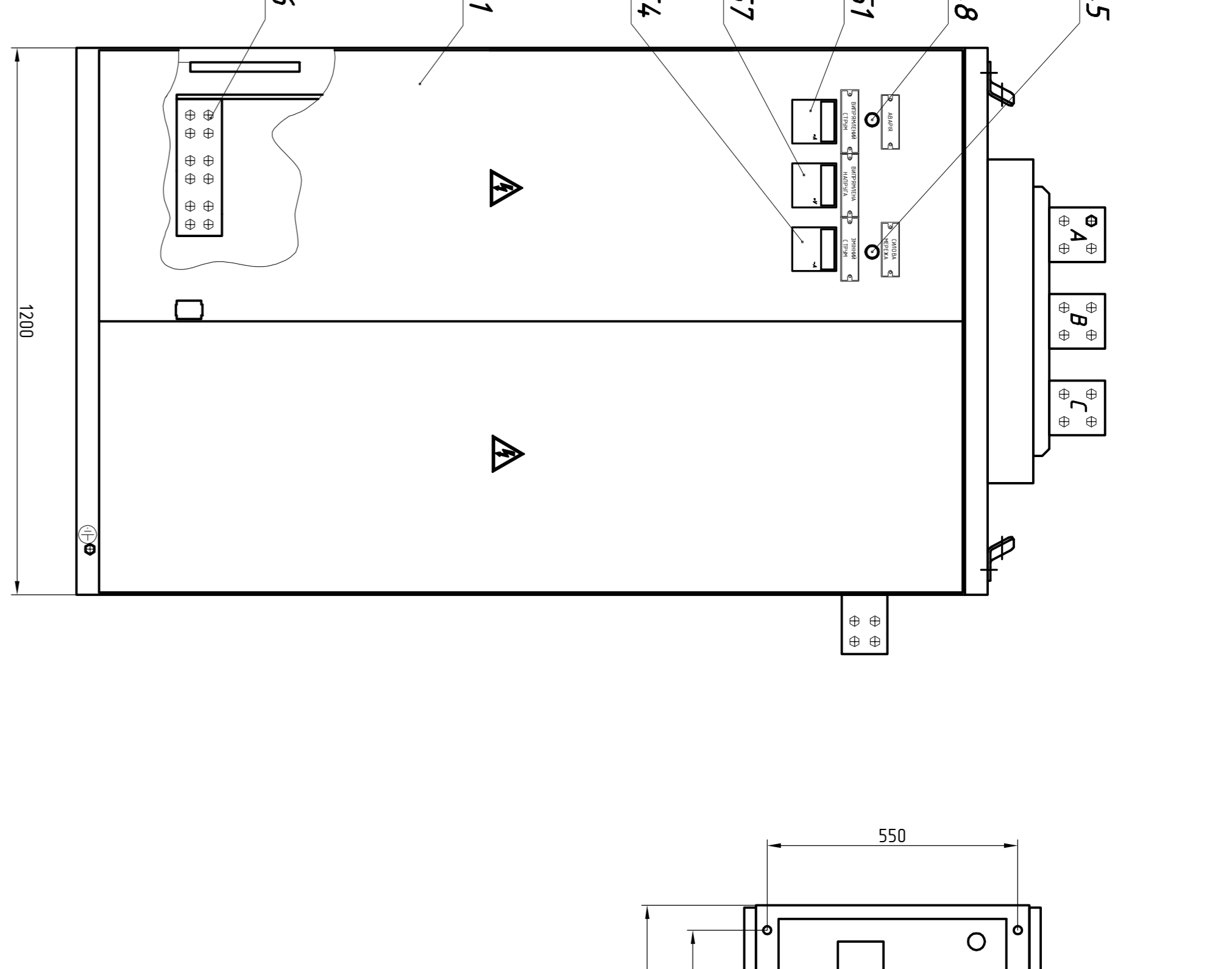
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Близняк		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Замб.			
ГКІЮ.745447.001			
Профіль			
Лист	Маса	Масштаб	
01	1,27	1:2	
БТ-БШ-БД-ПН-НО 2,0 ГОСТ 19904-74			
ІІІ-ГЛ-ВГ-ВВс ГОСТ 9045-93			
Аркушів 1			
E-813M			

