

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІЩЕНКО МИХАЙЛО ГРИГОРОВИЧ



УДК 621.9

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТУ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ
ДЕТАЛЕЙ ТУРБОАГРЕГАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРТАТИВНИХ
ВЕРСТАТІВ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Пермяков Олександр Анатолійович
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри технології машинобудування
та металорізальних верстатів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Васильченко Яна Василівна,
Донбаська державна машинобудівна академія,
м.Краматорськ, завідувач кафедри комп'ютеризованих
мехатронних систем, інструментів та технологій;

кандидат технічних наук, доцент
Коноплянченко Євген Владиславович,
Сумський національний аграрний університет,
доцент кафедри технічного сервісу.

Захист відбудеться «14» травня 2021 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «14» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ніна ЗУБКОВА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Каскад гідроелектростанцій, гребель і водосховищ, існуючий на р.Дніпро в Україні, являє собою одну з найкрупніших гідросистем світу. Загальна встановлена потужність восьми гідроелектростанцій складає 3981,6 МВт (94 гідроагрегати). Середній вік енергетичної інфраструктури в даний момент перевищує 40 років. Для того щоб гарантувати безпечну експлуатацію, довготривалу надійність і генеруючу потужність, основні об'єкти ГЕС повинні пройти серйозну модернізацію та ремонт. Такі роботи також зменшать кількість незапланованих простоїв і знизять витрати на технічне обслуговування та позапланові ремонти.

Модернізації підлягають основні вузли такі як робоче колесо, вал турбіни, деталі закладних частин, вузли регулювання турбіни, окремі вузли направляючого апарату. Найчастіше ремонт габаритного обладнання має на увазі виконання операції механічної обробки з точністю, недосяжною при використанні ручного інструменту.

Недоцільність, а іноді і технічна неможливість демонтажу великогабаритних деталей унеможлиблює їх поточний ремонт в умовах заводу. У цьому випадку ефективним і єдино можливим є використання мобільного портативного технологічного обладнання для механічної обробки відновлених і приєднувальних поверхонь недемонтуємих великогабаритних деталей і вузлів турбоагрегатів.

Мобільні верстати дозволяють виконувати ті ж роботи, що й стаціонарні, з двома лише відмінностями: не виріб доставляється до верстата, а верстат доставляється до оброблюваного виробу; не виріб монтується на верстаті, а верстат монтується безпосередньо на оброблюваному виробі, який виконує функцію несучої системи верстата. Мобільність створює унікальні можливості економії часу і коштів при ремонті важкого обладнання, габаритних виробів. Мобільні верстати дозволяють виконувати операції механічної обробки в дуже обмеженому просторі.

Відсутність практичних рекомендацій для вирішення актуального науково-технічного завдання забезпечення якості та зниження трудомісткості операцій механічної обробки при ремонті недемонтуємих деталей турбоагрегатів вимагала проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язане з науковою тематикою кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ». Дисертаційна робота проводилася відповідно до визначених пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2020 року Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та відповідає Енергетичній стратегії України до 2035р. з продовження експлуатації діючих енергоблоків ГЕС. Робота виконана в рамках завдань, що вирішувалися АТ «Турбоатом» по програмі участі у модернізації обладнання ГЕС Дніпровського каскаду України за програмою ЄБРР і ЄІБ.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є забезпечення якості та зниження трудомісткості операцій механічної обробки при ремонті недемонтуємих деталей турбоагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій.

Для досягнення мети в роботі поставлені наступні **задачі**:

- провести системний аналіз проблеми обробки великогабаритних деталей під час ремонту та модернізації турбоагрегатів, теорії та практики забезпечення якості та зниження трудомісткості обробки, конструктивних і технологічних особливостей портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій;

- виконати аналіз технологічних властивостей великогабаритних недемонтуємих деталей гідроагрегатів, методів і обладнання для механічної обробки, що забезпечують стабільну якість і знижують трудомісткість ремонту за місцем служби агрегату;

- дослідити можливості впровадження методів механічної обробки великогабаритних недемонтуємих деталей гідроагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій;

- виконати синтез компоновок і відпрацювання раціональних конструкцій уніфікованих вузлів і агрегатів портативних мобільних металорізальних верстатів для реалізації ремонту під час модернізації турбоагрегатів в умовах ГЕС;

- розробити технологічні рекомендації по реалізації операцій механічної обробки недемонтуємих деталей гідроагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій;

- впровадити результати досліджень і рекомендації у практику ремонту та модернізації турбоагрегатів ГЕС Дніпровського каскаду України.

Об'єкт дослідження—технологічний процес ремонту великогабаритних недемонтуємих деталей турбоагрегатів.

Предмет дослідження—закономірності операцій механічної обробки великогабаритних недемонтуємих деталей турбоагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій, синтез компоновок і відпрацювання раціональних конструкцій уніфікованих вузлів і агрегатів для забезпечення необхідних параметрів точності.

Методи дослідження. На основі системного аналізу досліджено проблему забезпечення якості та зниження трудомісткості операцій механічної обробки при ремонті недемонтуємих деталей турбоагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології машинобудування, теорії формоутворення та основ формування точності й якості поверхонь деталей машин, теорій компоновок технологічного металорізального обладнання, теоретичної механіки, опору матеріалів, теорії математичного та комп'ютерного моделювання. Достовірність розроблених

теоретичних положень перевірено шляхом лабораторно-промислових випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі системного аналізу закономірностей операцій механічної обробки при ремонті великогабаритних деталей турбоагрегатів розроблений і запропонований новий підхід до забезпечення якості та зниження трудомісткості обробки недемонтуємих деталей турбоагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій в умовах станції. Для цього:

- сформульована і теоретично обґрунтована гіпотеза про можливість обробки великогабаритних деталей турбоагрегатів під час ремонту та модернізації за місцем їх служби портативними мобільними металорізальними верстатами як основи зниження трудомісткості, забезпечення якості та точності, недосяжних при використанні ручного інструменту;

- отримала подальший розвиток теорія компоновок технологічного металорізального обладнання на основі агрегатно-модульного принципу побудови портативних верстатів та опису їх конструкції структурними формулами.

- удосконалено компоувальні схеми портативних верстатів та конструкції уніфікованих вузлів з використанням пневматичного приводу замість електромеханічного за вимогами безпечної експлуатації в умовах стацій;

- вперше на основі аналізу підходів до статичного розрахунку шпindelних вузлів запропонована розрахункова схема, математична модель і проведено статичний аналіз багатоопорного шпindelного вала мобільного розточувального верстата, для кількох варіантів розрахункових схем шпindelного вала проведена оцінка згинальної жорсткості, розрахунок згинальних переміщень (прогинів і кутів повороту) в робочому режимі і оцінка міцності;

- досліджено можливості впровадження методів механічної обробки великогабаритних недемонтуємих деталей гідроагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій на деяких станціях Дніпровського каскаду.

Практичне значення отриманих результатів для технології машинобудування полягає у розробці методів механічної обробки і обладнання, що забезпечують стабільну якість і знижують трудомісткість ремонту великогабаритних недемонтуємих деталей за місцем служби агрегату. Запропоновано конструкції уніфікованих силових агрегатів та вузлів з використанням пневматичного приводу замість електромеханічного, які дозволяють компоувати мобільні верстати для різних технологічних завдань з механічної обробки деталей турбоагрегатів в умовах стацій.

За результатами наукових розробок отримано патент на корисну модель «Спосіб установки трубок у конденсаторі» (№122172 від 08.10.2018 р.), подано дві заявки на отримання патенту на корисну модель: «Спосіб забезпечення

щільності горизонтального роз'єму великорозмірних діафрагм парових турбін великої потужності» (подано на розгляд 2020 р.), «Спосіб збирання модулів корпусу конденсатора парової турбіни великої потужності» (подано на розгляд 2020 р.). Розроблені і впроваджені у виробництво практичні рекомендації з використання наукових розробок на АТ «Турбоатом» (м.Харків), «Днепр-Спецгидроенергомонтаж» (м.Київ), «Канев-СГЭМ» (м.Канів), «Днепродзержинск-СГЭМ» (м.Кам'янське), Светловодск-СГЭМ, (м.Світловодськ). Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХП».

Особистий внесок здобувача. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Серед них: обґрунтовано і розроблено підхід до забезпечення якості та зниження трудомісткості обробки великогабаритних недемонтуємих деталей турбоагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій в умовах станції; удосконалено компоновальні схеми портативних верстатів та конструкції уніфікованих вузлів з використанням пневматичного приводу замість електромеханічного за вимогами безпечної експлуатації в умовах стацій; проведено статичний аналіз та дослідження багатоопорного шпindelного вала мобільного розточувального верстата; запропоновано та реалізовано компоновальні схеми портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій для механічної обробки великогабаритних недемонтуємих деталей гідроагрегатів на деяких ГЕС Дніпровського каскаду;

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й одержали позитивну оцінку на Міжнародних конференціях: «Високі технології: тенденції розвитку» (Україна, м. Одеса, 2015 р.); «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництва (МОМ-2017)» (Україна, м. Чернігів, 2017 р.); «Прогресивні технології в машинобудуванні» (Україна, м. Львів 2018 р.); «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2018)» (Україна, м. Чернігів, 2018р.); «Сучасні технології промислового комплексу – 2020», (Україна, м. Херсон, 2020 р.); «Нові технології в машинобудуванні» (Україна, Коблево, 2020 р.).

Дисертаційна робота у повному обсязі доповідалась, обговорювалась та отримала позитивну оцінку на розширеному засіданні наукового семінару кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХП».

Публікації. Основні положення дисертації знайшли своє відображення в 17 наукових працях, серед яких 7 статей у провідних фахових виданнях України, 1 стаття в іноземному виданні, 1 патент України, 8 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 199 сторінки машинописного тексту, включаючи 59 рисунків, 25 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

