

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
Зав. кафедри Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)

(назва освітнього рівня)

тема проекту: **«Удосконалення та обґрунтування можливості виробничого процесу виробництва тракторних причепів, зорієнтованого на індивідуальне замовлення..»**

Виконав: студент 3 курсу, групи 31к -ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Чепкий Антон Олегович

(прізвище та ініціали)

Керівник канд. с-г наук, доцент

Головатюк Анатолій Анатолійович

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Освітня програма «Бакалавр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР
« ____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Чепкому Антону Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалення та обґрунтування можливості виробничого процесу виробництва тракторних причепів, зорієнтованого на індивідуальне замовлення..»

керівник проекту Головатюк Анатолій Анатолійович, канд. с-г наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 08 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/167

2. Строк подання студентом проекту 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Вступ. 1. Аналіз стану питання за темою дипломного проекту. 2. Теоретичні та/або експериментальні дослідження за темою дипломного проекту. 3. Охорона праці. 4 . Обґрунтування досягнутих результатів. Загальні висновки. Список використаних джерел.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року*КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН*

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025 р.	
2.	Розділ 1. Аналіз стану досліджуваного питання	19.11.2025 р.	
3.	Розділ 2. Експериментальні дослідження	18.12.2025 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026 р.	
5.	Розділ 4. Економічне обґрунтування проекту	09.03.2026 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026 р.	

Студент _____ Чепкий А. О.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Головатюк А.А.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ	7
1.1. Плазмове різання	7
1.2. Лазерне різання	8
1.3. Згинання листового металу	10
1.4. NC-технологія	10
1.5. Програмне забезпечення Perftech.Largo	11
2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1. Загальні відомості про підприємство,	12
2.2. Виробничий процес	12
3.4. Закуплені та виготовлені деталі тракторних причепів	14
2.3. Виробничі операції та планування виробництва	15
2.4. Лазерне різання на виробництві	16
2.5. Плазмове різання на виробництві	17
2.6. Згинання листового металу на виробництві	18
2.7. Приклад виготовлення переднього захисного крила для DURUS 3000. Розробка робочого креслення	19
2.8. Призначення виробничих операцій, Лазерне різання деталі.	20
2.9. Згинання деталі та фінальне оброблення	22
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	
3.1. Безпека при лазерному різанні	24
3.2. Безпека при плазмовому різанні	24
3.3. Безпека при роботі на гнучильному пресі	25
3.4. Загальні вимоги до охорони праці на виробництві	25
4. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	27
4.1. Ефективність застосованих технологій	27
4.2. Аналіз виробничого процесу та виявлені недоліки	27
4.3. Пропозиції щодо вдосконалення виробничого процесу	28
Висновки	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	32

ВСТУП

Сучасний світ характеризується надзвичайно стрімким технологічним розвитком. Впровадження передових технологій дозволяє виробникам підвищити ефективність, знизити собівартість і забезпечити конкурентоспроможність продукції на ринку. Підприємства змушені постійно адаптуватися до нових умов, обираючи технології, що відповідають як технічним, так і економічним вимогам. Невід'ємною складовою успіху є підготовка кваліфікованого персоналу, здатного ефективно застосовувати обрані технологічні рішення.

Поряд із технологічними чинниками важливу роль відіграє організаційна структура підприємства та налагоджена взаємодія між підрозділами. Сукупність цих факторів формує базу для виробництва якісної продукції. Водночас у сучасних умовах цього недостатньо: підприємство, яке прагне до стабільного розвитку, повинно активно взаємодіяти зі споживачами, враховувати їхні побажання та постійно вдосконалювати свою продукцію на основі отриманих відгуків.

Дана дипломна робота присвячена дослідженню виробничого процесу виготовлення тракторних причепів на підприємстві. У роботі описано структуру та функціонування підприємства, висвітлено технологічні методи обробки металу – лазерне та плазмове різання, згинання листового металу на верстатах із ЧПК, а також особливості роботи з програмним забезпеченням Perftech.Largo для управління виробничими процесами. Окремо розглянуто розробку нового виробу відповідно до вимог замовника.

Метою роботи є удосконалення та техніко-економічне обґрунтування виробничого процесу виготовлення тракторних причепів із орієнтацією на виконання індивідуальних замовлень споживачів шляхом аналізу сучасних технологій металооброблення, дослідження організації виробництва та розроблення пропозицій щодо підвищення гнучкості, ефективності та якості виготовлення продукції.

Завдання роботи

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- Провести аналіз сучасних технологій металооброблення, що застосовуються у виробництві тракторних причепів.
- Дослідити особливості застосування лазерного та плазмового різання листового металу, а також процесу згинання на верстатах із числовим програмним керуванням.
- Проаналізувати структуру та організацію виробничого процесу на підприємстві, що спеціалізується на виготовленні сільськогосподарської техніки.
- Дослідити технологічний процес виготовлення деталей тракторних причепів на прикладі конкретного виробу.
- Визначити основні недоліки існуючої організації виробничого процесу складання причепів.
- Розробити пропозиції щодо удосконалення виробничого процесу та підвищення його гнучкості для можливості виконання індивідуальних замовлень.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ

Сучасне металообробне виробництво базується на широкому спектрі технологій термічного та механічного оброблення матеріалів. У галузі виготовлення сільськогосподарської техніки, зокрема тракторних причепів, ключову роль відіграють лазерне та плазмове різання, а також згинання листового металу. Ці технології визначають якість кінцевої продукції, продуктивність виробництва та рівень матеріальних витрат.

1.1. Плазмове різання

Плазма – четвертий агрегатний стан речовини. Під дією значної кількості енергії газ переходить у стан іонізації, за якої між атомами вивільняються вільні електрони та іони, що кардинально змінює термічні та електричні властивості речовини.

Плазмове різання було розроблено на основі технології зварювання TIG. Фахівці лабораторії Union Carbide виявили, що зменшення діаметра газового сопла суттєво покращує характеристики дуги: дуга стає вузкою, а температура значно зростає. Внаслідок високої швидкості іонізованого та неіонізованого газу розплавлений метал видувасться із зони різання [1].

Для плазмового різання використовуються такі робочі гази:

- повітря та кисень – для конструкційних сталей (найпоширеніший варіант);
- азот – для кольорових металів та нержавіючих сталей;
- водень та вуглекислий газ – у спеціалізованих застосуваннях.

Залежно від розміру сопла та витрати газу розрізняють такі типи плазмотронів:

- мікроплазма (0,1–15 А) – використовується для точних тонкостінних операцій;
- плазма із середнім струмом (15–200 А) – застосовується переважно для зварювання;

– плазма з капілярним соплом (понад 100 А) – забезпечує глибоке проникнення в матеріал, аналогічно лазерному або електронно-променевому обробленню; застосовується для різання [Рис. 1.1].

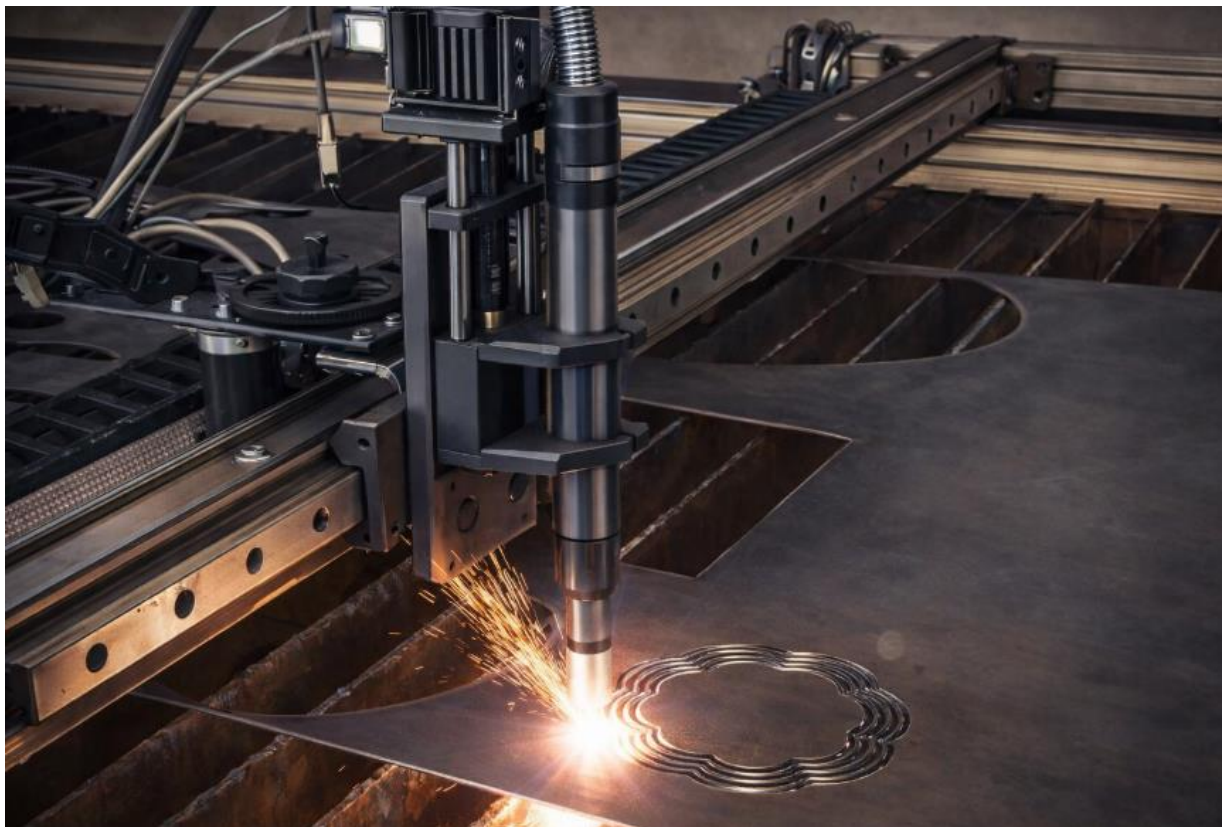


Рис. 1.1 – Схема процесу плазмового різання [1]