ГКІЮ.745447.001

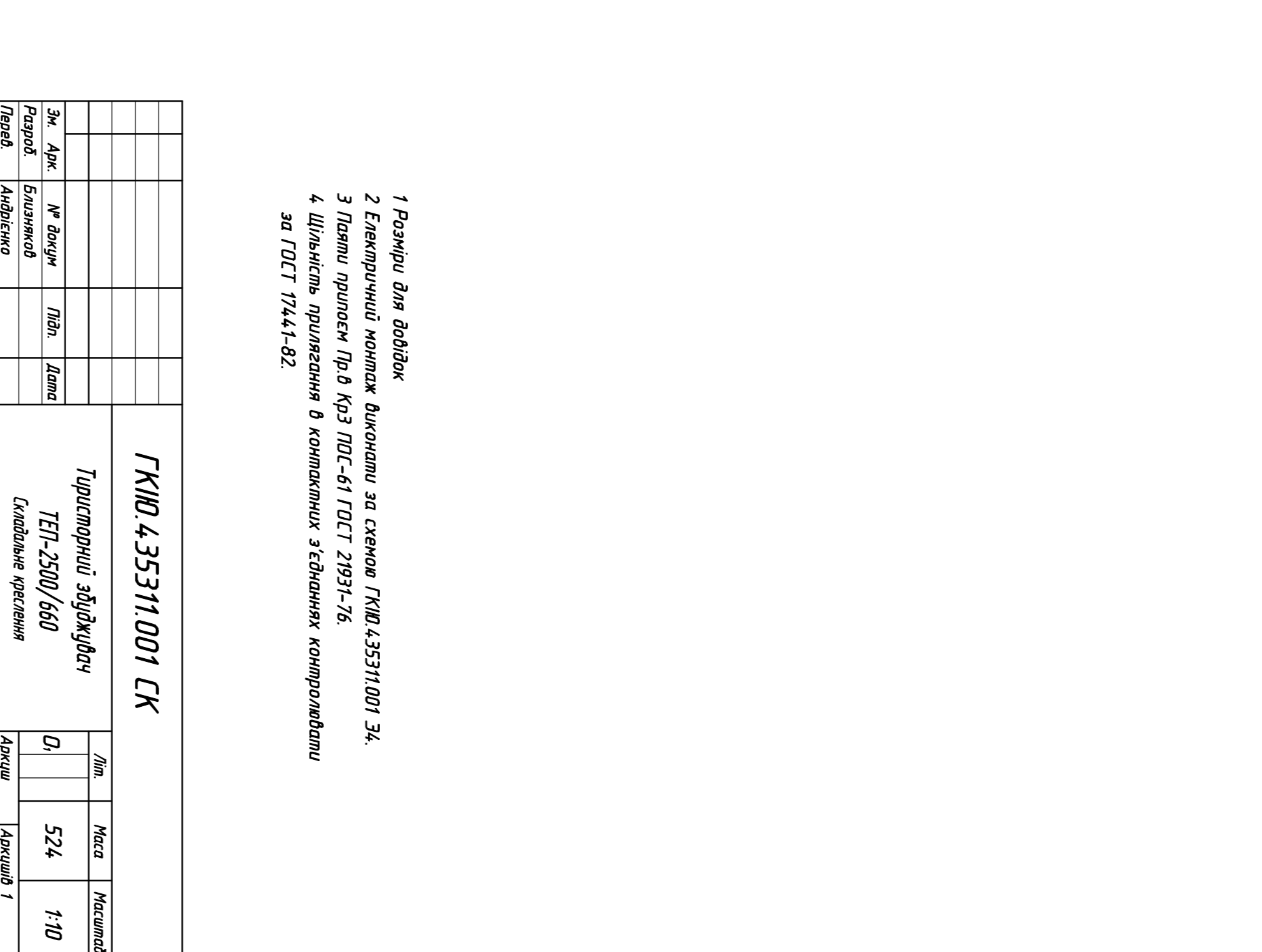
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Близняк		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Замб.			
ГКІЮ.745447.001			
Профіль			
Лист	Маса	Масштаб	
01	1,27	1:2	
БТ-БШ-БД-ПН-НО 2,0 ГОСТ 19904-74			
ІІІ-ГЛ-ВГ-ВВс ГОСТ 9045-93			
Аркушів 1			
E-813M			

