

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

**Пояснювальна записка**

ДО \_\_\_\_\_ дипломної роботи  
(тип кваліфікаційної роботи)  
\_\_\_\_\_ магістра  
(освітній ступінь)

на тему «Розробка технології та оснащення для виготовлення деталей  
вертольоту»

ХАІ.104.1-96а1.20О.134.156-9/19 ПЗ

Виконав: студент(ка) 2 курсу групи № 1-96а1

Спеціальність \_\_\_\_\_  
134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка  
(код та найменування)

Освітня програма Технології виробництва  
та ремонту літальних апаратів  
(найменування)

Пазич І.І.  
(прізвище та ініціали студента (ки))

Керівник: \_\_\_\_\_ Бичков І. В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_ Лисих О.М.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСУП   | 6  |
| 1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ  | 8  |
| 1.1 Технічний опис типу вертольоту Мі-8  | 9  |
| 1.2 Розробка покращеного варіанту конструкції, обґрунтування рішення розрахунками                  | 13 |
| 1.2.1 Опис модифікованої конструкції панелі  | 15 |
| 1.2.2 Розрахунок модифікованої панелі на міцність  | 16 |
| 1.2.3 Ваговий аналіз варіантів панелей   | 20 |
| 1.3 Технічні умови на виготовлення носової частини фюзеляжу транспортного вертольоту               | 21 |
| 1.4 Аналіз технологічності носової частини фюзеляжу транспортного вертольоту                       | 22 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ   | 24 |
| 2.1 Об'єм та об'єкти заготовчо-штамповочних робіт  | 25 |
| 2.2 Класифікація деталей, що виготовляються  | 26 |
| 2.3 Методи і засоби виготовлення основних деталей  | 27 |
| 2.3.1 Класифікація обшивок   | 27 |
| 2.3.2 Деталі каркаса   | 29 |
| 2.4 Розробка конструктивного рішення оснастки для виготовлення деталей з листа                     | 30 |
| 2.4.2 Пружне пружиння при гнутті   | 31 |
| 2.4.3 Конструктивні елементи штампа  | 32 |
| 2.4.4 Перевірочні розрахунки штампа на міцність  | 32 |
| 2.4.5 Розробка схеми виготовлення і ув'язки заготовочно-штампованої оснастки                       | 33 |
| 2.4.6 Обґрунтування складу заготовочно-штамповочного цеху для виробництва транспортного вертольоту | 33 |
| 2.5 Проектування цеху  | 35 |
| 2.5.1 Виробнича програма цеху  | 36 |
| 2.5.2 Розрахунок кількості обладнання й обґрунтування типу виробництва                             | 36 |
| 2.5.3 Визначення штату цеху  | 39 |
| 2.6 Рішення з забезпечення якості виготовлення продукції і способи контролю                        | 43 |
| 3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ   | 46 |
| 3.1 Характеристика товару  | 47 |
| 3.1.1 Аналіз ринку   | 47 |
| 3.1.2 Маркетинг  | 48 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.3 Кадри та управління  | 49 |
| 3.1.4 Аналіз ризиків   | 49 |
| 3.1.5 Фінансування проекту   | 50 |
| 3.2 Визначення основних техніко-економічних показників цеху                                | 50 |
| 3.3 Розрахунок планової умовної ціни виробу  | 63 |
| 3.4 Визначення критичної програми випуску виробів  | 69 |
| Висновки   | 70 |
| 4 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ   | 71 |
| 4.1 Обґрунтування  | 72 |
| 4.2 Теоретична модель процесу газолазерного різання  | 72 |
| 4.2.1 Механізм газолазерного різання матеріалів  | 73 |
| 4.2.2 Теплова модель процесу лазерного різання   | 76 |
| 4.3 Застосування методу рототабельного планування для мінімізації шорсткості поверхні різу | 78 |
| 4.4 Застосування методу рототабельного планування для мінімізації ширини різу              | 81 |
| 4.5 Вплив режимів різання на якісні показники  | 85 |
| 4.5.1 Параметри і показники процесу газолазерного різання                                  | 85 |
| 4.5.2 Вплив режимів на якісні показники виконуваних різів                                  | 87 |
| Висновок   | 90 |
| Використана література   | 91 |
| ДОДАТОК  | 93 |

## ВСТУП

Мі-8 багатоцільовий вертоліт, розроблений ОКБ імені М. Л. Міля на початку 1960-х років в колишньому Радянському Союзі. Є наймасовішим дводвигуновим вертольотом у світі, а також входить до списку наймасовіших гелікоптерів в історії авіації.

Мі-8 широко використовується в багатьох країнах світу для виконання великої кількості цивільних і військових завдань. На 2014 рік є другим за поширеністю військовим вертольотом в світі (після S-70 / УН-60).

Перший прототип Мі-8 піднявся в повітря 9 липня 1961; другий прототип Мі-8А – 17 вересня 1962 року. Після низки доробок Мі-8 був прийнятий на озброєння радянських ВПС в 1967 році і показав себе настільки вдалою машиною, що закупівлі Мі-8 для російських ВПС тривають досі. Мі-8 використовується більш ніж в 50 країнах, включаючи Індію, Китай та Іран. Модернізація вертольота Мі-8, що завершилася в 1980 р, призвела до створення удосконаленого варіанту цієї машини – Мі-8МТ (виріб «88», при поставках на експорт – Мі-17), який відрізняється поліпшеною силовою установкою (2 двигуна ТВЗ-117) і наявністю допоміжної силової установки.