1.2. Лазерне різання

Лазерне різання є термічним процесом, подібним до газополуменового та плазмового різання, проте відрізняється від них джерелом тепла та характером розподілу енергії на поверхні заготовки. Лазерний промінь фокусується на поверхні оброблюваного матеріалу таким чином, щоб досягти достатньої поверхневої густини потужності для нагрівання, плавлення і, в кінцевому рахунку, випаровування матеріалу [2].

Ефективність лазерного оброблення визначається термічними та, певною мірою, оптичними властивостями матеріалу, а не його механічними характеристиками. Завдяки цьому лазером можна обробляти крихкі, тверді та м'які матеріали з відповідними термічними властивостями, зокрема з

низькою теплопровідністю. Саме широкий спектр оброблюваних матеріалів є головною перевагою лазерного різання [2] [Рис. 1.2-1.3].

Розрізняють три основні способи лазерного різання залежно від комбінації інтенсивності випромінювання і тиску ріжучого газу [3]:

- лазерне сублимаційне різання – матеріал безпосередньо переходить з твердого стану в газоподібний;
- лазерне плавильне різання – матеріал розплавляється та видувається інертним газом;
- лазерне газополуменеве різання – поєднує дію лазера та кисню, що окислює розплав.

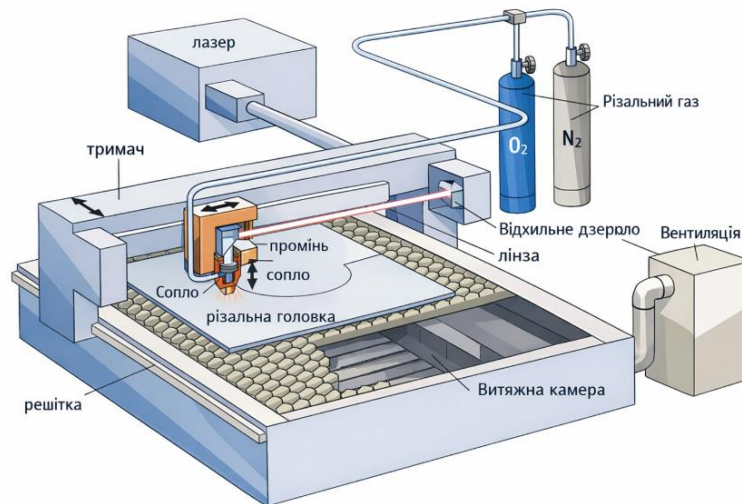


Рис. 1.2 – Елементи лазерного різального верстата [3]

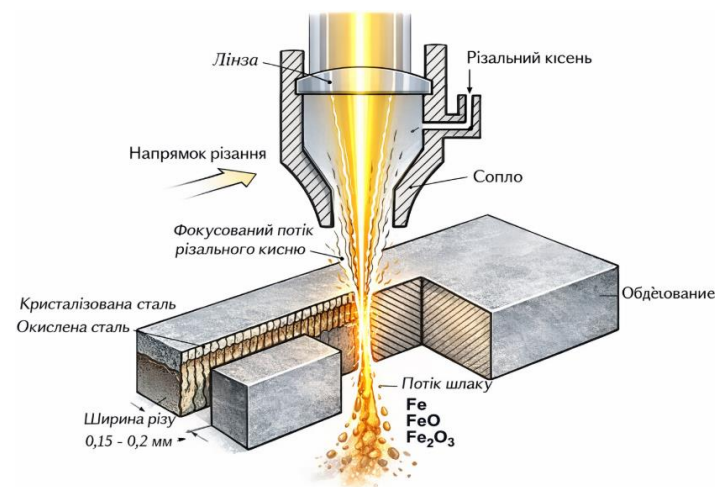


Рис. 1.3 – Механізм видалення матеріалу при лазерному газополуменевому різанні [3]

1.3. Згинання листового металу

Згинання є виробничим процесом, у ході якого вздовж прямолінійної осі отримують V-подібні, U-подібні або профільні форми. Завдяки цьому плоска заготовка перетворюється на складну тривимірну конструкцію. Характерна особливість цього методу – стабільне збереження кута згину та довжини заготовки в межах встановлених допусків. Процес полягає у розміщенні листа на матриці з горизонтальним позиціонуванням відносно пуансона, який, опускаючись, вдавлює лист у матрицю [4].

Розрізняють два методи згинання [Рис. 1.4-1.5]:

- вільне згинання – найпоширеніший метод для гідравлічних верстатів із ЧПК; лист контактує з інструментом лише у двох точках, не торкаючись дна матриці;
- згинання в штампі – лист притискається між пуансоном і дном матриці; потребує зусилля щонайменше у п'ять разів більшого, ніж при вільному гнутті, але забезпечує вищу точність [4].

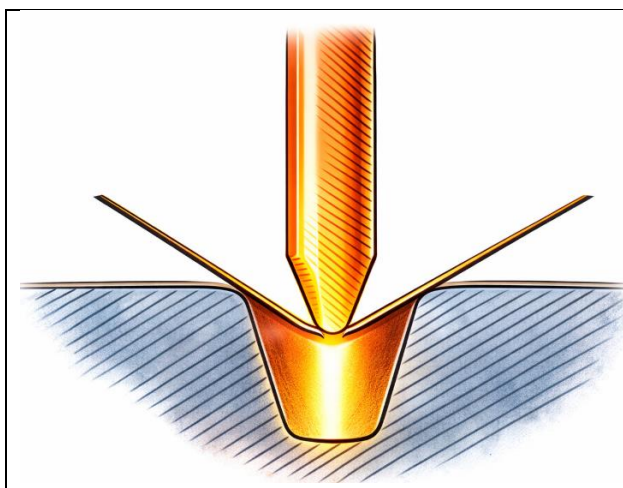


Рис. 1.4 – Вільне згинання [4]

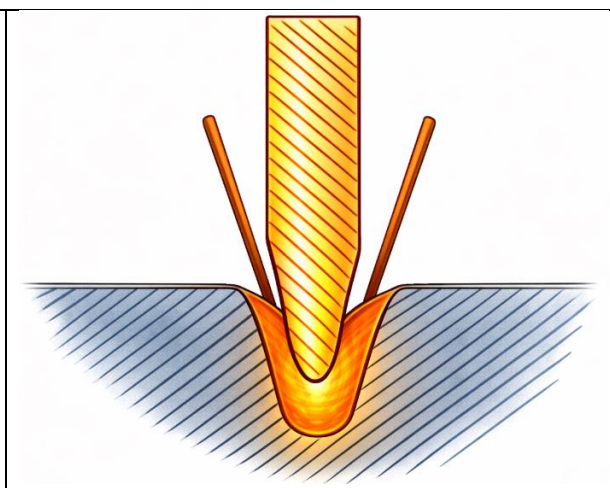


Рис. 1.5 – Згинання в штампі [4]

1.4. NC-технологія

NC (Numerical Control – числове програмне управління) – система керування верстатом, у якій усі дані обробки подаються в числовому вигляді. Система опрацьовує їх та передає у відповідному вигляді виконавчим елементам верстата. На відміну від конвенційних верстатів, де

необхідне постійне втручання оператора, на верстатах із ЧПК весь процес виконується автоматично на підставі заздалегідь складеної програми [5].

До переваг верстатів із ЧПК належать:

- незмінна якість обробки незалежно від кваліфікації оператора;
- скорочення відсотка браку та витрат на контроль якості;
- зменшення часу обробки;
- можливість виконання складних геометричних форм;
- висока гнучкість виробництва та можливість архівування програм

для повторного використання.

1.5. Програмне забезпечення Perftech.Largo

Perftech.Largo – комплексна ERP-система класу клієнт-сервер із окремими характеристиками тривірневої архітектури. Система забезпечує перегляд та обробку інтегрованих даних з усіх модулів у режимі реального часу. Вона широко використовується у різних галузях промисловості та охоплює такі функціональні напрямки: бухгалтерський облік і фінанси, управління персоналом, комерційна діяльність, управління виробництвом, CRM та бізнес-аналітика [6] [Рис. 1.6].