ГКІД.4.35311.001 СК

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий. №	Перв. застосування
					ТЕП-2500/660	ГКІД.4.35311.001



Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий. №	Перв. застосування
					ТЕП-2500/660	ГКІД.4.35311.001 СК



- 1 Розміри для довідок
- 2 Електричний монтаж виконати за схемою ГКІД.4.35311.001 СК.
- 3 Повити прилози ПР в Корз ПДЛ-61 ГОСТ 2931-76
- 4 Шляхність прилягання в комплектних з'єднаннях контролювати за ГОСТ 17441-82.

Формат А3х4

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий. №	Перв. застосування
					ТЕП-2500/660	ГКІД.4.35311.001 СК

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий. №	Перв. застосування
					ТЕП-2500/660	ГКІД.4.35311.003 001

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий. №	Перв. застосування
					ТЕП-2500/660	ГКІД.4.35311.003 001

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	Додатковий. №	Перв. застосування
					ТЕП-2500/660	ГКІД.4.35311.003 001



Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**ГКІЮ.73534.1.001**  
 А(1)

1 - Розміри для монтажу.  
 2 Ніч, ніч, зІТН/2  
 3 Зовнішній шов за ГОСТ 14.771-76  
 4 Радіус згинів 2 мм.  
 5 Покриття - поліефірний порошковий фарба РAL 7035

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата

№ шдв	Позначення	Кіл. шдвд
1	Ч/к	4
2	С/з	4

**ГКІЮ.73534.1.001**

Формат А3

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**ГКІЮ.73534.1.001**  
 Короб

1 - Розміри для монтажу.  
 2 Ніч, ніч, зІТН/2  
 3 Зовнішній шов за ГОСТ 14.806-80.  
 4 Покриття підвхонь А та Б - Гол'Д

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата

Лит.	Маса	Масштаб
01	2,07	1:4

**ГКІЮ.73534.1.001**

Формат А3

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

		Довідковий. №		Перв. застосування								
		ТЕП-2500/660		ГКІЮ.654473.001								
		Кіл. на викон. ГКІЮ.685526.001										
Позначення	Найменування	-	01	02	03	04	05	06	07	08	09	Примітка
	Документація											
А3	ГКІЮ.685526.001 СК											Складальне креслення

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата

Лит.	Арк.	Архив
	1	2

**ГКІЮ.685526.001**

**Шина**

Формат А4

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

		Довідковий. №		Перв. застосування								
		ТЕП-2500/660		ГКІЮ.685526.001								
		Кіл. на викон. ГКІЮ.685526.001										
Позначення	Найменування	-	01	02	03	04	05	06	07	08	09	Примітка
	Деталі											
А4	ГКІЮ.74.1226.001		1	1	1	1						Шина
А4	-01					1	1	1	1			Шина
А4	ГКІЮ.74.5228.001		1	1		1	1					Шина
А4	-01				1	1						Шина

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата

Лит.	Арк.	Архив
	1	2

**ГКІЮ.685526.001**

Формат А3

Інв. № ор.	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**ГКІЮ.685526.001 СК**  
 Шина

1 - Розміри для монтажу.  
 2 Зовнішній шов за ГОСТ 14.806-80.  
 3 Покриття підвхонь А та Б - Гол'Д