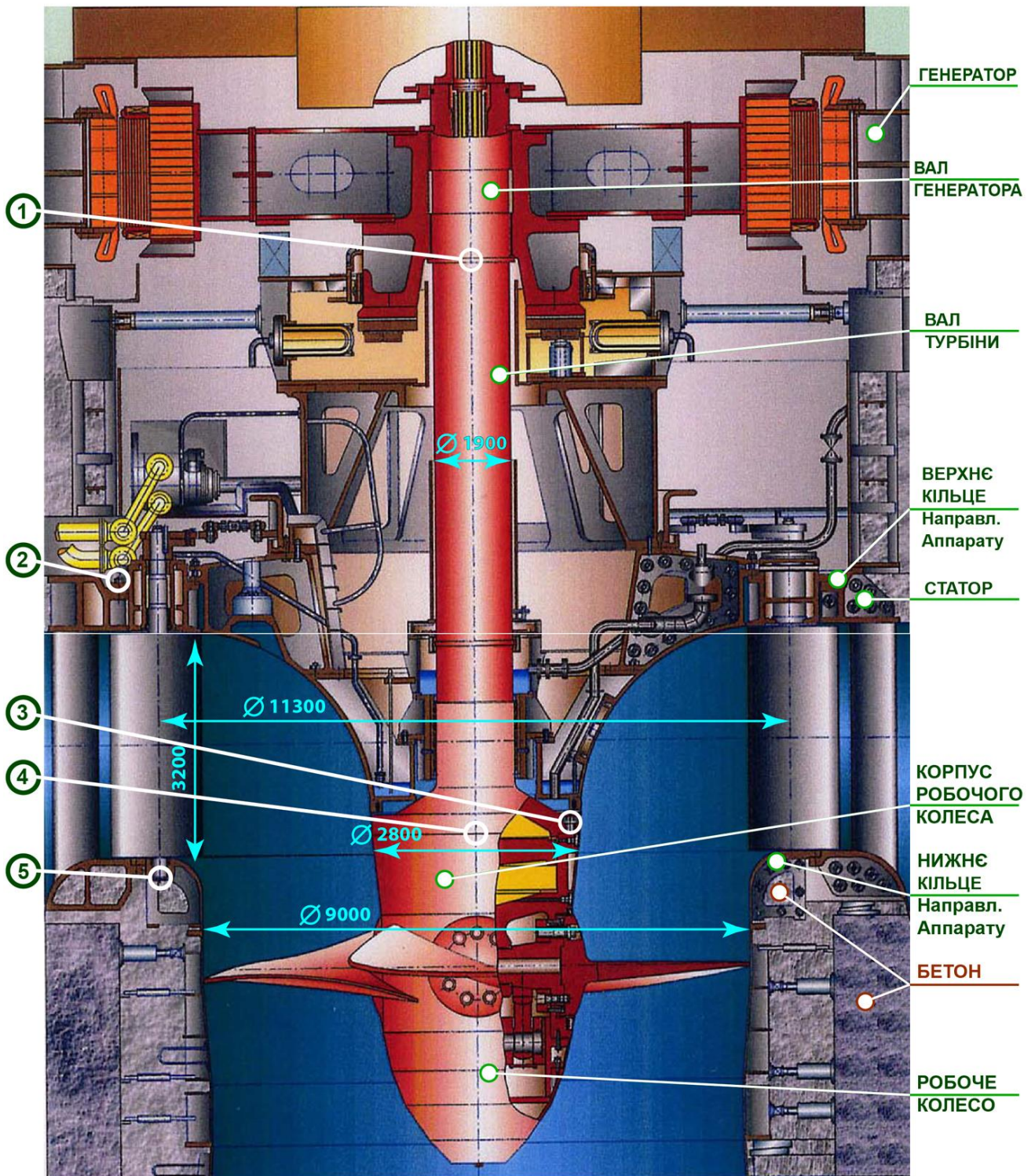
У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету й завдання дослідження, наведено його наукову новизну й практичну цінність.

В першому розділі аналізуються організаційно-технологічні задачі, які потрібно вирішувати при модернізації турбінного обладнання безпосередньо за місцем встановлення агрегату.

Середній вік енергетичної інфраструктури в даний момент перевищує 40 років. Для того щоб гарантувати безпечну експлуатацію, довготривалу надійність і генеруючу потужність, основні об'єкти ГЕС повинні пройти серйозну реконструкцію. В останні роки значно скоротилося будівництво нових великих енергетичних об'єктів не лише в Україні, а і в інших країнах. В той же час у гідроенергетиці все більше проявляється тенденція до реконструкції та технічного переоснащення діючих електростанцій. Цей напрямок у багатьох випадках розглядається як пріоритетний, оскільки дозволяє здобути позитивні результати за значно менших витрат (капітальні витрати в 2-3 рази нижчі, ніж за нового будівництва). У 2015р. за Програмою модернізації, що фінансується Європейським банком реконструкції та розвитку та Європейським інвестиційним банком, передбачено реконструкцію та підвищення потужності ГЕС Дніпровського каскаду: 3 агрегати Київської ГАЕС, 7 агрегатів Канівської ГЕС, 2 агрегати Дніпровської ГЕС-2, 2 агрегати Середньодніпровської ГЕС, 2 агрегати Кременчуцької ГЕС.

В роботі наведено типову конструкцію турбоагрегату типу «Каплан» (рис.1) та вузли турбіни, які потребують специфічного підходу при проведенні ремонту, а саме модернізації за місцем їх встановлення та доробки вузлів після збирання у проектне положення лінії турбоагрегату. Маршрутна технологія ремонту вузлів гідроагрегату типу «Каплан» показана на прикладі Кременчуцької ГЕС. Як правило, модернізація силового обладнання зачіпає основні робочі органи турбіни — робоче колесо, вал турбіни, вал генератора, направляючий апарат, частину механізмів турбіни, статор, камеру робочого колеса. Заміна статора, нижнього кільця направляючого апарату під час модернізації пов'язана з об'єктивними труднощами (забетоновані конструкції) і, як правило, виконується їх ремонт на електростанції. Також, після робіт на заводі, виготовлені деталі (робоче колесо, вал турбіни, вал генератора) повертаються на монтаж та після збирання у проектне положення потребують сумісної доробки. Отвори фланцевого з'єднання повинні збігатися з високою точністю під установку кріплення лінії валу агрегату. Для виконання технологічних операцій механічної обробки доцільно використовувати портативні металорізальні верстати, скомпоновані та спроектовані за агрегатно-модульним принципом.

Мобільні верстати дозволяють виконувати ті ж роботи, що й стаціонарні, з двома лише відмінностями: не виріб доставляється до верстата, а верстат доставляється до оброблюваного виробу. Не виріб монтується на верстаті, а верстат монтується безпосередньо на оброблюваному виробі.



1. Обробка отворів фланцевого з'єднання Вал турбіни-Вал генератора ($\text{Ø}90 \div \text{Ø}170$).
2. Обробка опорних поверхонь статора турбіни під верхнє кільце ($\text{Ø}6800 \div \text{Ø}9300$).
3. Обробка отворів фланцевого з'єднання Вал турбіни-Корпус робочого колеса ($\text{Ø}120 \div \text{Ø}180$).
4. Обробка радіальних отворів з'єднання Вал турбіни-Корпус робочого колеса ($\text{Ø}140 \div \text{Ø}170$).
5. Обробка западшнур ущільнювача в нижньому кільці направляючого апарату.

Рисунок 1 – Поздовжній розріз гідроагрегата типу «Каплан» із зазначенням місць необхідної механічної обробки деталей при ремонті і монтажі

Агрегатно-модульний принцип побудови портативного обладнання передбачає поділ конструкції на уніфіковані вузли (модулі), зібрані разом в єдину конструкцію. Це дозволяє досягти необхідної гнучкості і значно скоротити терміни і вартість проектування та виробництва даного обладнання.

Завдяки роботам Н.С.Ачеркана, В.І.Дікушіна, В.А.Кудінова, В.Т.Портмана, А.С.Пронікова, Д.Н.Решетова, А.А.Федотенка та інших видатних учених загальна теорія конструювання металорізальних верстатів і систем набула значного розвитку. Значним внеском у розвиток теорії компоновок верстатів є роботи Х.Гёбеля, Ю.Д.Врагова, Ю.М.Кузнецова та інших видатних учених. Огляд існуючої літератури та публікацій показав, що не існує єдиної всеохоплюючої теорії компоновок для портативних металорізальних верстатів. Актуальною залишається задача систематизації компоновок новостворюваного мобільного портативного технологічного обладнання з метою типізації компоновальних схем і подальшої уніфікації верстатів агрегатно-модульної конструкції для механічної обробки великогабаритних виробів.

У другому розділі виконано аналіз сучасних портативних мобільних верстатів для обробки деталей при модернізації по місцю роботи агрегату.

Традиційно, роботи по ремонту в умовах електростанції виконуються слюсарним способом з використанням ручного інструменту. Обробку деталей доцільно механізувати.

У роботі наведено маршрутні технології виконання робіт по доробці деталей в умовах електростанції. Проаналізував цикли виконання робіт по «Базовому процесу» (доробка слюсарним способом з використанням ручного інструменту) та «Нового процесу» (доробка з механізацією робіт) бачимо по кожному вузлу скорочення циклу від 20 до 28 відсотків, що значно пришвидшує період проведення монтажу та пуску агрегату після модернізації. Заміна базових підходів з використанням слюсарних методів та ручного інструменту на механізовану обробку забезпечить скорочення часу на виконання робіт, підвищить якість та постійність результатів при обробці.

З використанням науково-технічної літератури та інформації з Інтернет проаналізовано питання наявності на ринку портативних верстатів різних світових фірм, такі як CLIMAX (США), MIRAGE Machines (Англія), «ARMATURA SERVICE» (Хорватія), METRONOM (Німеччина), SERCO (Німеччина) для різноманітних задач механічної обробки: розточування, фрезерування, точіння, свердлення. Розглянуті верстати структуровані по технологічним задачам за видами обробки. Аналізуючи існуючі портативні верстати можна зробити висновок, що вони призначені для широкого діапазону ремонтних робіт, але для вирішення всіх задач при модернізації ГЕС Дніпровського каскаду немає необхідного варіанту.

У третьому розділі розглянуто питання проектування силових агрегатів, як елементної бази портативних мобільних верстатів агрегатно-модульної конструкції для виконання технологічних операцій механічної обробки великогабаритних деталей турбоагрегатів.

Для виконання задач по фрезеруванню, точінню, розточуванню,

свердленню, зенкеруванню, розгортанню були спроектовані та виготовлені силові агрегати. Одним з основних силових агрегатів є машина пневматична реверсна ХТ7809-0527 (рис.2). Технічні характеристики машини: номінальна потужність - 1,76 кВт; частота обертання шпинделя на холостому ході – 280 об/хв, при номінальній потужності – 160 об/хв.; номінальний тиск стисненого повітря – 5 атм; витрата стисненого повітря – $2\text{ м}^3/\text{хв}$; маса – 13,38 кг.