Вертоліт створювався одночасно з літаком і довгий час ці машини були конкурентами. Проте у другому десятиріччі ХХ ст. стало очевидним, що вертоліт може вирішувати цілковито інші задачі: злітати з місця без попереднього розбігу і сідати на дуже маленький майданчик, нерухомо висіти у повітрі, пересуватись поступово в усіх напрямках

Головною перевагою являється здатність здійснювати зліт і посадку по вертикалі – вертоліт може приземлитись (і злетіти) в будь-якому місці, де є рівний майданчик розміром у півтора діаметру гвинта.

Також їх маневреність: вертольоти здатні до зависання у повітрі і навіть до польоту «задом наперед». Крім того, вертольоти можуть перевозити вантаж на зовнішній підвісці, що дозволяє перевозити дуже громіздкі вантажі, а також виконувати монтажні роботи.

Основні недоліки, властиві всієї гвинтокрилій техніці, у порівнянні з літаками – це менша максимальна швидкість польоту і підвищена витрата пального (питома витрата палива). Як наслідок, більш висока вартість польоту у розрахунку на пасажиро-кілометр або одиницю ваги вантажу, який перевозиться.

Також до недоліків вертольотів можна віднести і складність у керуванні. У вертольотів з реактивним приводом несучого гвинта різко ускладнюється посадка на авторотації (при вимкненні двигунів великий лобовий супротив гондол двигунів швидко уповільнює обертання несучого гвинта), також високий шум і велика помітність від факелів двигунів. Як і у літаків, у вертольотів існують свої

особливі, характерні тільки для них, небезпечні режими польоту, аварійні режими і аеродинамічні властивості: наприклад, вихрове кільце, земний резонанс і т.д. Пілот вертольоту повинен мати тверді знання і практичні навички для запобігання можливих аварійних ситуацій через цих особливостей вертольоту.

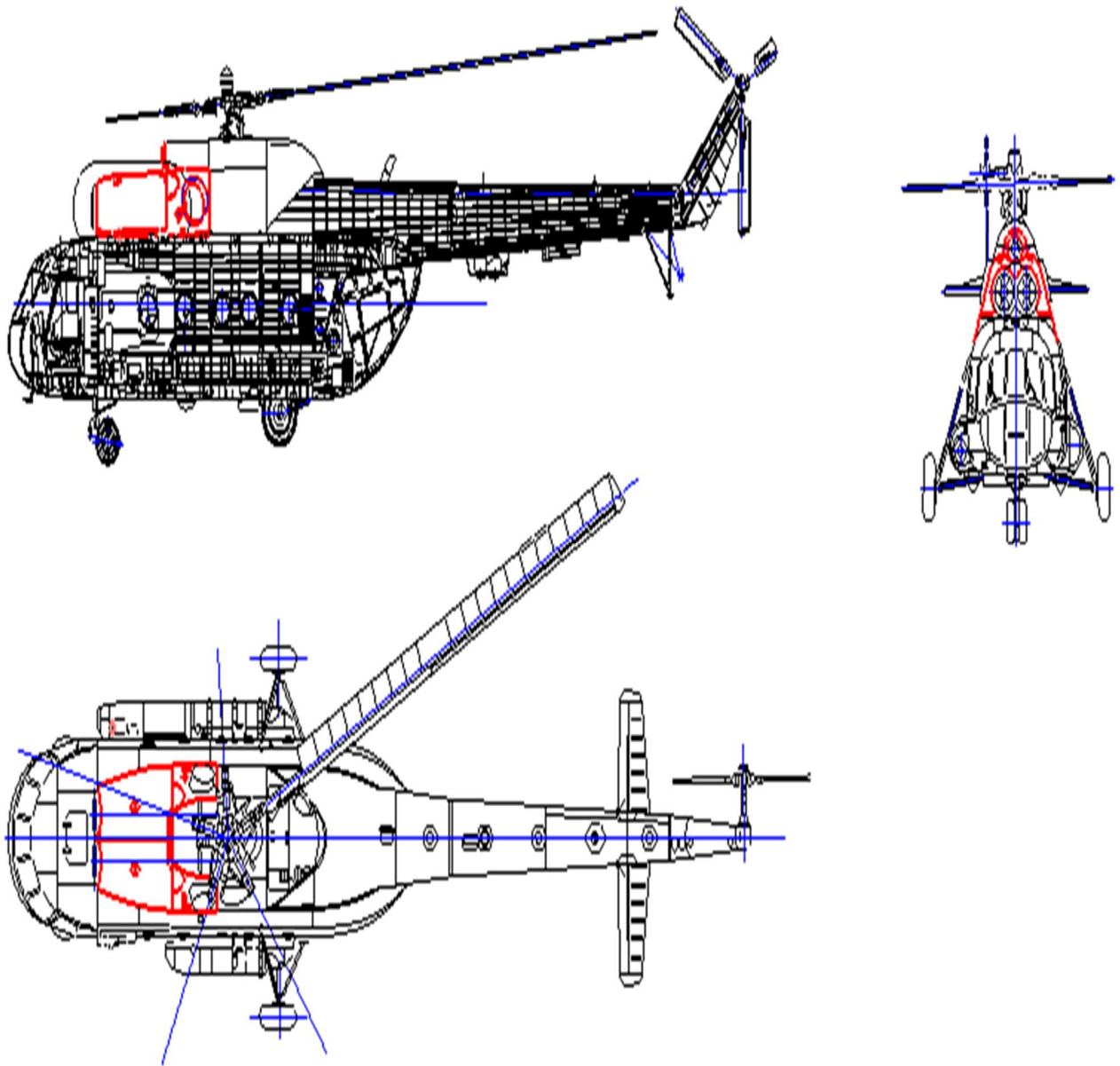
Дана робота включає в себе наступні розділи: конструкторський, технологічний, економічний і спеціальний.