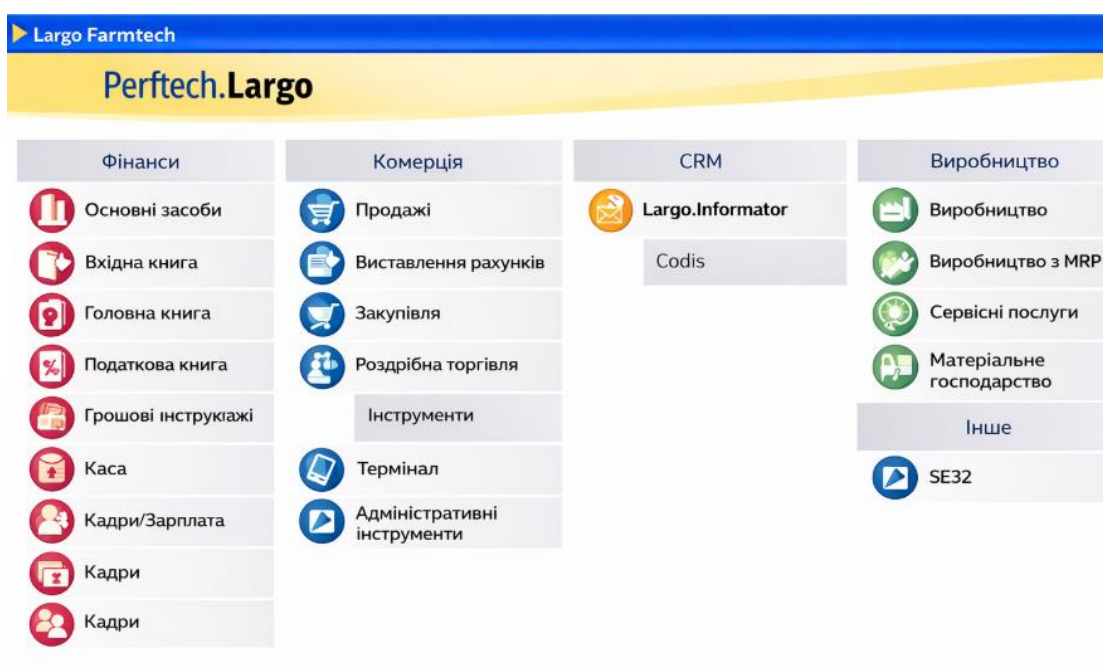


Рис. 1.6 – Головне меню програми Perftech.Largo.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Загальні відомості про підприємство,

Підприємство було засновано в 1995 році австрійською компанією. Первісним предметом діяльності була виключно складання складних машин для компостування.

Підприємство здійснює виробництво та реалізацію сільськогосподарських машин і обладнання. Компанія функціонує у двох основних напрямках: виробництво сільськогосподарської техніки (одноосьові, двоосьові та тандемні тракторні причепа, розкидачі добрив) та виробництво екологічної техніки (зварні конструкції та вузли машин для поводження з твердими біологічними відходами – машини для компостування та подрібнення різних відходів). Уся екологічна техніка виробляється для материнської компанії [8].

У межах власного бренду підприємство реалізує продукцію під торговельними марками TEHNOSTROJ та FARMTECH. Компанія самостійно здійснює маркетинг, продаж, розробку, виробництво та логістику [7].

2.2. Виробничий процес

Виготовлення причепів здійснюється у виробничому цеху, відокремленому від адміністративної будівлі. У цеху виконується весь виробничий цикл – від різання заготовок до фінального складання. Відповідно до технологічних операцій цех поділено на шість спеціалізованих ділянок [7] [Рис. 2.1]:

1. ділянка кінцевого складання – монтаж електропроводки, наклеювання етикеток, встановлення номерних знаків;
2. зварювальна ділянка – прихватне та фінальне зварювання, очищення зварних швів і правка деталей;
3. монтажні лінії – складання вузлів, що в сукупності формують готовий виріб;

4. склад – приймання та зберігання готових виробів;
5. ділянка механічної обробки – токарна, фрезерна, свердлильна та шліфувальна обробка;
6. ділянка різання – пиляння профілів і труб, різання листового металу (газокисневе, плазмове та лазерне), штампування, згинання та зачищення крайок.

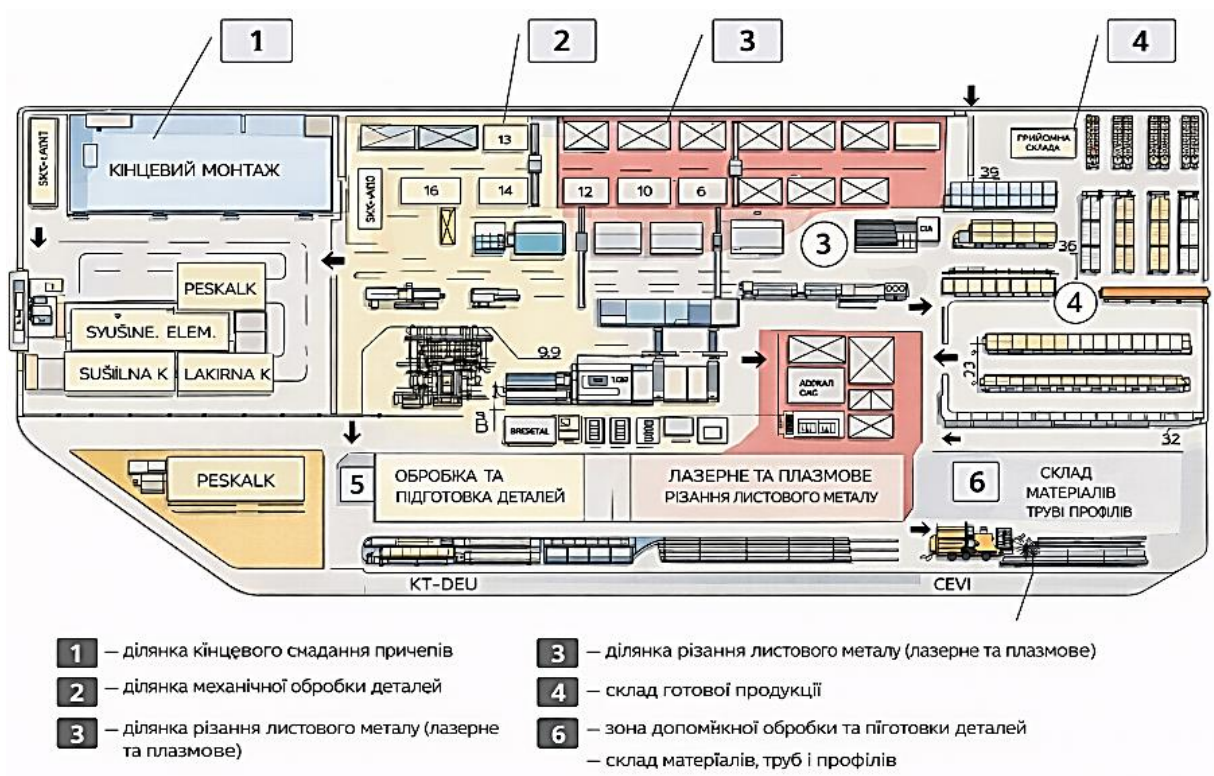


Рис. 2.1 – План виробничого цеху [7]

Асортимент продукції підприємства охоплює тракторні причеми кількох категорій: одноосьові (EDK 3032, EDK 5, EDK 6 та ін.), двоосьові (ZDK 800–1800), тривісні (DDK 2400) та тандемні (TDK 800–2000); універсальні причеми-самоскиди (DURUS 1600–3000), штовхальні причеми (FORTIS 2000–3000), дворівневі причеми (UNIRAISER 2000); розкидачі органічних добрив серій SUPERFEX, MINIFEX і MEGAFEX [8] [Рис. 2.2-2.3].



Рис. 2.2 – Тривісний причіп DDK 2400 [8]



Рис. 2.3 – Універсальний причіп DURUS 3000 [8]

3.4. Закуплені та виготовлені деталі тракторних причепів

Підприємство Farmtech, як і більшість сучасних виробників, закуповує значну частину комплектуючих у сторонніх постачальників. Це зумовлено насамперед економічними міркуваннями – виготовлення повного комплексу деталей потребувало б широкого спектра виробничого обладнання. На стороні закуповуються стандартні кріпильні елементи (гайки, болти, шайби, мастильніці, втулки), а також електрична, гідравлічна, гальмівна та керуюча системи, гідроциліндри та деталі ручного гальма.

Більшість деталей власного виробництва виготовляється методом лазерного різання, газополуменового та плазмового різання на верстатах із ЧПК з наступним згинанням за потреби. На ділянці різання виготовляються різноманітні кронштейни, куточки, листові деталі, консолі, заповнення, плити, підкладки, вушка, козирки та смуги. Крім того, виготовляються осі, напрямні та прутки, які після відрізання на потрібну довжину передаються на остаточну обробку на іншому обладнанні [7].