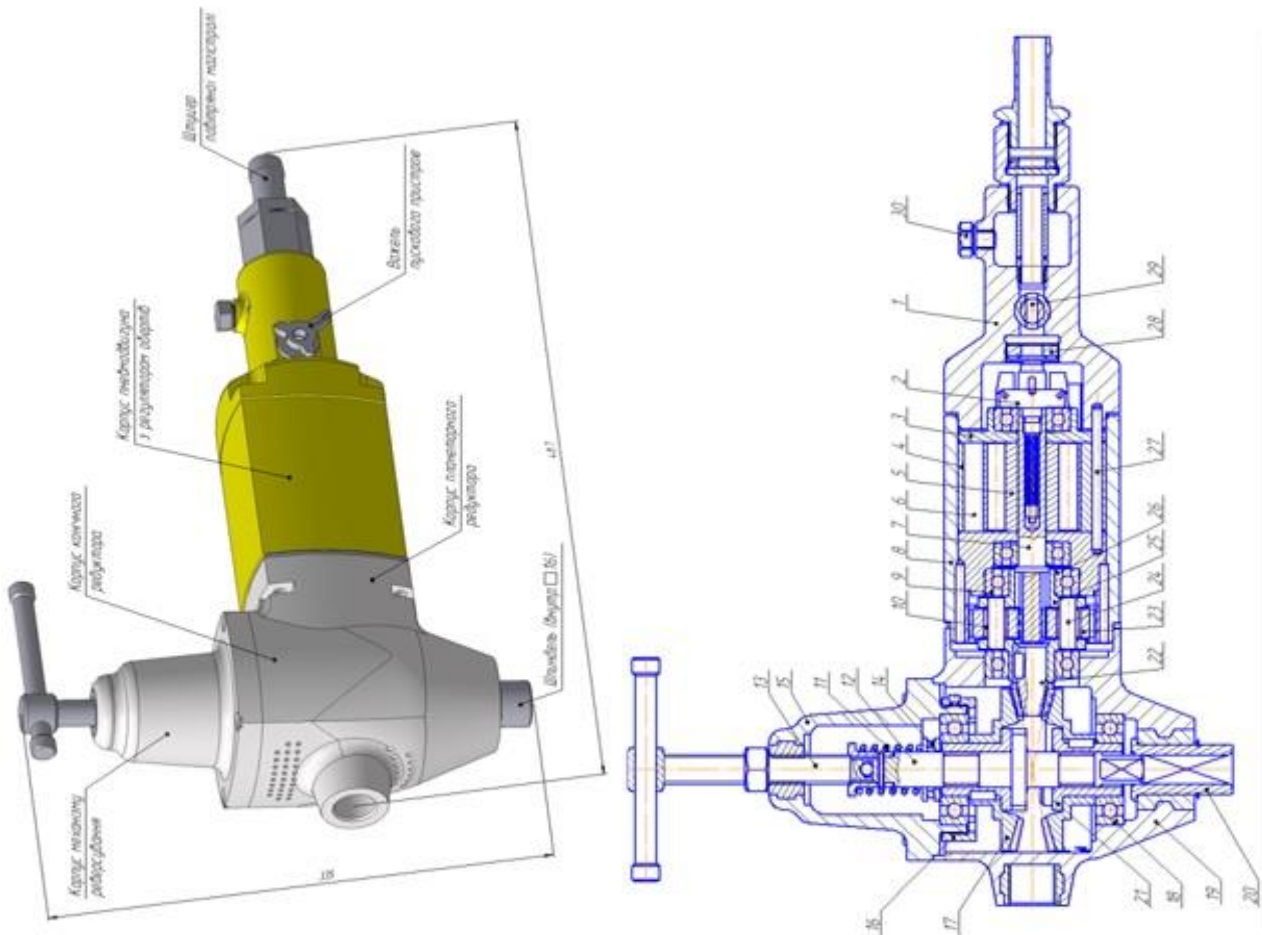


Рисунок 2 - 3Д зображення та поздовжній розріз приводної пневматичної реверсної машини ХТ 7809-0527

Даний агрегат застосовується в якості основного силового агрегату для компонування портативних верстатів по фрезеруванню пазів для ущільнюючих шнурів, а також в якості приводу у компоновках портативних верстатів для сумісної обробки фланцевих з'єднань великогабаритних деталей турбоагрегатів.

Машина пневматична реверсна є приводом силового агрегату машини ХТ7809-0524, яка є виконавчим механізмом портативних верстатів для обробки отворів фланцевих з'єднань (рис.3). Технічні характеристики машини: номінальна потужність - 2,7 кВт; частота обертання шпинделя макс. – 9,3 об/хв., номин. – 6,3 об/хв.; швидкість осьового переміщення шпинделя робоча – 0,48 мм/об, прискорена – 8 мм/об; маса – 43,23 кг. Машина має можливість роботи без осьової подачі, з осьовою подачею в «упор» і осьовою подачею в «відтягнення». Привод робочих елементів машини здійснюється через черв'ячну пару. Закріплення ріжучого інструмента виконується на шпиндельному валу. В

роботі наведено конструкцію, правила експлуатації та технічне обслуговування машин, заходи безпеки та зберігання.

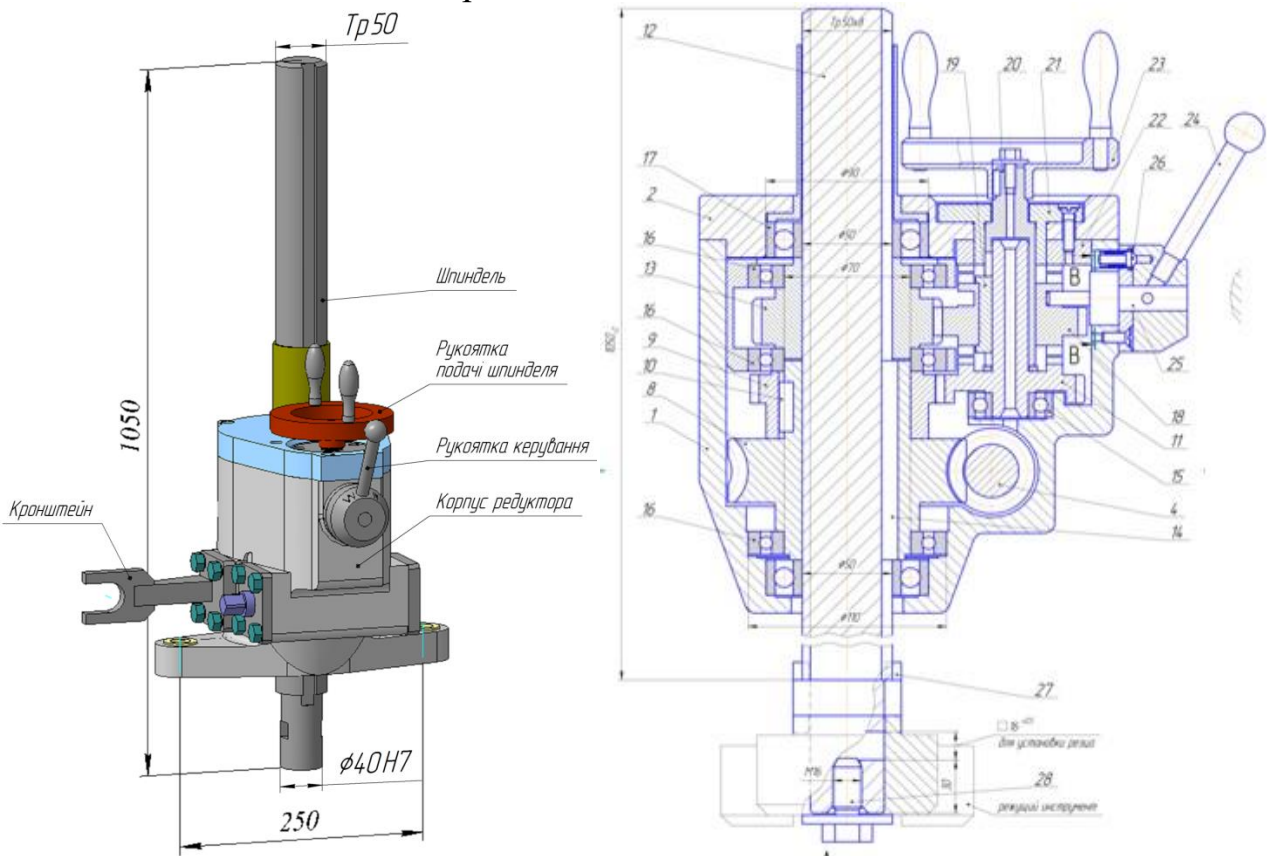


Рисунок 3 - 3Д зображення та поздовжній розріз машини ХТ 7809-0524

В роботі виконано статичний аналіз шпindelного вала портативної розточувальної машини ХТ7809-0524, призначеної для обробки отворів великого діаметру. Розточувальна машина призначена для спільної обробки осьових отворів діаметром від 90 до 180 мм по класу точності Н7 у фланцевих з'єднаннях валів, корпусів робочих коліс турбін.

Залежно від процесу обробки відповідний ріжучий інструмент (розточувальна головка, зенкер, розгортка) фіксується в передній частині шпindelного вала розточувальної машини. Робоче обертання шпindelя здійснюється за допомогою пневматичної машини-приводу. Осьове переміщення шпindelя в робочому режимі здійснюється в автоматичному режимі із заданою фіксованою швидкістю осьової подачі.

Для статичного аналізу шпindelний вал представляється у вигляді балки, що спирається на п'ять лінійно-пружних радіальних опор-підшипників і підкоряється моделі Тимошенко. Статичний аналіз проводився для максимального вильоту шпindelного вала (максимальної довжини консолі L_1).

Вихідними даними для розрахунків є значення зовнішніх зусиль F_{xpr} , F_{ypr} , F_{zpr} , F_{zx} , M_{xpr} , M_{zpr} , M_{zx} , модуль пружності E , модуль зсуву G , коефіцієнт форми перетину K_t , осьові моменти інерції I_x, I_y , полярний і осьові моменти опору $W_r = 2W_x$ і площа поперечного перерізу вала A , масиви довжин ділянок L_n і початкових значень жорсткостей опор $C_n, n=1,2,3,4,5$, номер $k-1=2$ опори і

координата $L_{k1} = L_{31}$ точки докладання зусиль, що діє з боку приводу.

Зусилля $F_{xpr}, F_{ypr}, F_{zpr}, M_{zpr}, M_{zr}$, діючі на вал з боку черв'ячного приводу, обчислювалися за відповідними залежностями. Стартові жорсткості пружних опор-підшипників вибиралися відповідно до графічними залежностями з літератури.

Зовнішні зусилля і фізичні і геометричні характеристики розрахункової схеми, необхідні для статичного аналізу шпindelного вала представлені в табл. 1 і 2. Довжина консолей і міжопорних відстаней наведені в табл. 3.

Таблиця 1 -Зовнішні зусилля

$F_{xpr}, \text{кН}$	$F_{ypr}, \text{кН}$	$F_{zpr}, \text{кН}$	$F_{zr}, \text{кН}$	$M_{xpr}, \text{Нм}$	$M_{zpr}, \text{Нм}$	$M_{zr}, \text{Нм}$
35,0	12,7	3,27	3,27	194,0	69,5	69,5

Таблиця 2 -Фізичні і геометричні характеристики

$E, \text{мПа}$	$G, \text{мПа}$	$A, \text{мм}^2$	$I_x = I_y, \text{мм}^4$	$W_r = 2W_x, \text{мм}^3$	K_t	$L_{k1}, \text{мм}$
$2,0 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	1960	$3,07 \cdot 10^5$	$2,46 \cdot 10^4$	1,3	62,7

Таблиця 3 -Довжина консолей і міжопорні відстані

$L_1, \text{мм}$	$L_6, \text{мм}$	$L_2, \text{мм}$	$L_3, \text{мм}$	$L_4, \text{мм}$	$L_5, \text{мм}$
780,5	130	18,7	103,7	46,7	21,5

Рішення завдання статичного аналізу здійснюється інтегрування диференціального рівняння зігнутої осі балки прямим методом початкових параметрів, який адаптований для багатоопорних валів на пружних опорах в середовищі пакета MatLAB. Для розрахункових схем шпindelного вала були вирішені наступні завдання статичного аналізу.

Завдання 1. Обчислення переміщень під поодинокими зусиллями $F_{yr}^* = 1$ и $M_{xr}^* = 1$ для типового розрахунку на жорсткість, яка полягає в тому, що обчислюються прогин (кут повороту) під зусиллями і визначаються рівні лінійної і кутовий жорсткості шпindelного вузла в зоні різання.

Завдання 2. Обчислення прогину під одиничним вигинаючим зусиллям з боку приводу $F_{xpr}^* = 1$, характеризує жорсткість шпindelного вала на міжопорній ділянці.

Завдання 3. Обчислення прогину і кутів повороту в зоні різання і на передній опорі під дією зусиль, що діють з боку приводу $F_{xpr}, F_{ypr}, M_{xpr}$ (Згинальні зусилля в зоні різання дорівнюють нулю), і оцінка жорсткості шпindelного вузла на робочому режимі.