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата

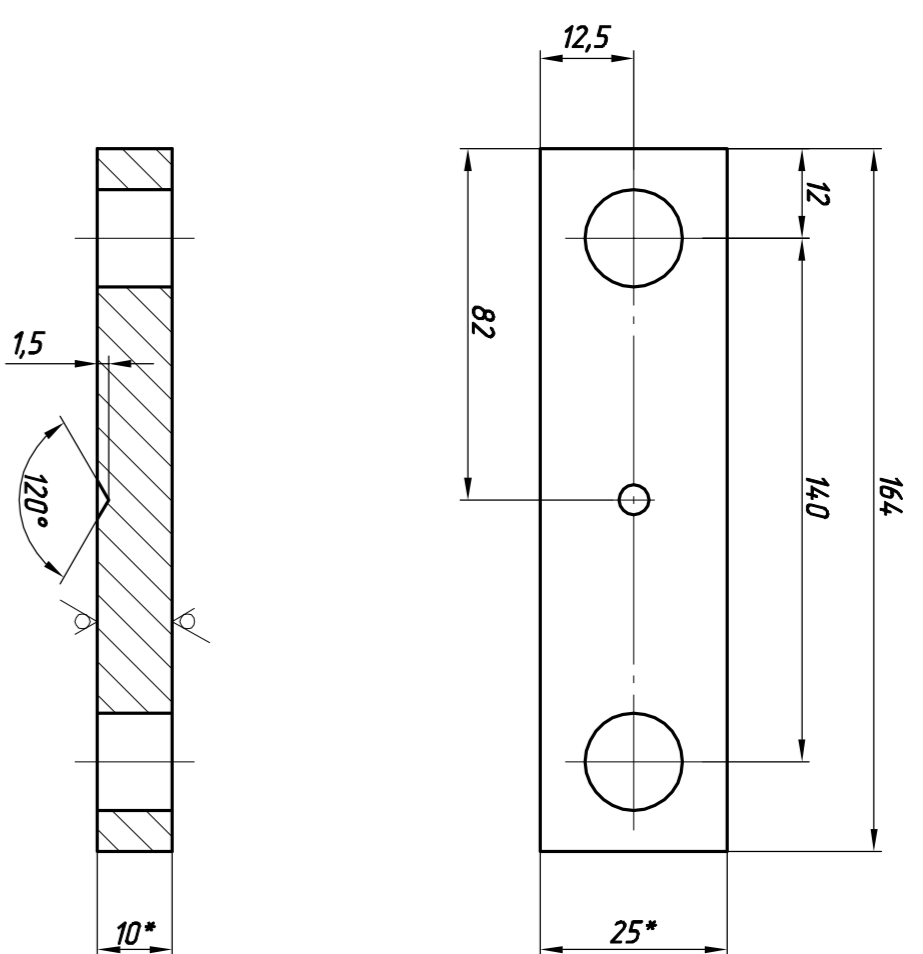
Лит.	Маса	Масштаб
01	0,38	1:2

**ГКІЮ.685526.001 СК**

Формат А3

ГКЮ.734511.001

Rz160 (✓)



- 1 \* Розміри для монтажу.
- 2 Ніч, ніч, зІТЧ/2
- 3 ЗС 4,8 НРС (капоти у маслі)
- 4 Після термообробки окисина на поверхнях не допускється
- 5 Поверхня - ЦІХР з відляганням водородді.

Зм. Дж.	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Білянко			01	0,1	1:1
Перев.	Андрієнко					
Т. констр.						
Н. констр.						
Замб.						