2.3. Виробничі операції та планування виробництва

Після розробки робочого креслення конструктором технологи призначають виробничі операції. Конструктор попередньо відкриває основний код деталі в програмі Perftech.Largo, тому технолог лише вводить ідентифікаційний номер у середовищі «Виробничі операції» та отримує доступ до потрібної деталі. Кожна операція вноситься під порядковим номером (50, 100, 150 тощо). При введенні операцій визначаються: код стандартної операції (автоматично визначає назву операції та виробничий центр), плановий час налагодження та плановий час роботи [7].

При плануванні виробничої програми керівник виробництва на підставі двомісячних планів продажів та виробничих замовлень, враховуючи наявні потужності, розробляє виробничий календарний план, який затверджується на нараді і є основою для замовлення матеріалів та деталізованого планування. За допомогою Perftech.Largo планувальник матеріалів формує заявки на закупівлю та запускає виробничі замовлення [7] [Рис. 2.4].

ВІРІВНИЦТВО 2 / МРП 15 15.01.00 (РОБОЧА ПРОЦЕДУРА 15) - Farmtech [Робоча процедура]

Технологія: 16483770 ПЛОЧЕВНА БЛІДНАТКА SPR 016483770

Технологія: 50 АКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ

Назва ДП: 50 **Тлан.поз.** 2596 лазерне різання

Центр робіт: лазерне різання К.поз: час

Статус: Активна Ознака

Кеніярка: 2595 LASER AKW 1500x3000

Тр.затв.: 1 План-час робіт: 0,03 План-час: 0,0113

План-час: 0 Витрати /Bel.: 1,11 Істоителк: 100,0000

Засновість: 0 ☒ Обов'яз. спеціалізації ☐ Контроль на операції

Заткованість: 1 ☒ Нормальна Показувати в: Цех Вартість на ОП: 0,00000

Платоніки: Розтрупірав Мірієарфа

Технологімі процедури: 2

Технологічні процедури: Постпра Короткий опис

№ п.п.	Ст.п.	Назва процедури	Назва	К.поз.	ЦП	Вид опер.	Норматив. час (кв.)	Час опер.	Тр.затв./ден.	Витрати	Ч.посла
4	50	2596	Лазерне різання	3596	ЛЕР	1	0,11 0,03	1	0	0	0
2	100	1525	цроруте. катпа CNC - LEEM	2595	ЛЕР	1	0,19 0,09	1	100,000	0	0
2	101	7623	учскерта ок. закода, стантовня предичий до потреби, обоузи	7223	Ларо	1	0,07 0,13	1	100,000	0	0
3	131	7223	зеситна мінєрєвалізації, очіряня, протієвєзної, ручний задієлує	7223	над	1	0,07 0,03	1	100,000	0	0

Рис. 2.4 – Введення виробничих операцій у Perftech.Largo

2.4. Лазерне різання на виробництві

Для лазерного різання листового металу на підприємстві використовується верстат Trumpf TCL 3030 з автоматичною системою заміни піддонів, що забезпечує безперервну роботу та зменшує час простою. Максимальні переміщення робочої голівки: по осі X – до 3104 мм, по осі Y – до 1580 мм, по осі Z – до 117 мм [11].

Програмне забезпечення TruTops використовується для розробки програм різання і включає три послідовні етапи роботи: CAD (підготовка та перевірка контурів деталей, імпорт DXF-файлів), NEST (розташування деталей на листі для максимального використання матеріалу) та LASER (визначення технологічних параметрів і запис NC-програми). На підприємстві перевагу надають середовищу Sheet для ручного розташування деталей через значну кількість складних форм. Для малих деталей застосовується функція Microjoint (перерваний різ) для фіксації деталі на листі й запобігання перекиданню під час різання [7] [Рис. 2.5-2.6].