Завдання 4. Обчислення внутрішніх зусиль (згинальних моментів, що крутять моментів, поздовжніх сил), що виникають на робочому режимі від дії зусиль $F_{xpr}, F_{ypr}, F_{zpr}, F_{zr}, M_{xpr}, M_{zpr}, M_{zr}$ і оцінка міцності шпindelного вала.

Завдання 3 вирішувалося для двох варіантів розрахункової схеми вала на робочому режимі. У варіанті 1 розглядалося визначення характерних переміщень для розрахункової схеми і проводилася оцінка жорсткості вала на робочому режимі. У варіанті 2 крайнє перетин (зона різання) пружно закріплювалася, що відповідає реальним умовам процесу розточування розточувальною головкою через упору на опрацьований матеріал, і вирішувалося таке ж завдання аналізу, як в першому варіанті. Результати розрахунків наведені в таблиці 4. У таблиці 5 представлені жорсткості опор, отримані при вирішенні задачі 3. У таблиці 6 наведені значення внутрішніх зусиль і $\sigma_{y\bar{a}a}$ в небезпечному перерізі.

На рис. 4 наведено розподіл прогинів шпіндельного вала при вигині в площині для варіантів 1, 2 завдання 3 і при стартових значеннях жорсткостей опор.

Таблиця 4 - Статичні переміщення вала на робочому режимі

№ варіанту	Прогин кінцевого перетину			Кут повороту кінцевого перетину		Кут повороту на передній опорі	
	$y_0, \text{мкм}$	$x_0, \text{мкм}$	$(x_0 + y_0)^{0,5}, \text{мкм}$	$\Theta_{x0}, \text{мин}$	$\Theta_{y0}, \text{мин}$	$\Theta_{x1}, \text{мин}$	$\Theta_{y1}, \text{мин}$
1	87,9	52,6	102,4	0,252	0,08	0,252	0,08
2	1,62	1,27	2,06	0,252	0,32	0,15	0,04

Таблиця 5 - Розрахункові жорсткості опор

Завдання 3	Жорсткості опор в площинах yoz та xoz , Н/мкм									
	C_1		C_2		C_3		C_4		C_5	
	Площина									
	yoz	xoz	yoz	xoz	yoz	xoz	yoz	xoz	yoz	xoz
Варіант 1	136	180	177	238	134	202	97	158	52	94
Варіант 2	113	170	162	240	148	203	127	160	81	95

Таблиця 6 - Внутрішні зусилля і еквівалентні напруги

Внутрішні зусилля в небезпечному перерізі					Еквівалентні напруги $\sigma_{y\bar{a}a}$ мПа
$M_x, \text{Нм}$	$M_y, \text{Нм}$	$M_{\bar{n}oi}, \text{Нм}$	$M_{\bar{e}}, \text{Нм}$	$N, \text{Н}$	
273	970	1008	69,5	3270	84

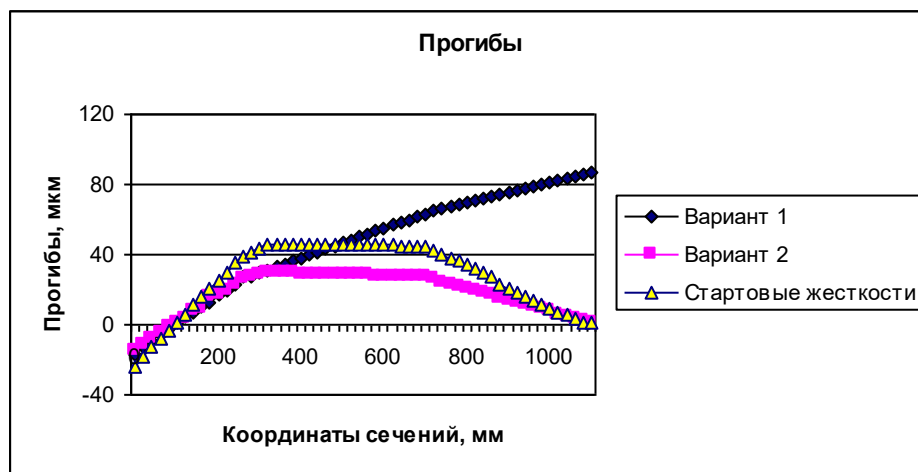


Рисунок 4 -Розподіл прогинів по довжині вала

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

- обчислення вигинистих переміщень під поодинокими зусиллями, прикладених в зоні різання, дозволило визначити рівні лінійної і кутової жорсткості шпиндельного вузла в зоні різання (таблиця 5). Через значний виліт шпиндельного вала його жорсткість мала ($0,965\text{Н/мкм}$), що значно нижче величини, рекомендованої для верстатного обладнання ($200\text{-}250\text{Н/мкм}$). Внаслідок цього, інструмент що застосовується (розточувальні головки, розгортки, зенкери) повинен мати періодично встановлені леза для мінімізації вигинаючих навантажень від сил різання;

- жорсткість шпиндельного вала на міжопорній ділянці 345Н/мкм відповідає загальноприйнятим нормам шпиндельних валів металообробних верстатів ($250\text{-}500\text{Н/мкм}$);

- у варіанті розрахункової схеми при пружному закріпленні вала в зоні різання, що відповідає реальним умовам деформування в процесі обробки (варіант 2 завдання 3), розрахункове значення відхилення кінцевого перерізу вала на робочому режимі в $2,06\text{мкм}$ здатна задовольняти вимоги щодо точності геометричної форми оброблюваних отворів ($2\text{-}3\text{мкм}$);

- кут повороту на робочому режимі на передній опорі (кут перекоосу) в $0,15\text{хвістотно}$ нижче, ніж значення в бхв, допустиме в верстатобудуванні;

- рівень максимальних напружень на робочому режимі (84МПа) є достатнім для забезпечення необхідного запасу міцності шпиндельного вала;

- застосування нелінійної моделі для розрахунку жорсткостей опор-підшипників дає істотне уточнення рішення задачі статичного аналізу для розглянутого шпиндельного вала (до 50%).

У четвертому розділі виконано систематизацію компонувань портативних мобільних верстатів на основі агрегатного-модульного принципу з використанням розробленої елементної бази силових агрегатів.

Для вирішення задачі по ремонту недемонтуемого нижнього кільця направляючого апарату Середньодніпровської ГЕС, Кременчуцької ГЕС був створений портативний верстат для обробки пазу під шнур ущільнення.

Технічні вимоги до пазу під шнур ущільнювача в нижньому кільці

направляючого апарату наведено на рисунку 5. Нижнє кільце має внутрішній діаметр $\varnothing 8000\text{мм}$, зовнішній діаметр $\varnothing 11600\text{мм}$, знаходиться на глибині 12000мм у шахті турбіни.

На рисунку 6 зображено мобільний портативний верстат. В ньому використовуються два уніфікованих силових пневматичних агрегати ХТ7809-0527 та базові елементи позиціонування.

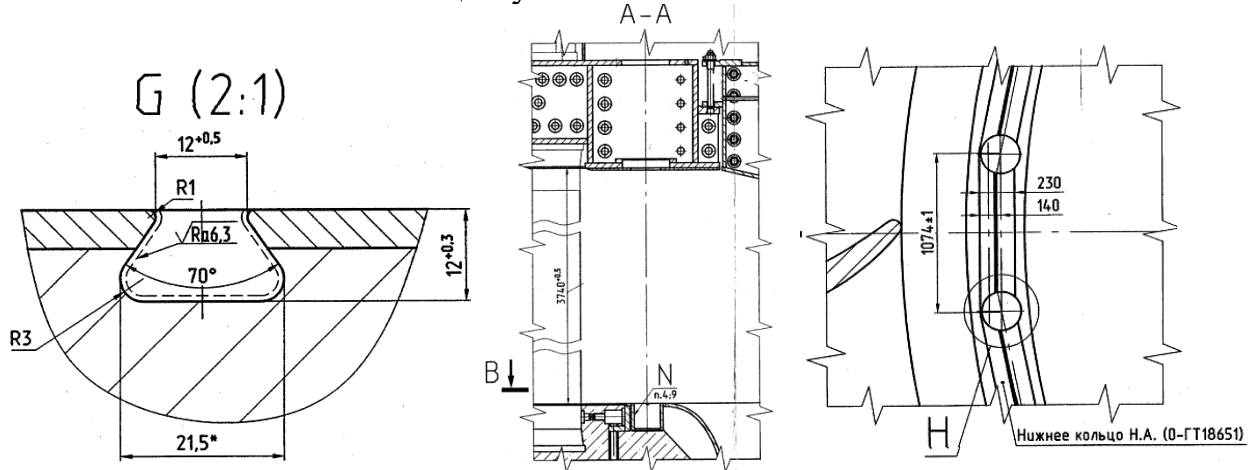


Рисунок 5 – Технічні вимоги до пазу під шнур

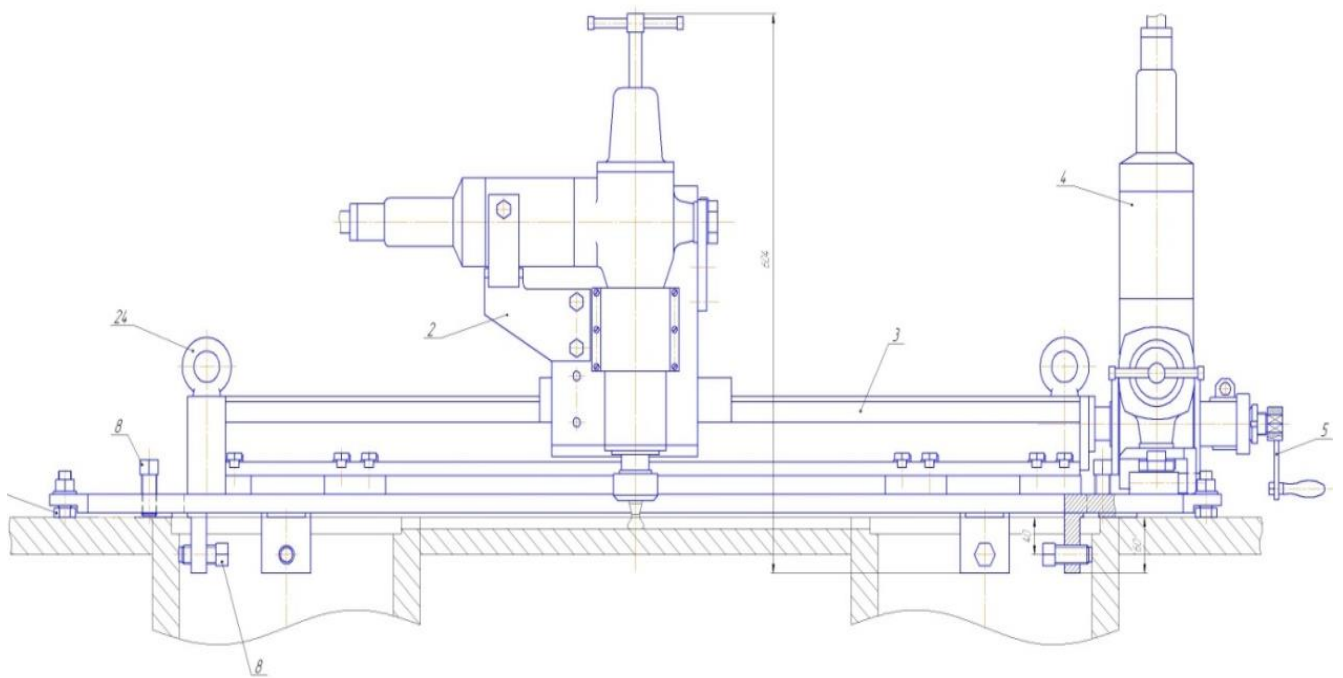


Рисунок 6 – Мобільний портативний верстат для фрезерування

Структурна формула верстата OXZCv. Верстат складається з опори поз.1, фрезерної головки поз.2 (що включає пристрій вертикальної подачі), механізму горизонтальної подачі поз.3, приводу горизонтальної подачі поз.4. Пристосування укомплектовано деталями для розмітки осі паза, оснащенням для центрування фрези по осі паза, набором ріжучого та вимірювального інструменту. Габаритні розміри - $1680 \times 614 \times 812\text{мм}$, вага в зборі - 273 кг .