ГКЮ.734511.001

Траверса

ГОСТ 103-76  
ГОСТ 24-81  
ГОСТ 1499-79

Формат А3

Лист	Маса	Масштаб
01	0,1	1:1

Е-813М

Довідковий. №

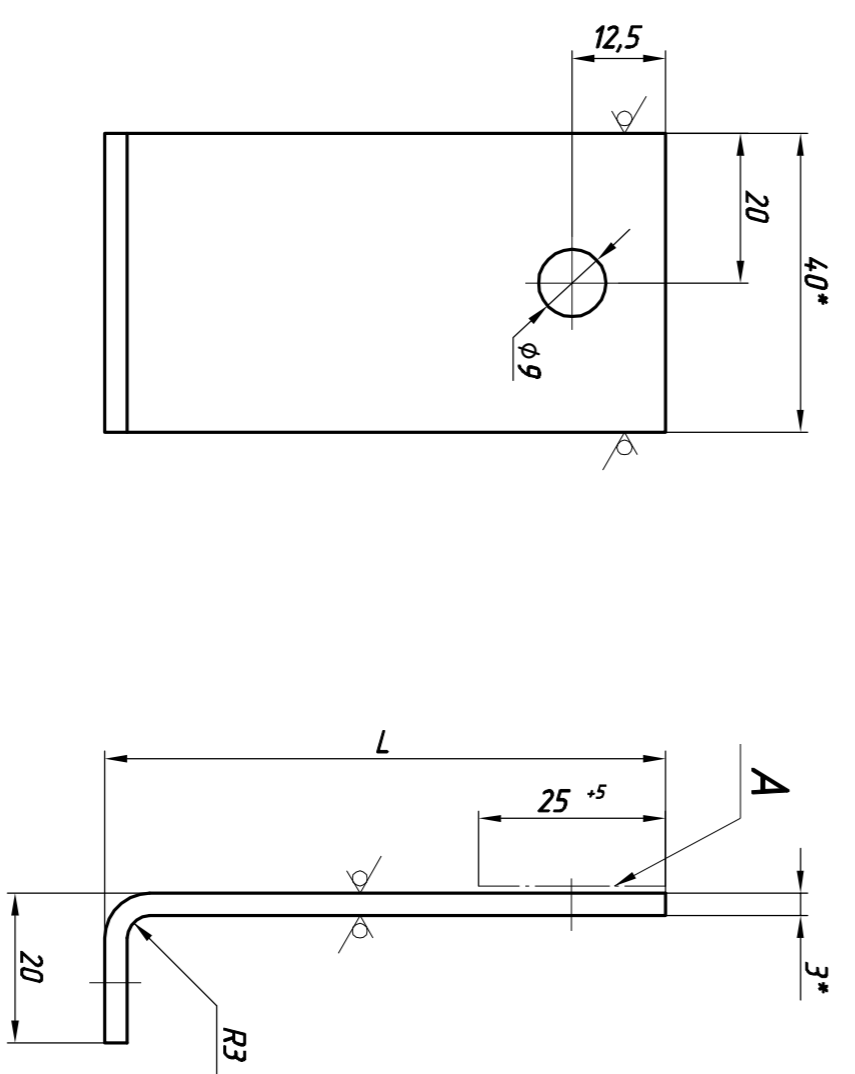
ТЕП-2500/660

Перв. застосування

ГКЮ.656121.001

ГКЮ.745215.001

Rz160 (✓)



Таблиця 1

Обзначення	L, мм	Маса, кг
ГКЮ.745215.001	75	0,031
-01	50	0,025

- 1 \* Розміри для монтажу.
- 2 Ніч, ніч, зІТЧ/2
- 3 Поверхня - ЦІХР

Зм. Дж.	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Білянко			01	0,031	1:1
Перев.	Андрієнко					
Т. констр.						
Н. констр.						
Замб.						

ГКЮ.745215.001

Шина

Шина АДЗІТТ ЗК40х6000  
ГОСТ 15178-89

Формат А3

Лист	Маса	Масштаб
01	0,031	1:1

Е-412М

Інд. № ор.

Підп. і дата

Зам. інд. №

Інд. № дубл.