# **1 Конструкторський розділ**

## 1.1 Технічний опис типу вертольоту Мі-8

Вертоліт Мі-8 призначений для перевезення багажу, вантажів і пошти у важкодоступні місцевості, а також для проведення спеціальних авіаційних робіт у різноманітних галузях народного господарства. За ваговою категорією вертоліт Мі-8 відноситься до вертольотів 1 класу.

Проекційна схема вертольоту Мі-8 представлена на малюнку 1.1, технічні характеристики - у таблиці 1.1.



Малюнок 1.1 – Проекційна схема вертольоту Мі-8

Таблиця 1 – Технічні характеристики вертольоту Мі-8

| <b>Найменування показників</b> | <b>Мі-8П</b>   | <b>Мі-8Т</b>   | <b>Мі-8МСБ</b> |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Рік побудови                   | 1965           | 1965           | 2014           |
| Екіпаж                         | 3 чол.         | 3 чол.         | 3 чол.         |
| Число пасажирів)               | 28 чол.        | 24 чол.        | 24 чол.        |
| Довжина (з гвинтами)           | 25,31 м        | 25,31 м        | 25,31 м        |
| Висота                         | 5,54 м         | 5,54 м         | 5,54 м         |
| Діаметр несучого гвинта        | 21,3 м         | 21,3 м         | 21,3 м         |
| Маса порожнього                | 7000 кг        | 6934 кг        |                |
| Нормальна злітна маса          | 11 570 кг      | 11 100 кг      |                |
| Максимальна злітна маса        | 12 000 кг      | 12 000 кг      | 12500 кг       |
| Двигуни                        | 2 × ТВ2-117    | 2 × ТВ2-117    | 2 × ТВ3-117В   |
| Потужність двигунів            | 2 × 1500 к. с. | 2 × 1500 к. с. | 2 × 2500 к. с. |
| Максимальна швидкість          | 250 км/год     | 260 км/год     | 260 км/год     |
| Крейсерська швидкість          | 225 км/год     | 225 км/год     | 225 км/год     |
| Динамічний максимум            | 4200 м         | 4500 м         | 7500 м         |
| Практична дальність            | 425 км         | 480 км         | 600 км         |

Вертоліт спроектований за одnogвинтовою схемою з п'ятилопатним несучим и трилопатним рульовими гвинтами. На вертольоті встановлені два турбогвинтових двигуна ТВ-117АГзі злітною потужністю 110 кВт кожен, що забезпечує можливість посадки вертольоту при відмові одного з двигунів.

Вертоліт експлуатується у двох основних варіантах: пасажирському Мі-8П и транспортному Мі-8Т. Пасажирський варіант вертольоту призначений для міжобласних і місцевих перевезень пасажирів, багажу, пошти і малогабаритних вантажів. Він розрахований на перевезення 28 пасажирів. Транспортний варіант передбачає перевезення вантажів вагою до 4000 кг або 24 службових пасажирів. За бажанням замовника пасажирський салон вертольоту може бути обладнаний в салон с підвищеним комфортом на 11 або 7 пасажирів.

Вертоліт із зовнішньою підвіскою вантажів перевозить великогабаритні вантажі вагою до 3000 кг поза фюзеляжем. Перегінний варіант вертольоту необхідний для виконання польотів зі збільшеною відстанню (від 620 до 1035 км). У цьому випадку у вантажну кабіну вертольоту за рахунок



комерційного навантаження встановлюють один або два додаткових паливних бака.

Вертоліт Мі-8 складається з наступних основних частин і систем: фюзеляжу, злітно-посадочних пристроїв, повітряної системи, силової установки, трансмісії, несучого і рульового гвинтів, протиобмерзальної системи, системи керування вертольотом, гідравлічної системи, системи опалення або кондиціонування повітря, пристрою для зовнішньої підвіски вантажів, такелажно-швартовочного, побутового, авіаційного і радіоелектронного обладнання (малюнок 1.2).



Малюнок 1.2 – Компонівка (а) і загальний вид (б) вертольоту Мі-8

Фюзеляж вертольоту включає носову і центральну частини, хвостову і кінцеву балки. В носовій частині розташована кабіна екіпажу, де встановлені приладні дошки, електропульти, сидіння пілотів, командні органи управління. Остіклення кабіни забезпечує достатній огляд, правий и лівий зсувні блістери забезпечені механізмами аварійного скидання. У носовій частині фюзеляжу розташовані ніши для встановлення контейнерів с акумуляторами, розетки живлення, трубки приймачів, повітряного тиску, дві кермово-посадкові фари і люк с кришкою для виходу до силової установки.

На підлозі вантажної кабіни розташовані швартові вузли и електролебідка. Над вантажною кабіною розташовані двигуни, вентилятор, головний редуктор з автоматом перекоосу і несучим гвинтом, гідропанель і витратний паливний бак. До вузлів фюзеляжу зовнішньо кріпляться амортизатори і підкоси головних та передніх стійок шасі, підвісні паливні баки. Попереду правого підвісного топливного бака розташований гасовий обігрівач. Вантажна кабіна закінчується заднім відсіком з вантажними стулками.

До центральної частини фюзеляжу пристикована хвостова балка, до вузлів якої прикріплені хвостова опора і некерований стабілізатор. Знизу хвостової балки розташовані дві антени радіовисотоміра, всередині у верхньої її частини, проходить хвостовий вал трансмісії.