Для вирішення задачі по сумісній обробці фланцевого з'єднанні валу генератора і валу турбіни гідроагрегата після збирання у проектне положення лінії агрегату на Середньодніпровській ГЕС, Кременчуцької ГЕС був створений портативний верстат. Технічні вимоги до отворів фланцевого з'єднання Валу турбіни та Валу генератора наведено на рис.7. Фланцеве з'єднання діаметр $\text{Ø}2000\text{мм}$, знаходиться на глибині 3000мм у шахті турбіни. Спільній обробці підлягають 9 осевих отворів $\text{Ø}140\text{H}7\text{мм}$. У верстаті використовуються уніфіковані агрегати - силова машина ХТ7809-0524, машина для пневматичного приводу ХТ7809-0527 та базові елементи позиціонування (рис. 8).

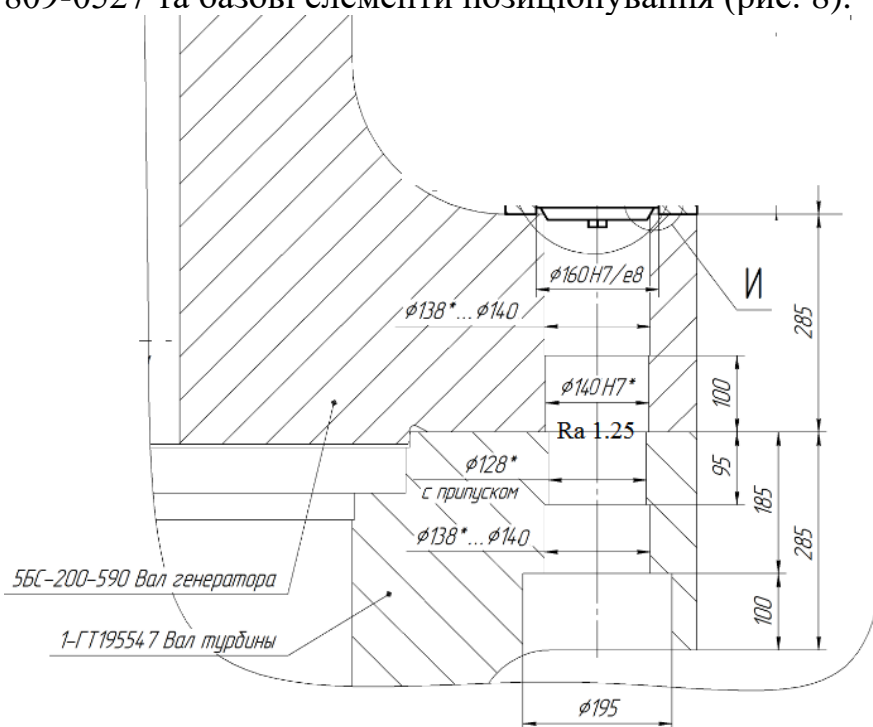


Рисунок 7 - Технічні вимоги до отворів у Валу турбіни та Валу генератора

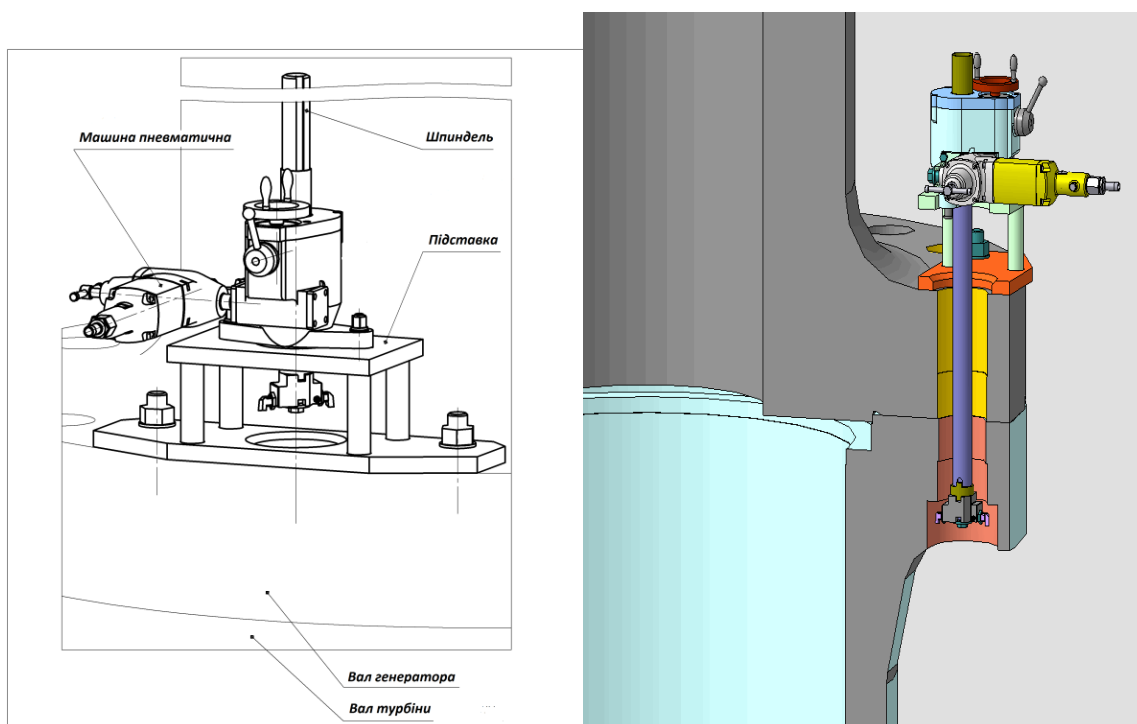


Рисунок 8 – Мобільний портативний верстат для розточування

Структурна формула верстата OZCv. Верстат складається з підставки поз.1, розточувальної машини поз.2 (що включає пристрій вертикальної подачі), привода пневматичного поз.3 Верстат укомплектовано оснащенням для центрування шпинделя по осі отвору, набором ріжучого та вимірювального інструменту. Габаритні розміри - 760x250x1150мм, вага в зборі - 162 кг.

Для вирішення задачі по сумісній обробці отворів під радіальні шпонки у з'єднанні корпусу робочого колеса та валу турбіни гідроагрегата після збирання у проектне положення лінії агрегату на Середньодніпровській ГЕС, Кременчуцької ГЕС був створений портативний верстат агрегатно-модульної конструкції.

Технічні вимоги до отворів з'єднання з'єднання Валу турбіни та Корпусу робочого колеса наведено на рис.9.

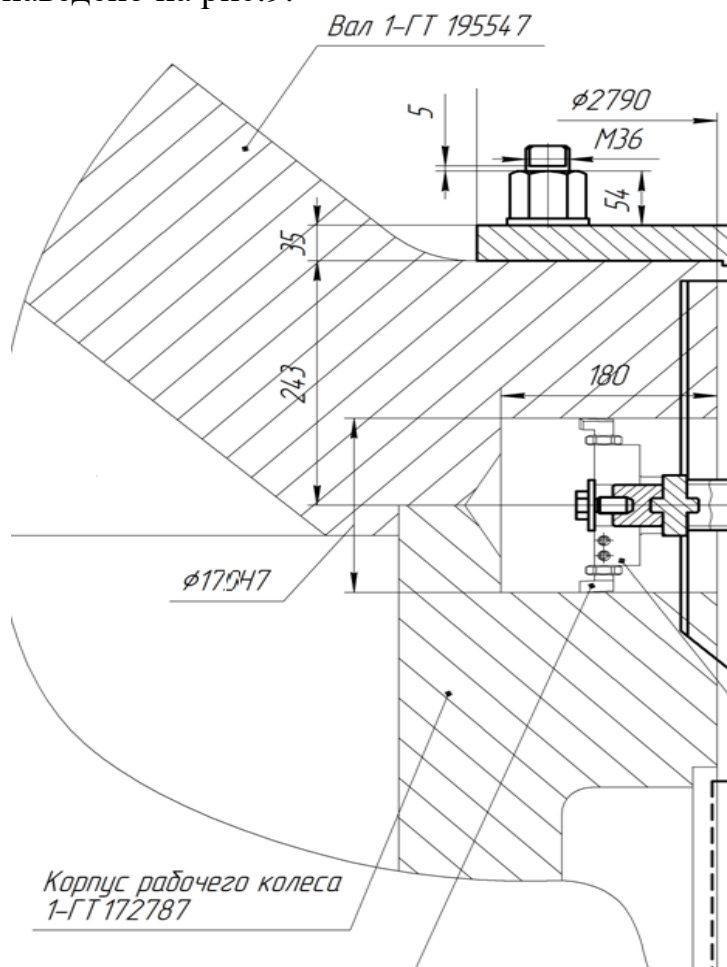


Рисунок 9 - Технічні вимоги до отворів у Корпусі РК та Валу турбіни

Фланцеве з'єднання Валу турбіни та Корпусу робочого колеса має діаметр $\phi 2790$ мм, знаходиться на глибині 9000мм у шахті турбіни. Спільній обробці підлягають 6 радіальних отворів $\phi 170H7$ мм. Верстат скомпоновано та виготовлено на основі агрегатно-модульного принципу. В ньому використовуються уніфіковані агрегати - силова ріжуча машина ХТ7809-0524, машина для пневматичного приводу ХТ7809-0527 та базові елементи позиціонування (рис. 10).

Структурна формула верстата OZCv. Верстат складається з підставки

поз.1, розточувальної машини поз.2 (що включає пристрій вертикальної подачі), приводом пневматичним поз.3 Верстат укомплектовано оснащенням для центрування шпинделя по осі отвору, набором ріжучого та вимірювального інструменту. Габаритні розміри - 740x600x1150мм, вага в зборі - 182 кг.