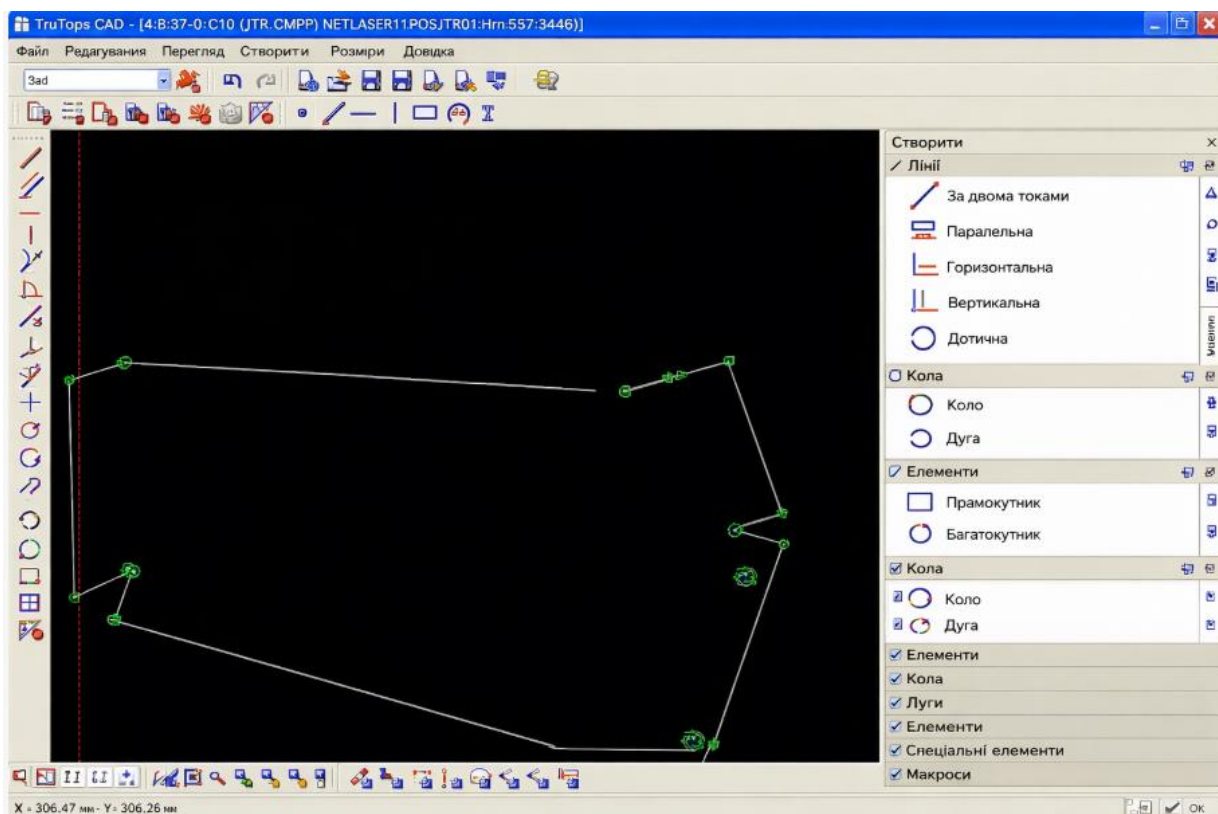


Рис. 2.5 – Редагування елемента у середовищі CAD

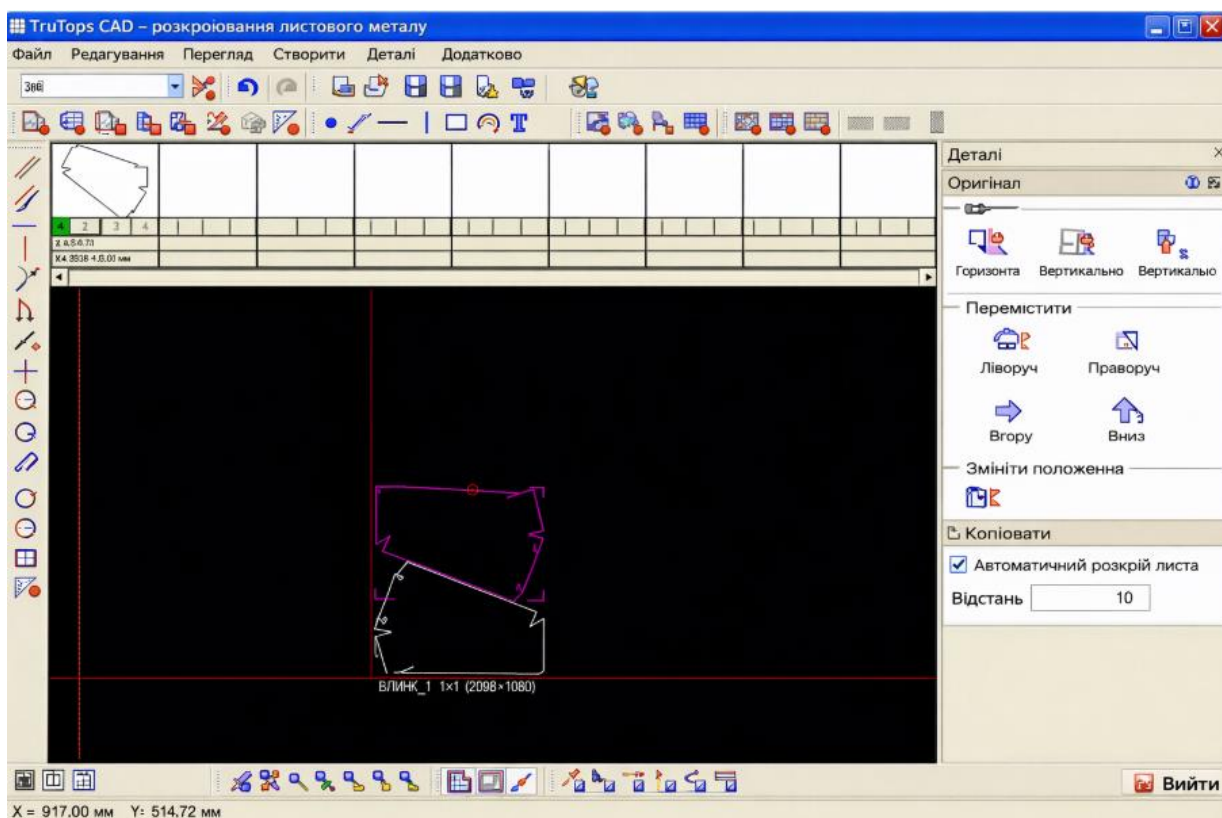


Рис. 2.6 – Розташування елементів у середовищі NEST.

2.5. Плазмове різання на виробництві

На підприємстві встановлено координатний портальний стіл для газополуменового різання з керуванням від ЧПК. Розмір робочої поверхні столу – $2,5 \times 8$ м. Для різання використовуються три різальні голівки: одна плазмона (для листів товщиною до 15 мм) та дві газокисневі (для листів товщиною до 60 мм). Програми різання розробляються у графічному середовищі ZEVS 2000 на основі DXF-файлів та передаються на верстат через мережу [7].

Процес програмування плазмового різання включає такі кроки: вибір товщини та марки матеріалу, визначення розміру листа, вибір деталей з бази даних та їх кількості, коректне орієнтування деталей (при подальшому гнутті – перпендикулярно напрямку прокатки), оптимальне розташування деталей на листі для мінімізації відходів, визначення напрямку входу та виходу пальника і послідовності різання [7], [Рис. 2.7].

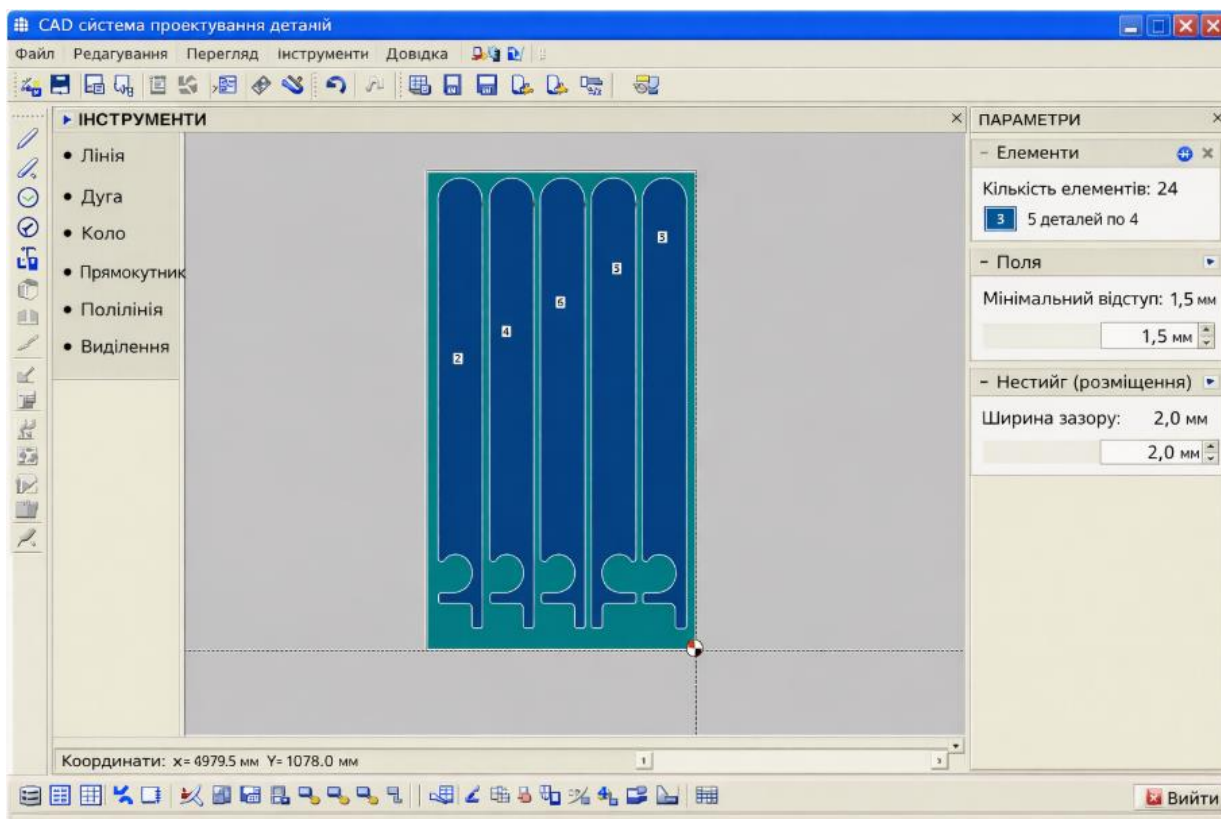


Рис. 2.7 – Робоче середовище програми ZEVS 2000

2.6. Згинання листового металу на виробництві

Для згинання листового металу на підприємстві застосовується листогибочний прес TruBend серії 5130 із ЧПК (зварна конструкція повністю зі сталі, що складається з двох бічних стійок, столу та з'єднувальної балки). Програми згинання можуть розроблятися безпосередньо на панелі керування верстата або в середовищі TruTops Bend із подальшою передачею через мережу [7].

Для деталей із більш ніж двома лініями згинання програма розробляється в TruTops Bend. Спочатку в середовищі TruTops CAD імпортується GEO-формат деталі, позначаються лінії згинання, задаються кут та напрямок згинання, а також тип пуансона і матриці. Потім у TruTops Bend автоматично генерується послідовність згинання, яку за потреби можна змінити. Функція «Bending process» запускає 3D-симуляцію, що дозволяє виявити та усунути можливі зіткнення деталі з інструментом [7], [2.8].



Рис. 2.8 – Листогибочний прес TruBend 5130

2.7. Приклад виготовлення переднього захисного крила для DURUS 3000. Розробка робочого креслення

Для ілюстрації повного виробничого циклу розглянемо виготовлення переднього захисного крила для причепа DURUS 3000. Цей приклад охоплює всі ключові етапи – від конструкторської документації до готової деталі.

Виробничий процес починається з конструкторського відділу, де в програмі CoCreate розробляється 3D-модель повного причепа та підготовлюються робочі креслення вузлів і окремих деталей [Рис. 2.9.] На кресленнях зображені форма, розміри, допуски, матеріал та всі важливі характеристики для подальшого виготовлення [7].