До хвостової балки пристикована кінцева балка, всередині якої встановлений проміжний редуктор и проходить кінцева частина хвостового вала трансмісії. Зверху до кінцевої балки прикріплений хвостовий редуктор, на валу якого встановлений рульовий гвинт.

Вертоліт оснащений шасі трьохстійкової схеми, яка не прибирається у польоті. Кожна стійка шасі оснащена рідинно-газовими амортизаторами. Колеса передньої стійки самоорієнтовані, колеса головних стійок забезпечені гальмівними пристроями, для керування якими вертоліт обладнаний повітряною системою. Силова установка складається з двох двигунів ТВ-117АГ і систем, які забезпечують їх роботу. Для передачі потужності від двигунів до несучого та рульового гвинтів, а також для привода ряду агрегатів систем на вертольоті встановлена трансмісія, яка складається з головного, проміжного і хвостового редукторів, хвостового вала, вала привода вентилятора и гальма несучого гвинта.

Кожний двигун і головний редуктор мають свою автономну маслосистему, яка виконана по прямій одноконтурній замкнутій схемі з примусовою циркуляцією масла. Для захисту лопаток компресорів двигунів від передчасного зношення перед двигунами встановлені пілозахисні пристрої. Двигуни, головний редуктор, вентилятор і панель с гідроагрегатами закриті загальним капотом. При відкритих кришках капота забезпечується вільний доступ до агрегатів силової установки, трансмісії і гідросистеми. При цьому відкриті кришки капота двигунів і головного редуктора являються робочими майданчиками для виконання технічного обслуговування систем вертольоту.

Вертоліт обладнаний засобами протипожежного захисту. Поздовжня і поперечна протипожежні перегородки поділяють підкапотний простір на три відсіки: лівого двигуна, правого двигуна і головного редуктора.

Вертоліт має несучий гвинт, який складається з втулки і п'яти лопатей. Втулка має рознесені горизонтальні, вертикальні і осьові шарніри й забезпечена гідравлічними демпферами, компенсаторами помаху, відцентровими

обмежувачами звису лопатей і гасителем вібрації. Лопати суцільнометалевої конструкції мають візуальну систему сигналізації пошкодження лонжерона і електротепловий протиобмерзальний пристрій.

Кермовий гвинт – штовхаючий, змінного у польоті шагу, складається з втулки карданного типу і трьох суцільнометалевих лопатей, оснащених електротепловим протиобмерзальним пристроєм. Керування вертольотом – здвоєне, складається з поздовжньо-поперечного керування, путевого керування, об'єднаного керування «шаг-газ» і керування гальмами несучого гвинта. Крім того, передбачено розділове керування зміною потужності двигунів і їх зупинкою.

Зміна загального кроку несучого гвинта і поздовжньо-поперечне керування вертольотом здійснюється за допомогою автомата перекошу, встановленого над головним редуктором. Для полегшення керування в систему поздовжнього, поперечного, путевого керування і керування загальним шагом включені за незворотною схемою гідропідсилювачі, для живлення яких на вертольоті є основна і дублююча гідросистеми.

Протиобмерзальна система вертольоту захищає від обмерзання лопати несучого і рульового гвинтів, два передніх скла кабіни екіпажу і повітрязбірники двигунів. Встановлене на вертольоті авіаційне і радіоелектронне обладнання забезпечує виконання польотів вдень і вночі у простих і складних метеорологічних умовах.

## **1.2 Розробка покращеного варіанту конструкції, обґрунтування рішення розрахунками**

В основі розробки покращення конструкції носової частини фюзеляжу лежить модернізація бокової панелі (обшивка з листа + стрингери) в трьохшарову панель с сотовим наповнювачем, що в наступному повинно полегшити конструкцію, а також з точки зору технологічності, трьохшарова панель більш технологічна, так як для її виготовлення потребується менша кількість оснастки, а також її виготовлення менш трудомістке.