Підп. і дата

Довідковий. №

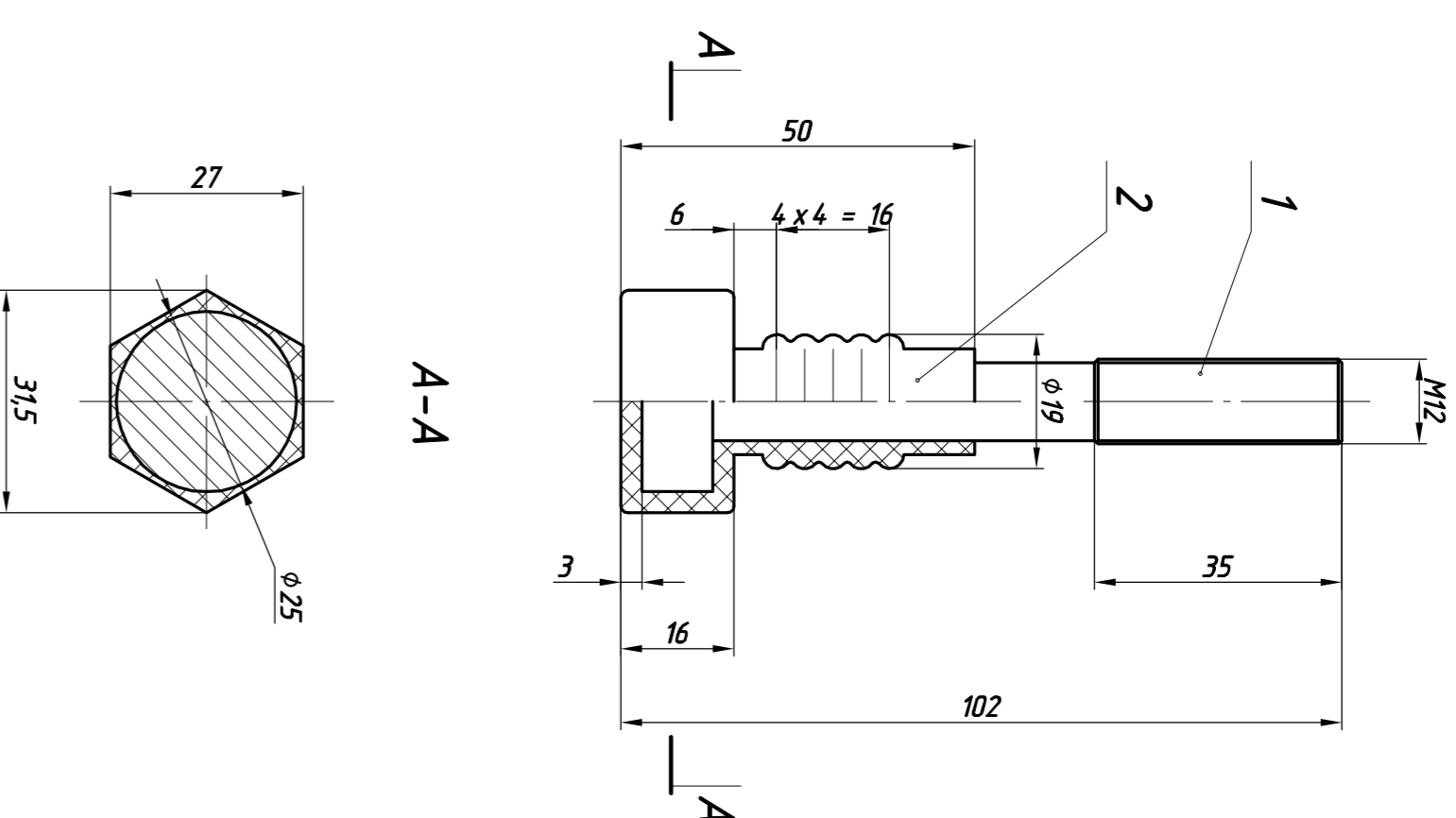
ТЕП-2500/660

Перв. застосування

ГКЮ.656121.001

СБ 10011910С.001

Rz160 (✓)



- 1 \* Розміри для монтажу.
- 2 Ніч, ніч, зІТЧ/2
- 3 Ліфарні угли не більше 1°
- 4 Граници, склади та відшліфлення не допускати.

Зм. Дж.	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Білянко			01	0,141	1:1
Перев.	Андрієнко					
Т. констр.						
Н. констр.						
Замб.						