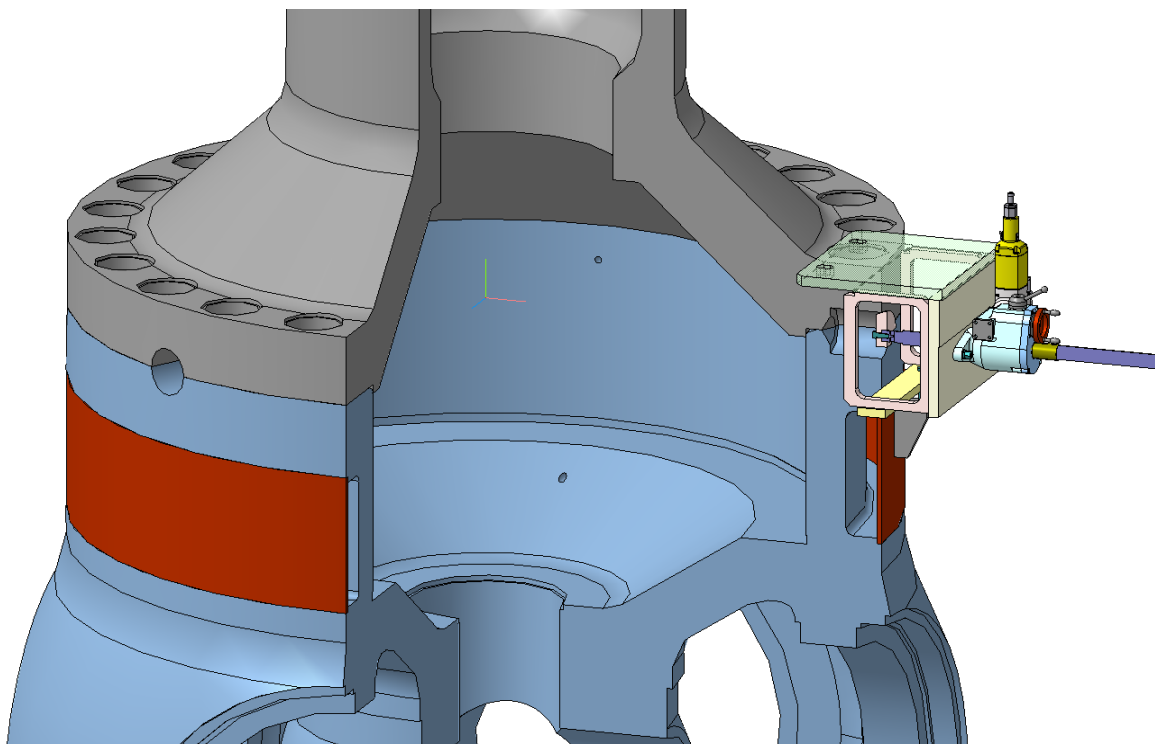


Рисунок 10 – Мобільний портативний верстат для розточування

У п'ятому розділі розглянуто компоновки створеного за результатами досліджень технологічного металорізального обладнання на основі агрегатно-модульного принципу побудови портативних верстатів та опис їх конструкції для обробки деталей турбоагрегатів на електричних станціях.

На рис.11 зображено мобільний портативний верстат для обробки 16 дренажних отворів $\text{Ø}177\text{H}11$ мм у крайніх трубних дошках конденсатора а турбіни К-1000-60/3000 Южно-Української АЕС. В ньому використовується модуль портативного верстата на магнітній підшві МАВ 825. Структурна формула верстата OZCv.

Роботи проводяться в передній камері конденсатора, в дуже обмеженому робочому просторі. Діаметр лазерного люка для потрапляння в камеру $\text{Ø}450$ мм, робочий простір в камері від трубної дошки до стінки камери 1100×1750 мм. Матеріал трубної дошки для обробки - аустенітна сталь TP316L, товщина $S=30$ мм.

На рис.12 зображено мобільний портативний верстат для обробки 8 отворів $\text{Ø}30\text{H}7$ в циліндрі і корпусі робочого колеса Лардж ГЕС (Індія). В ньому використовується модуль портативного верстата на магнітній підшві МАВ 825. Структурна формула верстата OZCv. Матеріал робочого колеса – аустенітна сталь SA6NM, матеріал циліндра – сталь 20. Діаметр робочого колеса $\text{Ø}2630$ мм, вага 21тн, діаметр Циліндра $\text{Ø}830$ мм, вага 870кг.

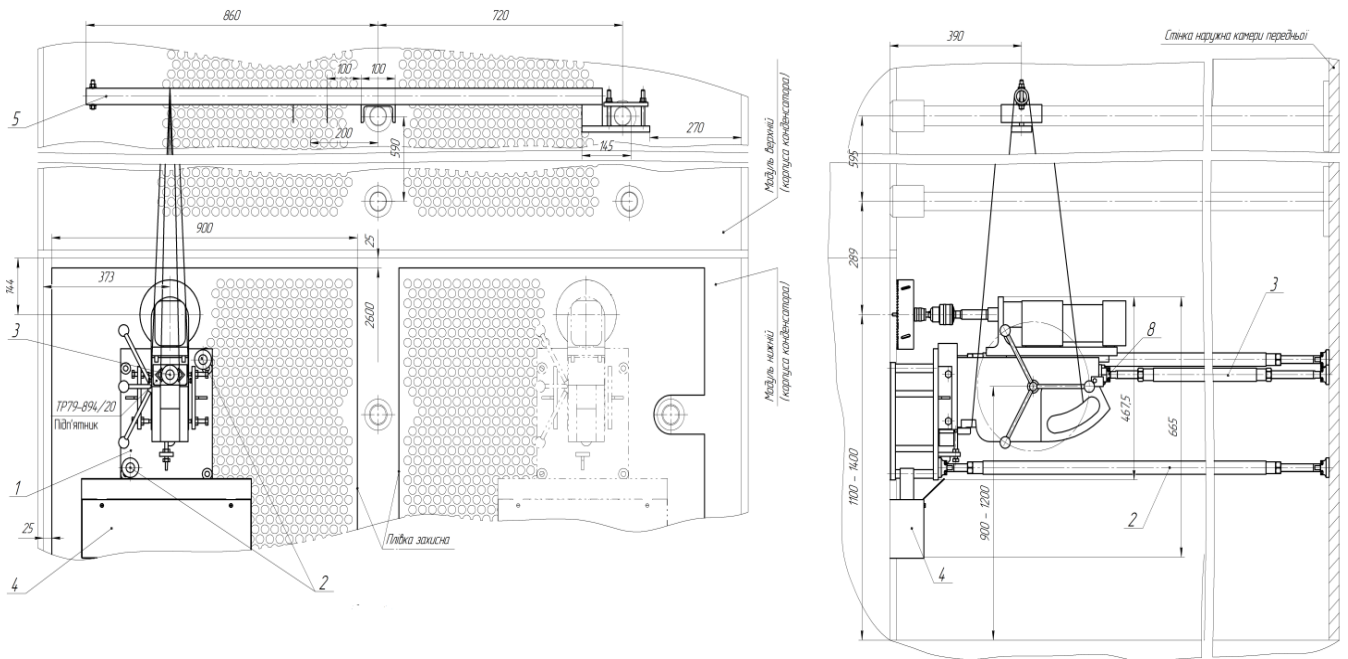


Рисунок 11 – Мобільний портативний верстат для свердлення

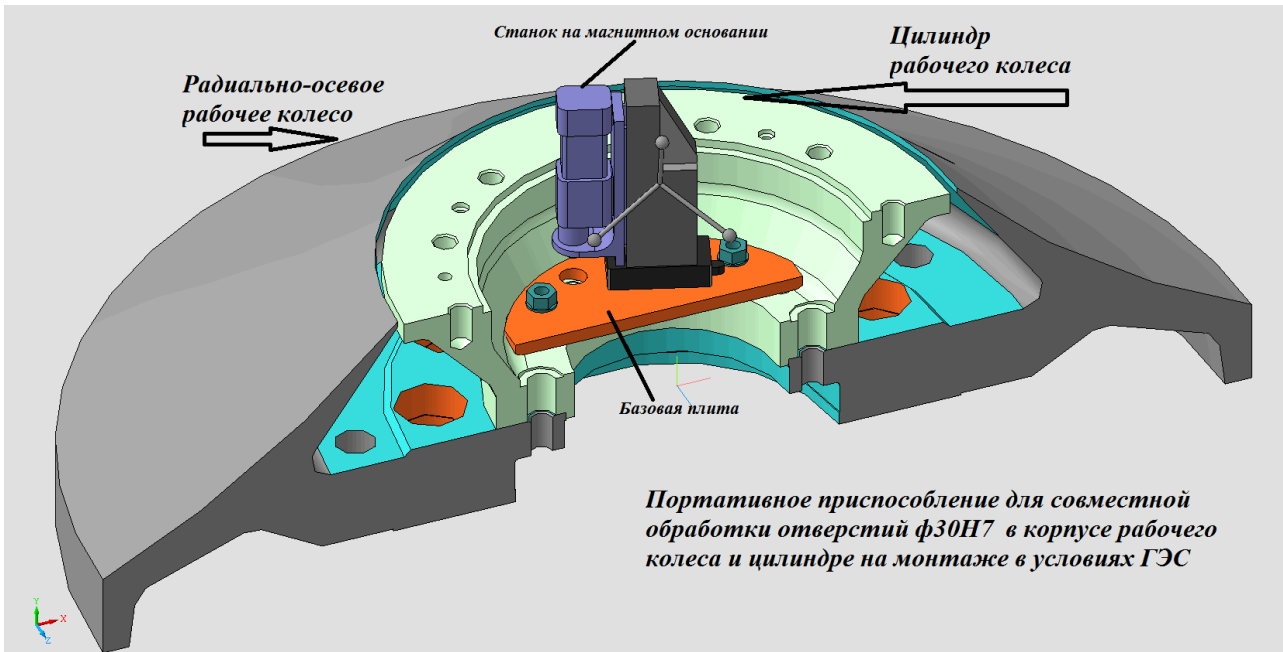


Рисунок 12 – Мобільний портативний верстат для свердлення

Для вирішення задачі з сумісної обробки отворів $\varnothing 95H7$ в валу проміжному та валу генератора турбіни К-1000-60/1500 на Южно-Українській АЕС був створений портативний верстат. У верстаті використовуються уніфіковані агрегати - силова ріжуча машина ХТ7809-0524, машина для пневматичного привода ХТ7809-0527 та базові елементи позиціонування (рис. 13). Фланцеве з'єднання Валу проміжного та Валу генератора має діаметр $\varnothing 1510\text{мм}$, спільній обробці підлягають 21 осьових отворів $\varnothing 95H7\text{мм}$.

Структурна формула верстата OZCv. Верстат складається з підставки поз.1, розточувальної машини поз.2 (що включає пристрій вертикальної подачі), привода пневматичного поз.3. Верстат укомплектовано оснащенням для

центрування шпинделя по осі отвору, набором ріжучого та вимірювального інструменту. Габаритні розміри - 660x150x1150мм, вага в зборі - 98 кг.