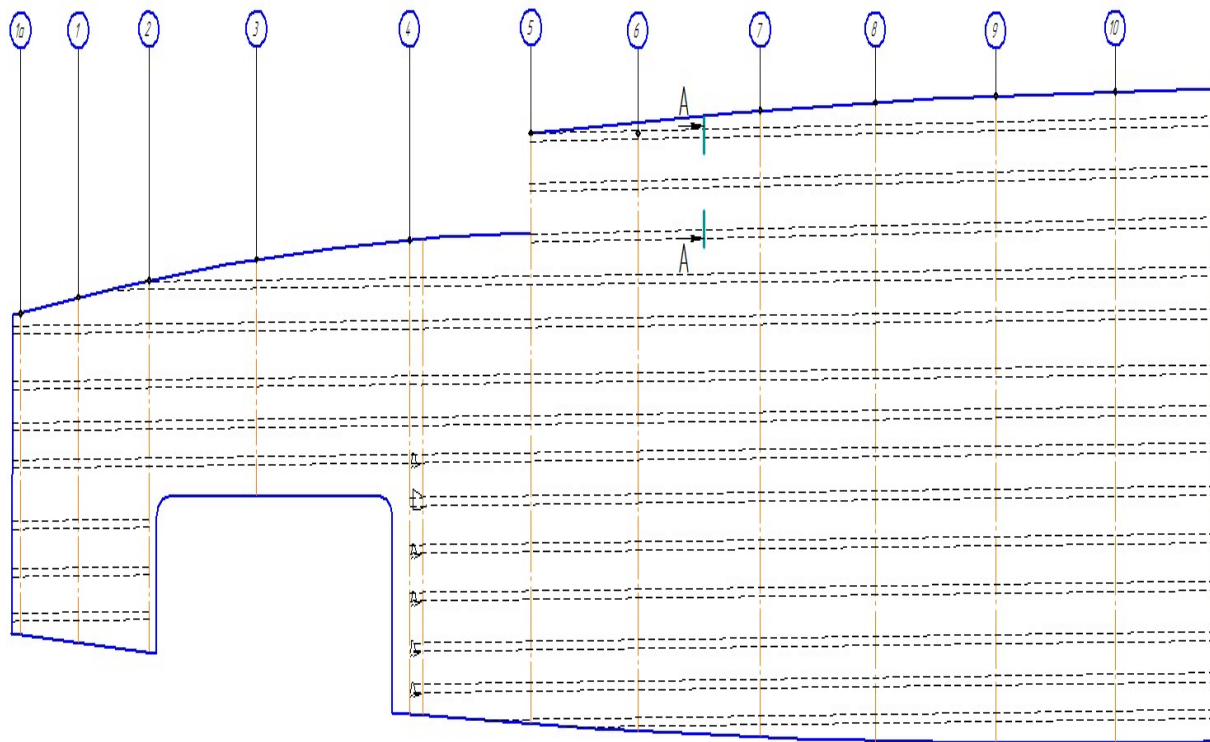
Бокова панель (мал. 1.2) являється типовим представником в загальній конструкції носової частини фюзеляжу, тобто складається з обшивки, стрингерів і шпангоутів. Обшивка одинарної кривизни виготовляється з листа Д16АТ товщиною 1,5 мм. Стрингери – пресовані профілі Д16ТПР–102–7, з'єднані з обшивкою заклепочним з'єднанням.

Шпангоути кріпляться до обшивки заклепочними з'єднаннями з стрингерами за допомогою книць.

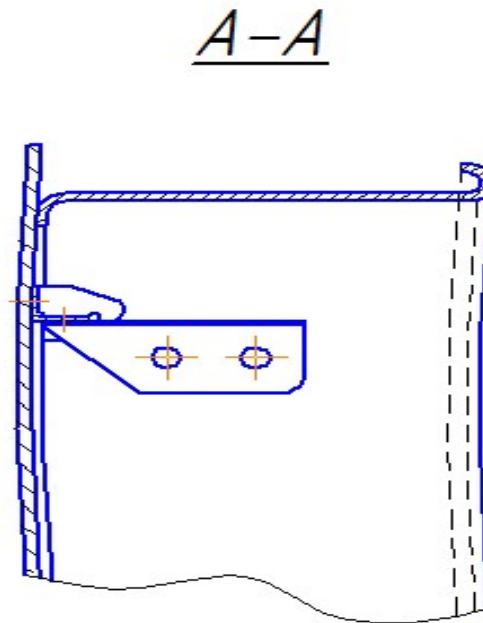
Для перевірки на міцність модифікованої панелі необхідно знати величини навантажень, діючих у зоні розташування панелі. Ці величини взяті з графіків аеродинамічних продувок фюзеляжу, які знаходяться на підприємстві.

Отже, вигинаючий момент, навантажуючий панель нормальними напругами, дорівнює  $M_{\text{виг}}=10^8$  кг $\times$ м. Окрім того, панель навантажена перерізаючим (поперечним) навантаженням  $Q=22000$ кг і обертаючим моментом  $M_{\text{об}}=5,6 \times 10^7$  кг $\times$ м.

Дані по  $M_{\text{виг}}$ ,  $Q$ ,  $M_{\text{об}}$  взяті з атласу навантажень на фюзеляж вертольоту типу Мі-8.



Малюнок 1.2 – Бокова панель Ф-1 (початковий варіант)



Малюнок 1.3 – Перетин А–А бокової панелі Ф–1

### 1.2.1 Опис модифікованої конструкції панелі

У зв'язку з зростаючими вимогами до сучасних літальних апаратів, все більш широке застосування отримують конструкції з високою питомою міцністю, які складаються з меншої кількості деталей, з'єднаних в єдине ціле за допомогою склеювання. Рішення цього питання відрізняється застосуванням шаруватих конструкцій з заповнювачем, що представляють собою листові обшивки, між яким встановлений заповнювач, який забезпечує сумісну роботу обшивок і необхідну жорсткість конструкції.

В якості заповнювачів в шаруватих конструкціях застосовуються:

- сотові заповнювачі, що виготовляються з різноманітних матеріалів: алюмінієві сплави, склотканини, титанові сплави, нержавіючі сплави і ін.;
- заповнювачі у вигляді гофру;
- заповнювачі вафельного типу;
- заповнювачі з пінопласту.

Сотові конструкції являються одною з різновидів шаруватих конструкцій і представляють собою поєднання обшивок і сотового заповнювача, розташованого між ними. Заповнювач надає конструкції жорсткість, підвищену стійкість, термозвукоізоляційні властивості.

Загальна стійкість сотової конструкції у багато разів перевищує стійкість листів, які до неї входять. Це пояснюється тим, що вона має момент інерції

перетину значно більший, чим одношарова тієї ж ваи, так як несучі шари знаходяться на деякій відстані друг від друга (10–50 мм).

Підвищена стійкість сотових конструкцій при стисненні и зсуву дозволяє конструювати їх без підкріплення поздовжнім набором при збільшеній відстані між шпангоутами. Панелі з сотовим заповнювачем, володіючи високою стійкістю, дозволяють застосовувати несучі обшивки малої товщини, порядку 0,3–0,6 мм. Це дуже важливо для зниження маси конструкції.