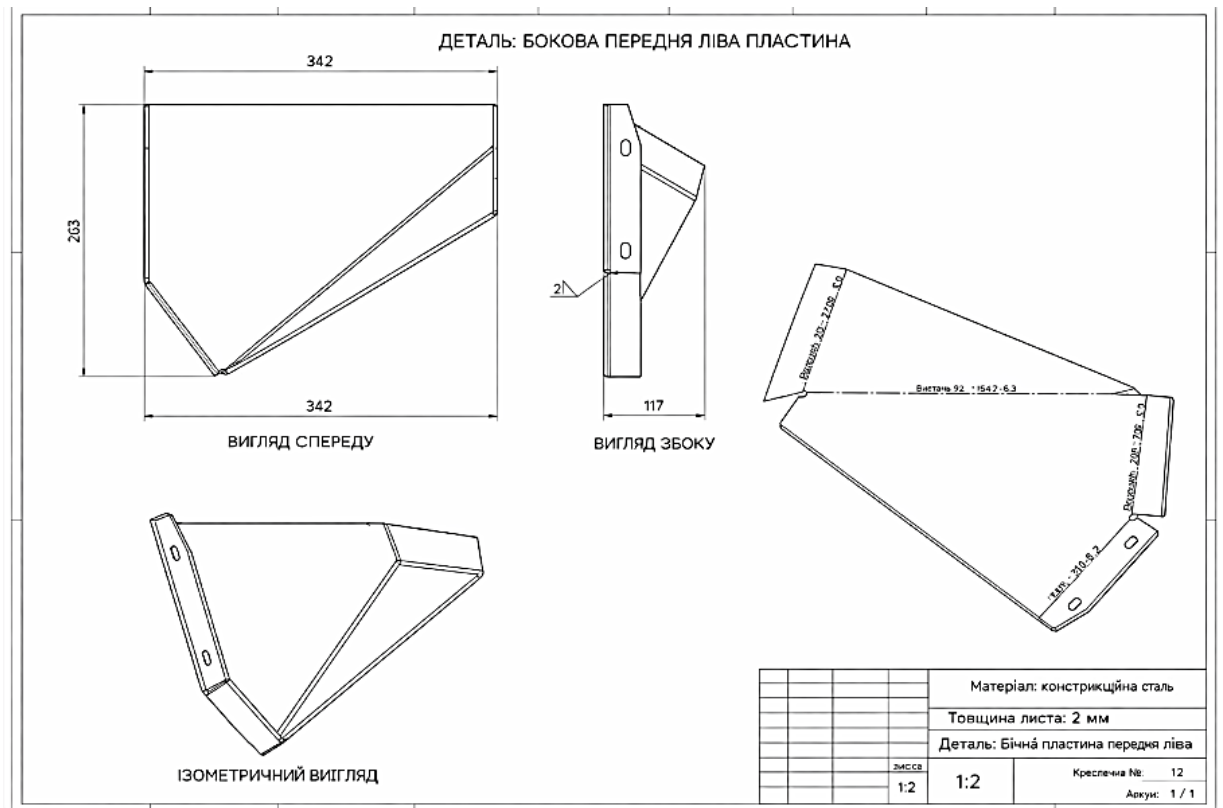


Рис. 2.9 – Робоче креслення листового захисного крила [7]

2.8. Призначення виробничих операцій, Лазерне різання деталі.

На підставі готового креслення технологи визначають виробничі операції для виготовлення листового крила. Операційна карта включає такі відомості: порядковий номер операції; назва операції та верстат обробки; код стандартної операції; час налагодження та час роботи; кількість робітників. (таблиця 2.1). Для конкретної деталі передбачено операції: (50) лазерне різання; (100) згинання 4× на верстаті із ЧПК; (101) допоміжні операції при різанні; (151) складальне та фінальне зварювання стиків, шліфування.

Таблиця. 2.1 – Приклад операційної карти [7]

№ операції	Код	Назва операції	Обладнання	Час налаштування	Час операції	Кількість працівників	Використання
50	293411	Лазерне різання	Лазер 4 кВт 1500×3000	0,03000	0,01130	1	100 %
100	293412	Згинання 4× на CNC (ліва)	Верстат для згинання 130 т × 3000 CNC	0,20000	0,03580	1	100 %
101	293413	Допоміжна ручна операція	Ручна обробка – підготовка матеріалу	0,25000	0,03700	1	100 %
151	293414	Складання і остаточне зварювання	Зварювальний апарат CO ₂	0,20000	0,04740	1	100 %

Після отримання виробничого замовлення програміст визначає кількість деталей та товщину матеріалу. У фазі CAD імпортується DXF-файл переднього крила, перевіряється замкнутість контурів і наявність гравіювання. У фазі NEST програміст вибирає деталь і задає кількість (2 штуки), розташовуючи їх на листі 1 × 2 м зі сталі St37 таким чином, щоб мінімізувати відходи [2.10]. У фазі LASER встановлюються розміри та якість листа, визначається послідовність різання та лінія відрізання відходів. Після перевірки зіткнень (Check for collusion) програма передається мережею на лазерний верстат. Матеріаломісткість розкрою становить 91,22% (відходи – 8,78%) [7].

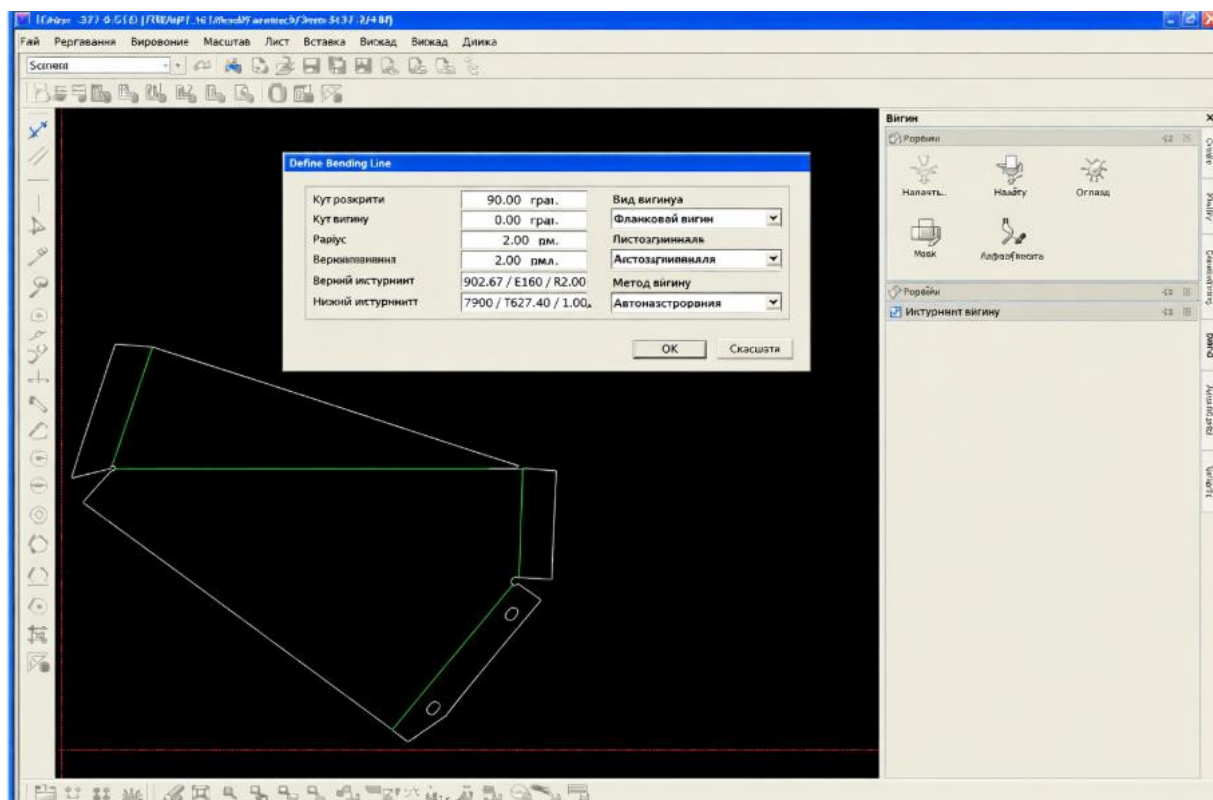


Рис. 2.10 – Кінцевий роздрук програми лазерного різання [7]

2.9. Згинання деталі та фінальне оброблення

Після лазерного різання заготовка передається на згинання. Оскільки деталь має більше однієї лінії згинання, програма розробляється в TruTops Bend. Програміст позначає лінії згинання (відображаються зеленим кольором), виконує команду «Define bending line» та задає кут, напрямок згинання й верхній і нижній інструменти. Тривимірна симуляція дозволяє перевірити кожну лінію згинання та виявити зіткнення (позначаються червоним кружечком). Після успішної симуляції програма передається на верстат.

Після згинання виконується складальне та фінальне зварювання стикових з'єднань. Зварні шви зачищаються шліфуванням. Готова деталь передається на фінальне складання причепа [7] [Рис. 2.11-2.12].