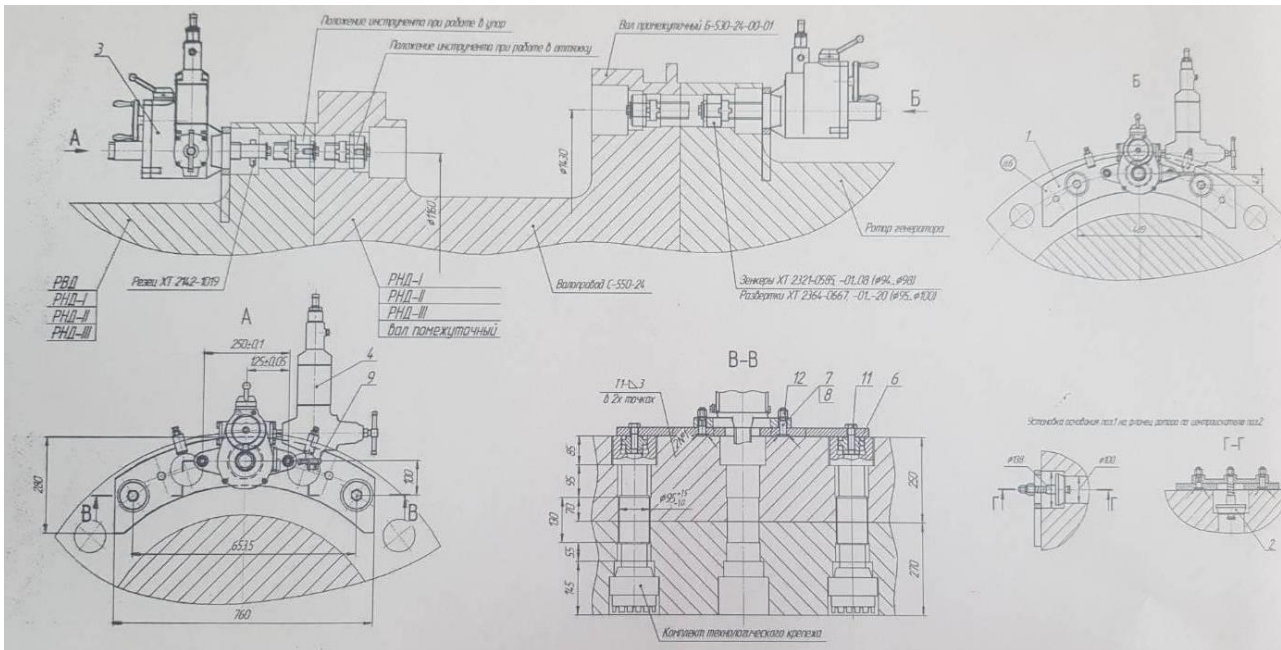


Рисунок 13 – Мобільний портативний верстат для розточування

Для вирішення задачі по ремонту недемонтуємого статора Кременчуцької ГЕС був створений портативний верстат (рис. 14). На обробленій поверхні потрібно забезпечити площинність 0,15мм, шорсткість Ra6,3мкм. Статор має внутрішній діаметр Ø8400мм, зовнішній діаметр Ø11900мм, знаходиться на глибині 12 000мм у шахті турбіни. Структурна формула верстата OXZCvY. В ньому використовуються уніфіковані агрегати - силова ріжуча машина ХТ7809-0524, машина для пневматичного привода ХТ7809-0527, консоль для кругової обробки, тяговий механізм з пневмоприводом ХТ7809-0527 та базові елементи позиціонування. Верстат складається з опори поз.1, фрезерної головки поз.2 (що включає пристрій вертикальної подачі), тягового механізму кругової подачі поз.3, траверси поз.4 кріплення фрезерної головки. Пристосування укомплектовано деталями для центрування фрези по осі обробки, набором ріжучого та вимірювального інструменту. Габаритні розміри під механічну обробку – зовнішній діаметр Ø8440, внутрішній діаметр під позиціонування Ø7545, вага в зборі - 4370 кг.

За результатами розробок та систематизації компонок створено каталог портативних верстатів, який висвітлює досвід їх розробки для вирішення завдань з технологічного забезпечення механічної обробки великогабаритних деталей турбоагрегатів під час ремонту і модернізації та може бути використаний надалі для вибору прототипів та поповнення новими конструкціями. В якості класифікаційних ознак використовується кількість формотворчих рухів, положення шпиндельного вузла у просторі, вид обробки, структурна формула компоновки.

У додатку наведений патент на корисну модель та каталог портативних верстатів.

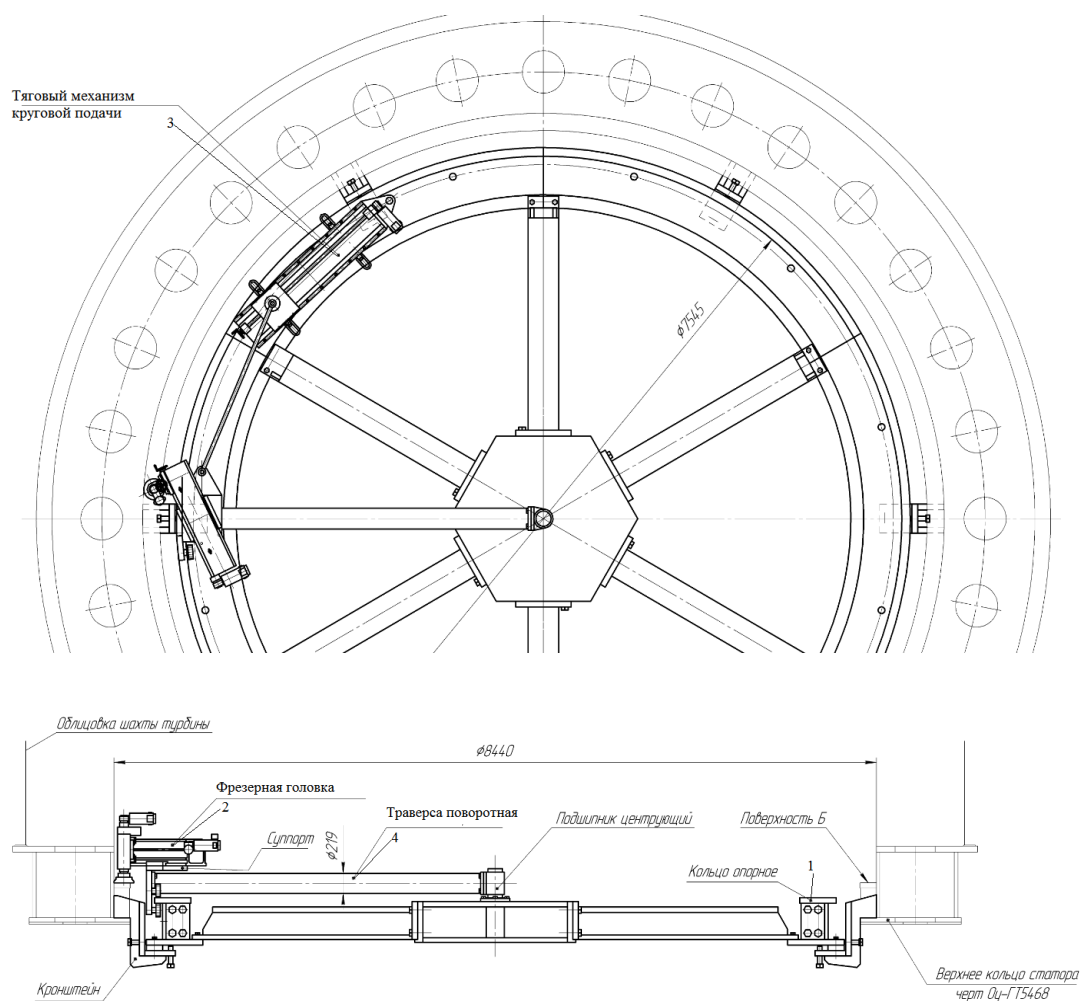


Рисунок 14 – Мобільний портативний верстат для кругового точіння

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-технічна задача забезпечення якості та зниження трудомісткості операцій механічної обробки при ремонті недемонтуємих деталей турбоагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій.

1. На основі системного аналізу проблеми забезпечення якості та зниження трудомісткості обробки великогабаритних деталей під час ремонту та модернізації турбоагрегатів встановлено, що ефективним і єдино можливим підходом є використання мобільного портативного технологічного обладнання агрегатно-модульної конструкції для механічної обробки відновлених і приєднувальних поверхонь недемонтуємих великогабаритних деталей і вузлів за місцем служби агрегату.

2. Аналіз технологічних властивостей гідроагрегатів типу «Каплан» при ремонті і монтажі із зазначенням місць необхідної механічної обробки великогабаритних недемонтуємих деталей показав необхідність заміни базових підходів з використанням слюсарних методів та ручного інструменту на механізовану обробку портативними верстатами агрегатно-модульної конструкції.

3. Аналіз існуючих на ринку портативних верстатів різних світових фірм, такі як CLIMAX (США), MIRAGE Machines (Англія), «ARMATURA SERVICE» (Хорватія), METRONOM (Німеччина), SERCO (Німеччина) показав, що за технологічним завданням за видами обробки при ремонті недемонтуємих деталей турбоагрегатів вони не можуть в повній мірі задовольнити за своїми технологічними параметрами, типорозмірам або рівнем компактності (можливості роботи в обмеженому просторі турбоагрегатів). Це зумовило проведення робіт з проектування силових агрегатів і вузлів як елементної бази створення нових компоновань мобільних верстатів придатних для задоволення вимог по ремонту деталей турбоагрегатів в умовах станції.

4. Відпрацьовано раціональні конструкції уніфікованих вузлів і агрегатів портативних мобільних металорізальних верстатів. Для виконання завдань по фрезеруванню, точінню, розточуванню, свердленню, зенкеруванню, розгортанню були спроектовані та виготовлені силові агрегати з використанням пневматичного приводу замість електромеханічного за вимогами безпечної експлуатації в умовах станцій, які стали елементною базою портативних мобільних верстатів агрегатного-модульної конструкції.

5. В роботі виконано статичний аналіз шпindelного вала розробленого силового агрегату. Для статичного аналізу шпindelний вал представлений у вигляді балки, що спирається на п'ять лінійно-пружних радіальних опор-підшипників і підкоряється моделі Тимошенко. Статичний аналіз проводився для максимального вильоту шпindelного вала. Рішення завдання статичного аналізу здійснюється інтегруванням диференціального рівняння зігнутої осі балки прямим методом початкових параметрів, який адаптований для багатоопорних валів на пружних опорах в середовищі пакета MatLAB. Аналіз отриманих результатів показав, що жорсткість шпindelного вала на межопорній ділянці відповідає загальноприйнятим нормам шпindelних валів металообробних верстатів, розрахункове значення відхилення кінцевого перерізу вала на робочому режимі здатна задовольняти вимоги щодо точності геометричної форми оброблюваних отворів, кут повороту на робочому режимі на передній опорі (кут перекошу) істотно нижче ніж значення допустиме в верстатобудуванні, рівень максимальних напружень на робочому режимі є достатнім для забезпечення необхідного запасу міцності шпindelного вала.

6. З використанням розроблених силових агрегатів виконано синтез компоновок мобільних верстатів та надано технологічні рекомендації по реалізації операцій механічної обробки недемонтуємих деталей гідроагрегатів з використанням цих верстатів. За результатами розробок та систематизації компоновань створено каталог портативних верстатів. В якості класифікаційних ознак використовується кількість формотворчих рухів, положення шпindelного вузла у просторі, вид обробки, структурна формула компоновки.

7. Результати досліджень і рекомендації впроваджено у практику ремонту та модернізації турбоагрегатів Середньодніпровської, Кременчуцької, Канівської, Лардж (Індія) ГЕС та Южно-Української АЕС. Результати дослідження використовуються в навчальному процесі НТУ «ХПІ».

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ЯКІ ОПУБЛІКОВАНО ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ищенко М.Г. Перспективные направления развития универсально-сборной, переналаживаемой технологической оснастки в современных условиях / М.Г. Ищенко, А.Я. Мовшович // *Машинобудування* : зб. наук. пр. – Харків: Укр. інж.-пед. акад. - 2010. - № 6. - С. 168-178.

Здобувач провів аналіз перспективних напрямків вдосконалення і розвитку універсально-збірної, переналагоджуваної технологічної оснастки у виробничих умовах.