Сотові конструкції мають наступні суттєві переваги перед конструкціями, виконаними з обшивок, підкріплених стрингерами и шпангоутами:

- більшу питому міцність;
- більш високу жорсткість і стійкість при поздовжньому стисканні;
- кращі характеристики втомної міцності;
- включає меншу кількість деталей;
- меншу масу.

Сотові заповнювачі в залежності від застосованих матеріалів, підрозділяються на дві групи:

- заповнювачі малої щільності. До них відносяться сотові заповнювачі з паперу, склотканини, а також з алюмінієвих сплавів. Основним способом з'єднання елементів конструкції цієї групи являється склеювання.

- заповнювачі більшої щільності. В цю групу входять сотові заповнювачі з нержавіючих сталей і титану. Елементи конструкції таких сотових з заповнювачів з'єднуються за допомогою склеювання, за допомогою зварювання, пайки. Заповнювачі такої групи застосовують переважно у конструкціях, які працюють в умовах високих напруг і температур.

Застосовуються сотові заповнювачі з різноманітною формою осередку. Широке розповсюдження отримали заповнювачі і з шестигранною формою сотового осередку, оскільки вони технологічні, мають найбільшу площину склеювання з обшивкою. Розмір сотового осередку визначається розміром її грані.

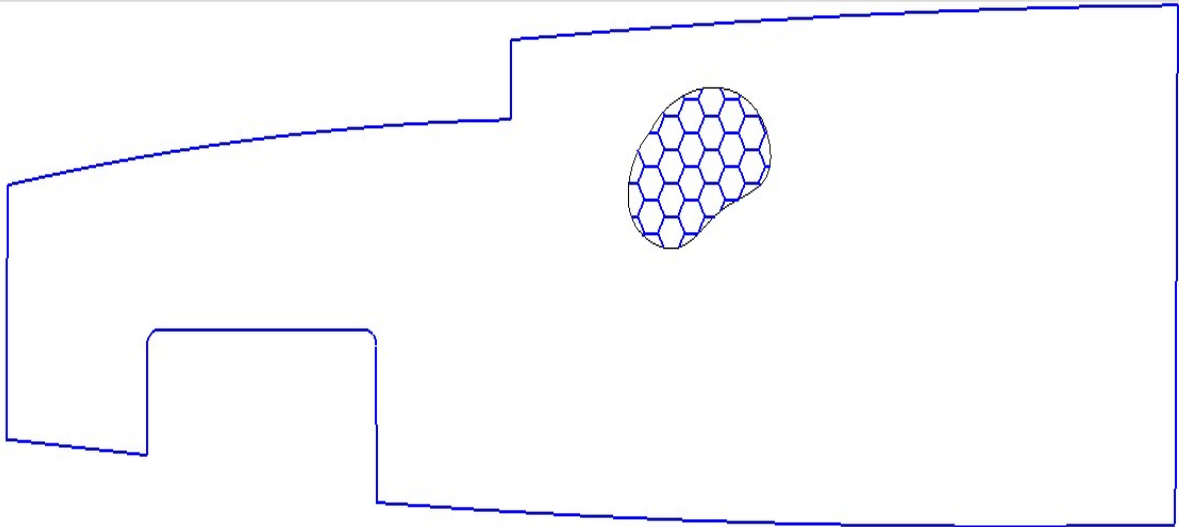
Сотові конструкції виготовляють з отворами або без них, з різноманітними клейовими композиціями. Вищеперераховані переваги привели до вибору модифікованого варіанта частини збираємої конструкції.

Варіант з сотовим заповнювачем дозволяє отримати панель, яка задовольняє вимогам характеристик міцності, але з меншою масою.

### 1.2.2 Розрахунок модифікованої панелі на міцність

Для проведення розрахунку на міцність модифікованої панелі (мал. 1.4) необхідно визначити параметри панелі з сотовим заповнювачем:

- $\delta_{\text{нс}}$  – товщина несучих шарів панелі;
- $h_3$  – висота сотового заповнювача;
- $a$  – розмір сотового осередку;
- $\delta_3$  – товщина фольги сотового заповнювача.



Малюнок 1.4 – Бокова панель Ф–1 (проектований варіант)

Оберемо матеріал для виготовлення сотової панелі:

- несучий шар – Д16АТ;
- соти – АМГ–2М;
- клей – ВК–32–200.

Необхідні параметри панелі знаходяться за монографією з умов, що вага  $1 \text{ м}^2$  панелі з сотовим заповнювачем дорівнює вазі  $1 \text{ м}^2$  обшивки з матеріалу Д16АТ товщиною  $1 \text{ мм}$ .

Вага  $1 \text{ м}^2$  листа з Д16АТ товщиною  $1 \text{ мм}$  дорівнює:

$$G = F \times \delta \times j, \text{ де}$$

$F$  – площа листа;

$\delta$  – товщина листа;

$j$  – питома маса листа.

Тоді:

$$G = 10000 \times (0,1 \times 10^{-3}) \times (2,75 \times 10^3) = 2,75 \times 10^3 \text{ [Г]}.$$

По таблиці №22 [9], визначаємо параметри панелі з сотовим заповнювачем:

$$\delta_{\text{нс}} = 0,3 \text{ мм}; h_3 = 12 \text{ мм}; a = 6 \text{ мм}; \delta_3 = 0,025 \text{ мм}.$$

Проведемо розрахунок на міцність трьохшарової панелі, попередньо зробивши наступні припущення: панель працює на стиснення і тому будемо визначати критичні напруги по емпіричним формулам, справедливим як до, так і після межі пропорційності.