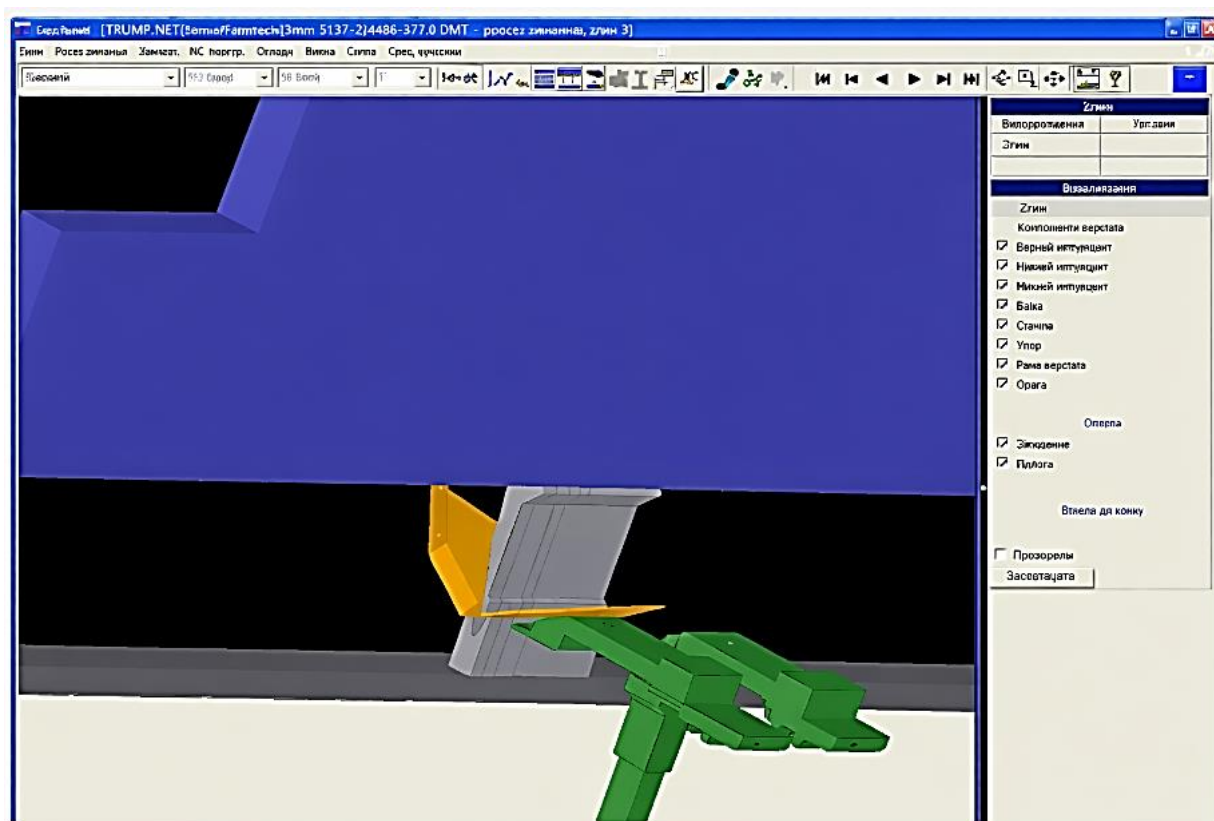


Рис. 2.11 – Визначення ліній згинання

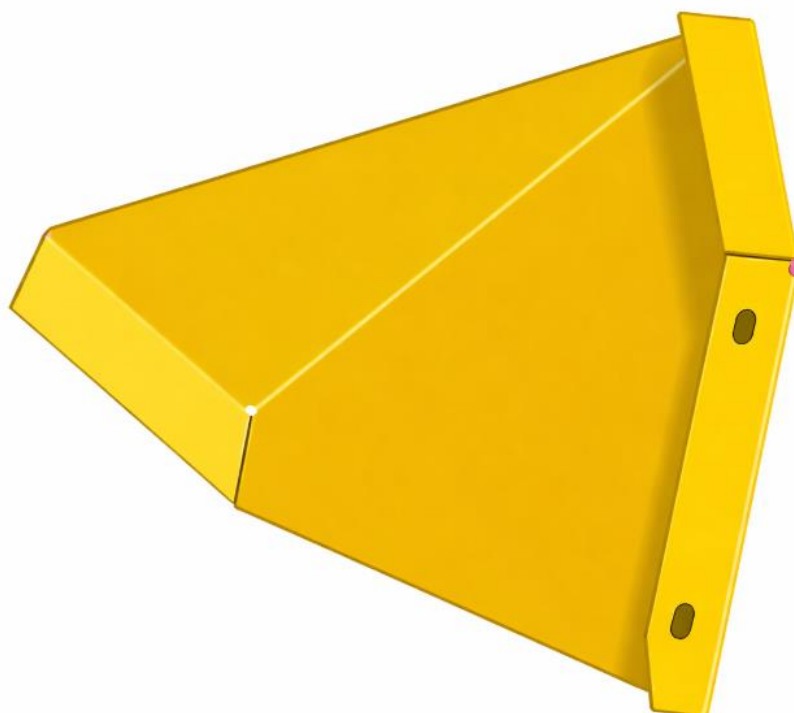


Рис. 2.12 – Готова деталь (захисне крило)

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Виробничий процес на підприємстві Farmtech d. o. o. пов'язаний із застосуванням технологій підвищеної небезпеки: лазерного та плазмового різання, дугового зварювання, роботи на пресах і верстатах із ЧПК. Дотримання вимог охорони праці є невід'ємною умовою безпечної та ефективної роботи.

3.1. Безпека при лазерному різанні

Лазерне обладнання класу 4 (до якого відноситься верстат L3030S потужністю 4000 Вт) є джерелом підвищеної небезпеки. Основні вимоги безпеки включають:

- обов'язкове використання захисних окулярів з відповідним показником оптичної густини залежно від довжини хвилі випромінювання (для CO₂-лазерів – спеціальні захисні засоби);
- верстат повинен бути обладнаний захисним кожухом, що блокує вихід промінів у робочу зону; доступ до зони обробки відкривається лише після повної зупинки;
- зона розміщення лазерного верстата має бути позначена знаками лазерної небезпеки, а доступ до неї – обмежений для сторонніх осіб;
- вентиляція та витяжна система повинні забезпечувати видалення диму, аерозолів і газів, що утворюються при різанні металу;
- операторам заборонено дивитися безпосередньо в зону різання або на відбиті промені.

3.2. Безпека при плазмовому різанні

Плазмове різання пов'язане з такими основними небезпечними чинниками: ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання дуги, бризки розплавленого металу, шкідливі гази та пил, шум та електробезпека.

- оператор повинен використовувати захисний щиток або маску зі спеціальним темним склом (не менше класу DIN 11–12 для плазмового різання);

- захисний одяг зі шкіри або негорючих матеріалів, захисні рукавиці та взуття з металевими носками є обов'язковими;

- робоче місце повинне бути обладнане ефективною системою місцевої витяжної вентиляції для видалення оксидів азоту, озону та металевого пилу;

- електроустаткування плазмотрона повинне бути заземлене; оператор не повинен торкатися токоведучих частин;

- поблизу зони різання забороняється зберігати горючі матеріали.

3.3. Безпека при роботі на гнучильному пресі

При роботі на гідравлічному пресі TruBend 5130 необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

- до керування верстатом допускаються лише навчені та сертифіковані оператори;

- перед початком роботи необхідно перевірити правильність встановлення пуансона та матриці, надійність їх кріплення;

- категорично забороняється тримати руки в зоні між пуансоном і матрицею під час роботи верстата; верстат обладнаний захисними лазерними бар'єрами;

- при гнутті великих і важких заготовок необхідно застосовувати підймальні пристосування або залучати помічника;

- захисні рукавиці захищають від порізів гострими крайками листа;

- після завершення роботи верстат переводиться у безпечне положення з опущеним повзуном.

3.4. Загальні вимоги до охорони праці на виробництві

На підприємстві діє система управління охороною праці відповідно до вимог законодавства Республіки Словенія та директив ЄС. Щодо загальних вимог: кожен новий співробітник проходить обов'язковий інструктаж з охорони праці перед допуском до самостійної роботи. Кожне робоче місце обладнане первинними засобами пожежогашіння та аптечкою.

Щодо особистих захисних засобів: залежно від виконуваної операції оператори зобов'язані використовувати: захисні окуляри або маску, захисні рукавиці, захисне взуття (черевики зі сталевим носком), захисний одяг, а за потреби – захист органів слуху та дихальний апарат. Щодо організації робочого місця: проходи між верстатами повинні бути вільними (мінімум 1 метр). Підлога у виробничому приміщенні не повинна мати слизьких ділянок, а метал, що відрізається, та металева стружка повинні своєчасно прибиратися. Щодо пожежної безпеки: у виробничому цеху заборонено куріння та використання відкритого вогню поза зонами зварювання. Зони зберігання кисневих балонів і горючих газів відділені від решти виробничого приміщення. На підприємстві регулярно проводяться навчальні евакуаційні тренування.

4. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У дипломній роботі проведено комплексний аналіз технологічного оснащення та виробничих процесів підприємства Farmtech d. o. o. Досліджено ефективність застосування сучасних методів металооброблення – лазерного різання, плазмового різання та згинання листового металу – для виготовлення тракторних причепів. Отримані результати дозволяють зробити низку важливих висновків.

4.1. Ефективність застосованих технологій

Лазерне різання на верстаті Trumpf TCL 3030 забезпечує високу точність (ширина різу 0,15–0,2 мм) та якість поверхні різу, що дозволяє мінімізувати обсяг подальшої механічної обробки. Автоматична система заміни піддонів суттєво підвищує продуктивність верстата, скорочуючи час простою. Коефіцієнт використання матеріалу в розглянутому прикладі склав 91,22%, що є добрим показником для виробництва складних деталей нерегулярної форми.

Плазмове різання на координатному порталі (робоча площа $2,5 \times 8$ м) є економічно виправданим для різання товстих листів (до 60 мм), де застосування лазера нераціональне. Комбінація однієї плазмової та двох газокисневих голівок забезпечує гнучкість при обробці матеріалів різної товщини в одному технологічному циклі.

Згинання на пресі TruBend 5130 у поєднанні з програмуванням у TruTops Bend дозволяє отримувати складні тривимірні конфігурації деталей із стабільними кутами згинання. Попередня 3D-симуляція усуває ризик зіткнень інструменту з деталлю та скорочує час налагодження верстата.