2. Ищенко М.Г. Надежность системы универсально–сборочных приспособлений. Критерии надежности /А.Я. Мовшович, Г.И. Ищенко, М.Г. Ищенко //Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - 2013. - Вып. 59. - С. 147-152.

Здобувач виконав аналіз застосовності системи УСП у виробничих умовах.

3. Ищенко М.Г. Технологические возможности ПАО «Турбоатом» /Г.И. Ищенко, М.Г. Ищенко //Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Харків: НТУ "ХП", 2015. – Вип. 1 (25). – С.3-17.

Здобувач виконав аналіз виробничих можливостей з ремонту турбоагрегатів.

4. Ищенко М.Г. Технологическое обеспечение изготовления гидравлической турбины для Днестровской ГАЭС /Г.И. Ищенко, М.Г. Ищенко, А.В. Линник. Е.И. Сокол. А.Ю. Черкасский //Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 26 (1248). – С. 5–13.

Здобувач виконав аналіз методів та засобів механічної обробки гідрагрегатів.

5. Ищенко М.Г. Исследование эрозии поверхностного слоя лопаточной стали 15X11МФ при микроударном воздействии / В.А. Белоус, Г.И. Ищенко, М.Г. Ищенко и др. //Вопросы атомной науки и техники. — 2018. — № 2. — С. 119-124.

Здобувач виконав аналіз результатів дослідження у виробничих умовах.

6. Ищенко М.Г. Компоновки мобильных станков для ремонта недемонтируемых деталей и узлов турбоагрегатов /А.А. Пермяков, М.Г. Ищенко, Д.К. Шепелев //Резание и инструменты в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб./ – Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. –Вып. 88. С.166-171.

Здобувач виконав аналіз компоновок портативних верстатів.

7. EXPERIMENTAL STUDY OF THE MODEL COMPARTMENT OF THE LOW-PRESSURE CYLINDER OF K-320-240 TURBINES OF JSC “TURBOATOM” /Svitlana V. Alyokhina, Mykhailo H. Ishchenko, Liubov O. Slaston, Riza B. Sherfedinov //Journal of Mechanical Engineering J. of Mech. Eng., 2019, vol. 22, no. 4, pp. 6-11 (ISSN 2709-2984)

Здобувач виконав експериментальне вивчення модельного відділення циліндру у виробничих умовах.

8. Ищенко М.Г. Обработка великогабаритных деталей турбоагрегатів з використанням портативних верстатів /А.А. Пермяков, Г.И. Ищенко,

М.Г.Ищенко //Modern engineering and innovative technologies, Germany. – Вип.15. – 2021. – С.17-26. (ISSN 2567-5273)

Здобувач виконав аналіз технологічних властивостей великогабаритних недемонтуємих деталей гідроагрегатів.

9. Спосіб установки охолоджувальних трубок у конденсаторі турбіни великої потужності. Патент №122172 UA, МПК F28B 1/02 (2006.01), F28B 9/10 (2006.01) /В.Л. Швецов, О.М. Усс, Ю.Г. Пащенко, О.В. Вавілов, М.Г. Іщенко - №а2018 10029; заявл. 08.10.2018; опубл. 25.09.2020, Бюл. № 18.

Здобувачем запропоновано варіант установки охолоджувальних трубок при складанні турбіни.

10. Ищенко Г.И. Технологические возможности ПАО «Турбоатом» /Г.И. Ищенко, М.Г. Ищенко //Матеріали XXIII міжнародного науково-технічного семінару «Високі технології: тенденції розвитку», 7-12 вересня 2015 р., м.Одеса. - Харків: Вид-во «Курсор», НТУ «ХПІ», 2015 – С.93-95.

Здобувач виконав аналіз технологічного обладнання заводу.

11. Ищенко Г.И. О компонентике технологического оборудования для ремонта недемонтируемых узлов турбоагрегатов /А.А. Пермяков, М.Г. Ищенко, Д.К. Шепелев //Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництва (МOM-2017): матеріали тез доповідей XVII мм міжнародної науково-практичної конференції (м.Чернігів, 1-3 листопада 2017 р.): /Чернігівський національний технічний університет. – Чернігів: ЧНТУ, 2017. – С.43-44.

Здобувач виконав аналіз компоновок портативних верстатів.

12. Ищенко Г.И. Элементная база создания станков и систем агрегатно-модульной конструкции /А.А. Пермяков, М.Г. Ищенко //Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування» (11-12 травня 2017 р.). - Тернопіль:ТНТУ ім.Івана Пулюя. – 2017. – С.25-26.

Здобувач виконав аналіз елементної бази створення портативних верстатів.

13. Ищенко Г.И. Компоновка мобильных станков для ремонта недемонтируемых узлов турбоагрегатов /А.А. Пермяков, М.Г. Ищенко, Д.К. Шепелев //Матеріали VII міжнародної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні» (5-9 лютого 2018 р.). – Львов: НУ «Львівська політехніка». – 2018. – С.124-126

Здобувач виконав аналіз компоновок портативних верстатів.

14. Ищенко Г.И. Систематизация компоновки мобильного портативного технологического оборудования /А.А. Пермяков, М.Г. Ищенко, Д.К. Шепелев //Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2018) : матеріали тез доповідей VIII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів , 10–12травня 2018р.). – Чернігів : ЧНТУ, 2018. –Т.1. – С.61-62.

Здобувач виконав аналіз компоновок портативних верстатів.

15. Ищенко Г.И. Статический анализ шпиндельного вала мобильного расточного станка / В.Л. Хавин, А.Б. Киркач, А.А. Пермяков, М.Г. Ищенко, Д.К. Шепелев //Матеріали VI-ої Міжнародної науково-практичної конференції

«Сучасні технології промислового комплексу – 2020», випуск 6. – Херсон: ХНТУ, 2020. – С.336-338.

Здобувач виконав дослідження багатоопорного шпindelного вала у виробничих умовах

16. Ищенко Г.И. Ремонт великогабаритних деталей гідроагрегатів з використанням портативних верстатів агрегатно-модульні конструкції /А.А. Пермяков, М.Г. Ищенко //Матеріали ХХХ міжнародної конференції «Нові технології в машинобудуванні», 3-8 вересня 2020 р., Коблево. - Харків: НАУ ім. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2020. – С.90-91.

Здобувач виконав аналіз компоновок портативних верстатів.

17. Ищенко Г.И. Проектування портативних верстатів для модернізації і ремонту габаритних деталей. /І.Е. Яковенко, М.Г. Ищенко, Б.А. Балаян, В.Є. Логвін, О.О. Мілеєва // XIX ММНТК «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї –наука – виробництво», 25-26 листопада 2020р., м. Суми. - Суми: СумДУ, 2020. - с.144-145.

Здобувач запропонував компоновку портативного верстату для обробки великогабаритних деталей.

АНОТАЦІЇ

Ищенко М.Г. Технологічне забезпечення ремонту великогабаритних деталей турбоагрегатів з використанням портативних верстатів агрегатно-модульної конструкції. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2021.

Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною роботою, яка спрямована на розв'язання важливої науково-прикладної задачі - забезпечення якості та зниження трудомісткості операцій механічної обробки при ремонті великогабаритних недемонтуємих деталей турбоагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій. Проаналізовано та виконано синтез компоновок і відпрацювання раціональних конструкцій уніфікованих вузлів і агрегатів портативних металорізальних верстатів для реалізації проектів модернізації турбоагрегатів в умовах ГЕС. Отримала подальший розвиток теорія компоновок технологічного металорізального обладнання на основі агрегатно-модульного принципу побудови портативних верстатів та опису їх конструкції структурними формулами. На основі аналізу підходів до статичного розрахунку шпindelних вузлів запропонована розрахункова схема, математична модель і проведено статичний аналіз багатоопорного шпindelного вала мобільного розточувального верстата. Розроблені рекомендації по реалізації операцій механічної обробки деталей гідроагрегатів з використанням портативних мобільних металорізальних верстатів агрегатно-модульних конструкцій. Результати досліджень впроваджені у практику ремонту та модернізації турбоагрегатів для ГЕС Дніпровського каскаду.

Ключові слова: технологія ремонту, великогабаритна деталь, турбоагрегат, операція механічної обробки, портативний верстат, агрегатно-модульна конструкція.

Ищенко М.Г. Технологическое обеспечение ремонта крупногабаритных деталей турбоагрегатов с использованием портативных станков агрегатно-модульной конструкции. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - технология машиностроения. Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2021.

Диссертационная работа является завершенной научно-исследовательской работой, которая направлена на решение важной научно-прикладной задачи - обеспечение качества и снижение трудоемкости операций механической обработки при ремонте недемонтируемых деталей турбоагрегатов с использованием портативных мобильных металлорежущих станков агрегатно-модульных конструкций. Проанализирован и выполнен синтез компоновок и отработки рациональных конструкций унифицированных узлов и агрегатов портативных металлорежущих станков для реализации проектов модернизации турбоагрегатов в условиях ГЭС. Получила дальнейшее развитие теория компоновок технологического металлорежущего оборудования на основе агрегатно-модульного принципа построения портативных станков и описания их конструкции структурными формулами. На основе анализа подходов к статическому расчету шпиндельных узлов предложена расчетная схема, математическая модель и проведено статический анализ многоопорного шпиндельного вала мобильного расточного станка. Разработаны рекомендации по реализации операций механической обработки деталей гидроагрегатов с использованием портативных мобильных металлорежущих станков агрегатно-модульных конструкций. Результаты исследований внедрены в практику ремонта и модернизации турбоагрегатов для ГЭС Днепровского каскада.

Ключевые слова: технология ремонта, крупногабаритная деталь, турбоагрегат, операция механической обработки, портативный станок, агрегатно-модульная конструкция.

Ishchenko M.G. Technological support for repair of large-size parts of turbine sets with use of portable machine tools of aggregate-modular design. – As a manuscript.

Dissertation on competition of scientific degree of Candidate of Technical Sciences on degree 05.02.08 - technology of mechanical engineering. National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2021.

Dissertation is completed research work aimed at solving of important research-applied problem - quality assurance and reducing complexity of machining operations in repair of non-removable parts of turbine sets using portable mobile metal-cutting machine tools of aggregate-modular design. Analyzed and implemented synthesis of layouts and development of rational designs of unified units and sets of portable metal - cutting machines for realization of projects of modernization of

turbine sets in conditions of hydroelectric power plants. Theory of arrangements of technological metal-cutting equipment on the basis of aggregate-modular principle of design of portable machine tools and description of its design by structural formulas was further developed. Based on analysis of approaches to static calculation of spindle assemblies, calculation scheme, mathematical model are proposed and static analysis of multi-support spindle shaft of mobile boring machine is carried out. Recommendations for implementation of operations for machining parts of hydraulic units using portable mobile metal-cutting machine tools of aggregate-modular design have been developed. Research results are implemented in practice of repair and modernization of turbine sets of Dnieper HPPs chain.

Keywords: repair technology, large part, turbine unit, machining operation, portable machine, unit-modular design

Підписано до друку 09.04.2021 р. Формат 60x90/16. Папір Сору
Paper. Друк–ризографія. Гарнітура Таймс. Умов.друк.арк.0,9.
Обл.вид.арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. №21041201

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Містецтв, 3 літер Б-1
Тел.+38 067-91-93-922
www.modelist.in.ua