Алгоритм розрахунку зводиться до визначення нормальних критичних напруг стиснення ( $\sigma_{кр}$ ), дотичних критичних напруг стиснення ( $\tau_{кр}$ ), т.б. максимально допустимих. Визначенню дійсних ( $\sigma_{д}$ ,  $\tau_{д}$ ) напруг, діючих на трьохшарову панель. Передбачаємо застосування трьохшарової панелі можна на вертольоті при дотриманні умови:  $\sigma_{д} < \sigma_{кр}$ , и  $\tau_{д} < \tau_{кр}$ .

Критичні напруги визначають по формулам:

$$\sigma_{кр} = \sigma_{в} \times \frac{1 + \nu_1}{1 + \nu_1 + \nu_1^2}; \quad \tau_{кр} = \tau_{в} \times \frac{1 + \nu_2}{1 + \nu_2 + \nu_2^2};$$

$\sigma_{в}$  – тимчасовий супротив матеріалу при розтягненні;

$\tau_{в}$  – тимчасовий супротив при зсуві.

$$\nu_1 = \frac{\sigma_{вп}}{\sigma'_{кр}}; \quad \nu_2 = \frac{\tau_{вп}}{\tau'_{кр}};$$

$\sigma'_{кр}$  – критична напруга при стисненні до межі пропорційності;

$\tau'_{кр}$  – критична напруга зсуву до межі пропорційності.

Введемо коефіцієнт,  $\frac{1}{(1 + \xi)^2} < 1$ , який враховує несправедливість гіпотези плоских перетинів для трьохшарових панелей.

Тоді:

$$\sigma'_{кр} = \frac{1}{(1 + \xi)^2} \times \sigma_0;$$

$\sigma_0$  – критична напруга, підрахована при умові справедливості гіпотези плоских перетинів.

$$\xi = \frac{10.8 \times h_3 \times \delta_{нс} \times E_{нс}}{b^2 \times G_3}, \text{ де:}$$

$E_{нс}$  – модуль пружності несучих шарів;

$G_3$  – модуль зсуву матеріалу заповнювача.

$$\sigma_0 = \frac{43 \times E_{нс} \times I_{пог}}{b^2 \times F_{пог}}, \text{ де:}$$

$I_{пог}$  – погонний момент інерції;

$F_{пог}$  – площа поперечного перетину панелі.

$$I_{пог} = 2 \times \delta_{нс} \times \left(h_3 + \frac{\delta_n}{2}\right)^2 \approx 2 \times \delta_n \times h_3^2;$$

$$F_{пог} = 2 \times \delta_n.$$

Отримаємо:

$$\sigma_0 = \frac{43 \times E_{нс} \times I_{пог}}{(b / h_3)^2};$$

$b$  – ширина розрахованої панелі.



Підставимо  $\sigma_0$  в формулу для визначення  $\sigma'_{кр}$  :

$$\sigma'_{кр} = \frac{1}{(1+\xi)^2} \times \frac{43 \times E_{нс} \times I_{ног}}{(b/h_3)^2};$$

Необхідні для розрахунку дані по матеріалам несучого шару і сотового заповнювача беремо з [7].

Для Д16АТ:

$$E_n = 7200 \text{ [даН]}; \sigma_n = 27 \text{ [даН]};$$

$$\tau_n = 31 \text{ [даН]}; \sigma_n = 47 \text{ [даН]};$$

$$j = 2,75 \text{ г/см}^2;$$

Для АМГ–2М:

$$E_3 = 7000 \text{ [даН]}; \sigma_n = 27 \text{ [даН]};$$

$$j = 2,68 \text{ г/см}^2; G_3 = 20,24 \text{ [даН]};$$

Підставимо значення у відповідні формули:

$$\xi = \frac{10,8 \times h_3 \times \delta_{нс} \times E_{нс}}{b^2 \times G_3} = \frac{0,8 \times 12 \times 0,6 \times 7200}{(450)^2 \times 20,24} = 0,14;$$

Критична напруга стиснення до межі пропорційності для трьохшарової панелі:

$$\sigma'_{кр} = \frac{1}{(1+0,14)^2} \times \frac{43 \times 7200}{(450/12)^2} = 169,4 \text{ [даН]};$$

Критична напруга зсуву до межі пропорційності для трьохшарової панелі:

$$\tau'_{кр} = \frac{10,8 \times R_1 \times E_{нс}}{(b/h_3)^2}, \text{ де}$$

$R_1$ —для різних  $\xi$ ,  $R_1 = 4,2$ .

Маючи усі необхідні величини здійснюємо розрахунок критичних напруг зсуву до межі пропорційності:

$$\tau'_{кр} = \frac{10,8 \times R_1 \times E_{нс}}{(b/h_3)^2} = \frac{10,8 \times 4,2 \times 7200}{(450/12)^2} = 232,2 \text{ [даН]};$$

Маючи  $\tau'_{кр}$ , визначаємо номінальні критичні напруги зсуву  $\tau_{кр}$  за залежністю:

$$\tau_{кр} = \tau_{в} \times \frac{1+\nu_2}{1+\nu_2+\nu_2^2};$$

$$\nu_2 = \frac{\tau_{сп}}{\tau'_{кр}} = \frac{31}{232,2} = 0,133;$$

Тоді:

$$\tau_{кр} = \tau_{в} \times \frac{1+\nu_2}{1+\nu_2+\nu_2^2} = 31 \times \frac{0,133+1}{1,151} = 30,5 \text{ [даН]};$$