4.2. Аналіз виробничого процесу та виявлені недоліки

Поточна організація виробничого процесу складання причепів має суттєві недоліки. Процес побудовано за тактовим принципом: спочатку монтується нижня рама (Такт 1), потім підлога (Такт 2), далі – об'єднання цих вузлів (Такт 3), і лише потім встановлюються бічні стінки (Такти 4 і 5).

Після складання виконуються контроль якості, миття і – найбільш проблематичний крок – часткове розбирання для фарбування, після чого знову відбувається складання та монтаж покупних компонентів, таблиця 4.1.

Необхідність демонтажу для фарбування є значним недоліком: вона збільшує трудомісткість, подовжує виробничий цикл і підвищує ризик пошкодження вже зібраних вузлів. Крім того, тактовий принцип складання обмежує гнучкість виробництва та ускладнює адаптацію до індивідуальних замовлень покупців.

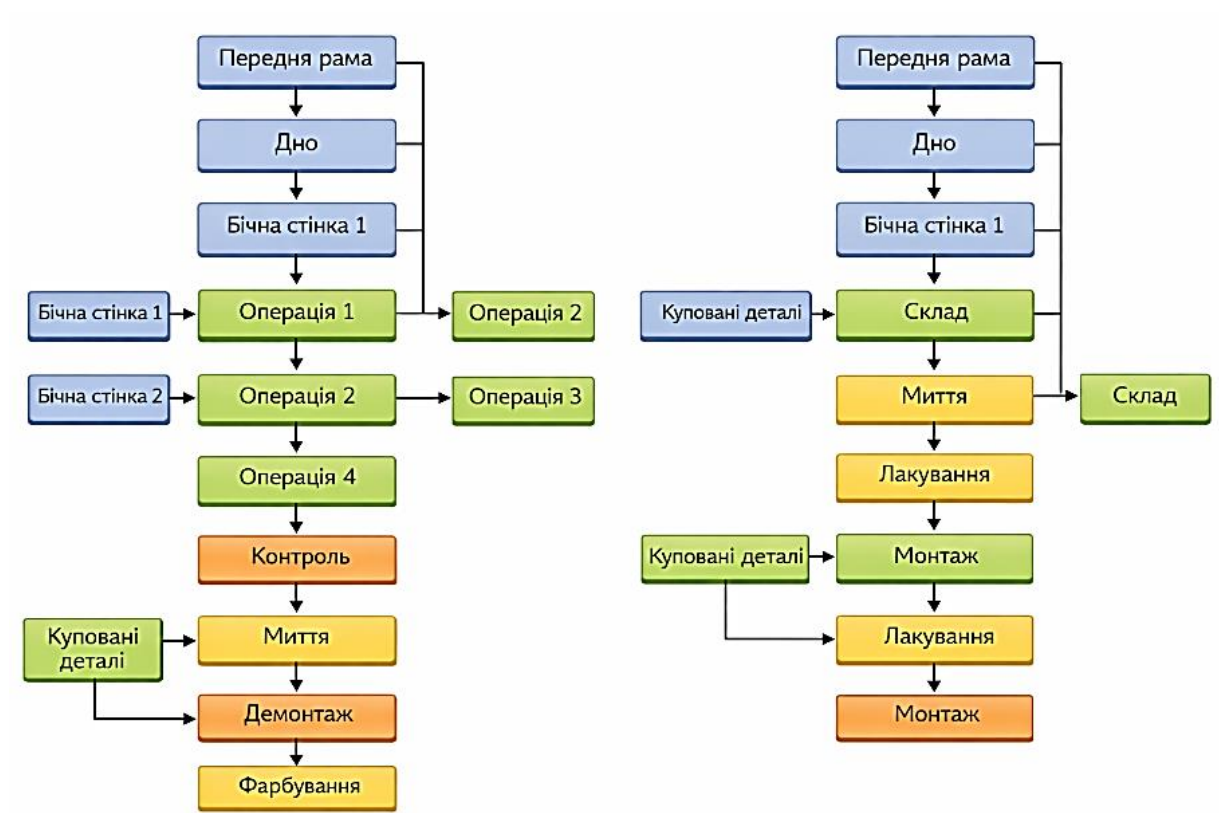


Рис. 4.1 – Схема поточного та оптимізованого виробничого процесу [7]

4.3. Пропозиції щодо вдосконалення виробничого процесу

Запропонований оптимізований виробничий процес базується на принципі паралельного виготовлення та попереднього фарбування вузлів. Сутність зміни полягає у наступному: усі основні вузли (нижня рама, підлога, бічні стінки 1 і 2, покупні деталі) виготовляються паралельно і складуються; потім виконуються миття та лакування деталей у складі; після

сушіння здійснюється фінальне складання; на останньому етапі – контроль якості.

Перевагами запропонованого підходу є: усунення необхідності в демонтажі та повторному складанні вузлів для фарбування, скорочення виробничого циклу та трудомісткості складання; підвищення гнучкості виробництва – наявність готових пофарбованих компонентів на складі дозволить оперативно реагувати на індивідуальні замовлення; покращення якості лакофарбового покриття завдяки нанесенню на окремі деталі, а не на зібрану конструкцію.

Реалізація цього підходу потребує комплексної реорганізації підприємства, включаючи перепланування виробничих площ, формування складських запасів вузлів, вдосконалення системи планування. Незважаючи на значний обсяг необхідних змін, економічний ефект від скорочення трудомісткості та підвищення гнучкості виробництва обґрунтовує доцільність цієї трансформації.

Висновки

У дипломній роботі проведено аналіз технологічних процесів виготовлення тракторних причепів та досліджено можливості вдосконалення організації виробництва з орієнтацією на індивідуальні замовлення споживачів.

У результаті виконаного дослідження встановлено, що сучасне виробництво тракторних причепів базується на використанні високопродуктивних технологій обробки металу, зокрема лазерного та плазмового різання, а також згинання листового металу на верстатах із числовим програмним керуванням. Застосування цих технологій забезпечує високу точність виготовлення деталей, зменшення витрат матеріалу та скорочення часу виробничого циклу.

Дослідження виробничого процесу підприємства показало, що значна частина комплектуючих закуповується у сторонніх постачальників, тоді як на підприємстві виготовляються переважно листові конструктивні елементи причепів. Використання сучасних програмних систем керування виробництвом дозволяє ефективно планувати виробничі операції та координувати роботу різних підрозділів підприємства.

Разом із тим встановлено, що існуюча організація виробничого процесу має певні недоліки, зокрема необхідність часткового демонтажу конструкції перед фарбуванням, що призводить до збільшення трудомісткості та тривалості виробничого циклу.

Запропоновано удосконалений підхід до організації виробництва, який передбачає паралельне виготовлення вузлів і попереднє фарбування деталей перед остаточним складанням виробу. Така схема дозволяє зменшити трудомісткість виробництва, скоротити тривалість виробничого циклу, підвищити якість лакофарбового покриття та забезпечити більшу гнучкість при виконанні індивідуальних замовлень.

Реалізація запропонованих заходів сприятиме підвищенню ефективності виробництва тракторних причепів, покращенню якості продукції та підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку сільськогосподарської техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаров В. М., Карпусь В. Є. Технологія машинобудування. – Київ: Вища школа, 2015. – 447 с.
2. Гречко А. І., Бондаренко В. М. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Київ: Кондор, 2016. – 436 с.
3. Калпакджян С., Шмід С. Технологія обробки матеріалів. – Київ: Либідь, 2018. – 624 с.
4. Шевченко В. М. Сучасні технології різання металів. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – 280 с.
5. Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W. Product Design for Manufacture and Assembly. – CRC Press, 2010. – 654 p.
6. Chryssolouris G. Manufacturing Systems: Theory and Practice. – Springer, 2006. – 438 p.
7. Farmtech d. o. o. Official Product Catalogue and Technical Documentation. – Slovenia, 2022.
8. Groover M. Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing. – Pearson, 2016. – 806 p.
9. Groover M. Fundamentals of Modern Manufacturing. – Wiley, 2015. – 1025 p.
10. Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Engineering and Technology. – Pearson Education, 2014. – 1200 p.
11. Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Processes for Engineering Materials. – Pearson, 2017. – 680 p.
12. Messler R. Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy. – New York: Wiley, 2004. – 662 p.
13. Pahl G., Beitz W. Engineering Design: A Systematic Approach. – London: Springer, 2007. – 617 p.
14. Powell J. CO₂ Laser Cutting. – London: Springer-Verlag, 1998. – 352 p.

15. Schey J. A. Introduction to Manufacturing Processes. – New York: McGraw-Hill, 2000. – 736 p.
16. Steen W. M., Mazumder J. Laser Material Processing. – London: Springer, 2010. – 558 p.
17. Trumpf GmbH. TruLaser 3030 / TruBend 5130 Technical Documentation. – Ditzingen, Germany, 2019. – 120 p.
18. Vollmann T., Berry W., Whybark D. Manufacturing Planning and Control Systems. – McGraw-Hill, 2005. – 598 p.