ГКЮ.301611.001 СБ

Болт

Складальне креслення

ГОСТ 2500-88  
ГОСТ 535-88

Формат А3

Лист	Маса	Масштаб
01	0,141	1:1

Е-813М

Довідковий. №

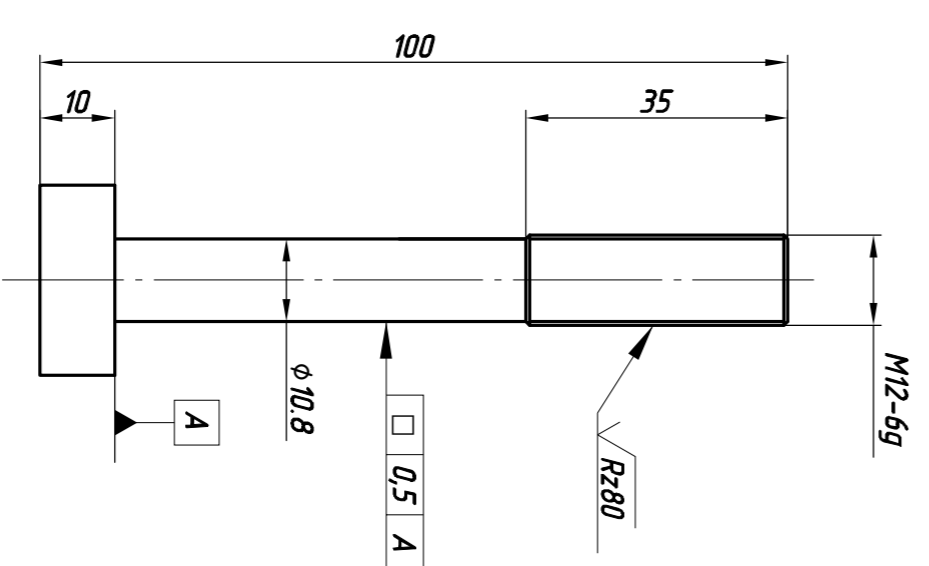
ТЕП-2500/660

Перв. застосування

ГКЮ.301611.001

100112185L.001

Rz160 (✓)



- 1 \* Розміри для монтажу.
- 2 Ніч, ніч, зІТЧ/2
- 3 Поверхня - ЦІХР
- 4 Задіржки та гострі кромки не допускати.

Зм. Дж.	№ докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Білянко			01	0,13	1:1
Перев.	Андрієнко					
Т. констр.						
Н. констр.						
Замб.						

ГКЮ.758121.001

Болт

Круг 25-8-Н ГОСТ 2500-88  
Спальс І-Н ГОСТ 535-88

Формат А3

Лист	Маса	Масштаб
01	0,13	1:1

Е-813М

Інд. № ор.

Підп. і дата

Зам. інд. №

Інд. № дубл.

Підп. і дата

Довідковий. №

ТЕП-2500/660

Перв. застосування

ГКЮ.656121.001

Інд. № ор.	Підп. і дата	Зам. інд. №	Інд. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**СК**  
**ГКІЮ.685526.002**

**Рис. 3**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.685526.002-02	0,20	
-03	3	0,42
-04		0,48

Продовження таблиці 1

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:2
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Інд. № ор.	Підп. і дата	Зам. інд. №	Інд. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**СК**  
**ГКІЮ.745228.003**

**Рис. 1**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.745228.003	94	65
-01	110	91
		0,041
		0,32

Продовження таблиці 1

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:1
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Інд. № ор.	Підп. і дата	Зам. інд. №	Інд. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**СК**  
**ГКІЮ.685526.002**

**Рис. 1**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.685526.002	1	0,33
-01	2	0,46

Продовження таблиці див. фрк. 2

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:2
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Інд. № ор.	Підп. і дата	Зам. інд. №	Інд. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**СК**  
**ГКІЮ.685526.002**

**Рис. 2**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.685526.002	3	0,42
-04		0,48

Продовження таблиці 1

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:2
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Інд. № ор.	Підп. і дата	Зам. інд. №	Інд. № дубл.	Підп. і дата
------------	--------------	-------------	--------------	--------------

**СК**  
**ГКІЮ.745228.003**

**Рис. 1**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.745228.003	94	65
-01	110	91
		0,041
		0,32

Продовження таблиці 1

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:1
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Довідковий №	Перв. застосування
ТЕП-2500/660	ГКІЮ.685526.002

**СК**  
**ГКІЮ.685526.002**

**Рис. 1**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.685526.002	1	0,33
-01	2	0,46

Продовження таблиці див. фрк. 2

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:2
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Довідковий №	Перв. застосування
ТЕП-2500/660	ГКІЮ.654473.001

**СК**  
**ГКІЮ.685526.002**

**Рис. 2**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.685526.002	3	0,42
-04		0,48

Продовження таблиці 1

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:2
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Кіл. на викон.	ГКІЮ.685526.002							
01	02	03	04	05	06	07	08	09

**СК**  
**ГКІЮ.685526.002**

**Рис. 2**  
Інше відб. рис. 1

Обозначение	Рис.	Маса, кг
ГКІЮ.685526.002	3	0,42
-04		0,48

Продовження таблиці 1

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Білязницький		
Перев.	Андрієнко		
Т. контр.			
Н. контр.			
Затв.			

**Шина**  
**Складальне креслення**

Лист	Маса	Масштаб
01	Дубль таблиці 1	1:2
Архивна		<b>E-813M</b>

Формат А3

Зм. Док.	№ докум.	Підп.	Дата