Маючи  $\sigma'_{кр}$ , визначаємо номінальні критичні напруги стиснення по формулі:

$$\sigma_{кр} = \sigma_{в} \times \frac{1 + \nu_1}{1 + \nu_1 + \nu_1^2};$$

$$\nu_1 = \frac{\sigma_{сп}}{\sigma'_{кр}} = \frac{47}{169,4} = 0,277;$$

Тоді:

$$\sigma_{кр} = 47 \times \frac{1 + 0,277}{1,277 + (1,277)^2} = 20,6 \text{ [даН]};$$

Отже критичні напруги, діючі на трьохшарову панель визначені, далі визначимо дійсні нормальні и дотичні напруги ( $\sigma_o$ ,  $\tau_o$ ).

Перерізаючу силу і вигинальний момент беремо з графіків аеродинамічних продувок фюзеляжу:

$$Q = 22000 \text{ [кг]}; M_{изг} = 10^8 \text{ [Н/м]}; (M_{кр} = 5,6 \times 10^4 \text{ [Н/м]});$$

$$\sigma_o = \frac{M_{изг}}{2 \times \pi \times R^2 \times 2\delta_{нс}};$$

$$\sigma_o = \frac{100 \times 10^6}{2 \times 3,14 \times 2,4 \times 10^6 \times 0,6} = 11,05 \text{ [даН]};$$

$$\tau_o = \frac{Q}{5,3 \times R \times 2\delta} = \frac{22000}{5,3 \times 1550 \times 0,6} = 4,46 \text{ [даН]};$$

R – радіус кривизни розрахованої панелі.

$\sigma_o < \sigma_{кр}$ ;  $\tau_o < \tau_{кр}$ . Необхідна умова виконується, таким чином, панель, що розглядається, задовольняє вимоги міцності.

### 1.2.3 Ваговий аналіз варіантів панелей

Для того щоб провести ваговий аналіз двох варіантів панелей, необхідно в'яснити об'єм кількісних змін в силовому наборі базової панелі, викликаний застосуванням трьохшарової обшивки.

Як вже відмічалось раніше трьохшарова панель підбиралась з умови рівності ваги  $1 \text{ м}^2$  трьохшарової панелі й  $1 \text{ м}^2$  листа з Д16АТ товщиною 1 мм. Таким чином, обшивка базової конструкції і трьохшарова обшивка рівні за вагою, і у ваговому відношенні їх можна не враховувати. Точніше можна не враховувати масу листа з Д16АТ товщиною 1 мм. А оскільки товщина обшивки в базової конструкції складає 1 мм (разом з набором жорсткості, виходячи з масових характеристик, приймаємо товщину обшивки 1,5 мм), то виграш у вазі буде

рівний вазі обшивки з Д16АТ товщиною 0,5 мм. Площа поверхні зайнятої панеллю складає:  $S=(a \times b)-(a_1 \times b_1)$ , де величини:

- $a, b$  – габаритні розміри панелі ( $a=1300$  мм,  $b=1900$  мм);
- $a_1, b_1$  – розміри вирізу в панелі для кришки люка обладнання ( $a_1=450$  мм,  $b_1=1160$  мм).

Здійснюємо обчислення:

$$S=(1300 \times 1900)-(450 \times 1160)=2470000-522000=1,948 \text{ м}^2.$$

Тоді зміни у вазі складають:

$$\Delta G = S \times \delta \times j = 1,948 \times 5 \times 10^{-4} \times 2,75 \times 10^3 = 2,65 \text{ [кг]}.$$

Зміна ваги відбулася також за рахунок скорочення стрингерів, і відповідно, кріплення.

Так як панелей дві (ліва, права), то економія у вазі передбаченої конструкції у першому приближенні (без обліку мас стрингерів, профілів кріплення) рівне 5,3 кг.

### **1.3 Технічні умови на виготовлення носової частини фюзеляжу транспортного вертольоту**

1. Вимоги до встановлення шпангоутів:

а) допуск на дистанцію в площині типових шпангоутів улюбій точці  $\pm 2$  мм ;

б) шпангоут №2 встановлюється по плиті;

в) шпангоути по отворах люків встановлювати з допуском  $\pm 1$  мм

2. Каркас ліхтаря кабіни пілотів повинен встановлюватися на фюзеляж без деформацій

3. Внутрішню поверхню зібраного агрегату після герметизації ЧЗО МЭС-5 фарбувати по СМ-280.

4. Зовнішню обшивку анодувати, з внутрішнього боку ґрунтовати ФЛ0-86.

5. Для вирівнювання зовнішнього контуру дозволяється установка прокладок товщиною до 1,5 мм з Д16Т (анодованих и ґрунтованих ФЛ-086) між каркасом і обшивкою. Ширина прокладок дорівнює ширині елемента каркасу. Загальна вага прокладок не більше 1 кг.

6. Зміщення центрів замикаючих головок допускається в межах половини поля допуску на діаметр замикаючої головки.

7. Зарубки, підсічки, тріщини на поверхні закладних головок не допускаються.

8. Теоретичні обводи і розбивка шпангоутів за кресленням загального виду.

9. Розбивка в панелях стрингерів за кресленням відповідних панелей.

## 1.4 Аналіз технологічності носової частини фюзеляжу транспортного вертольоту

Технологічність – сукупність властивостей конструкції, які забезпечують експлуатаційні якості виробу і в процесі виготовлення дозволяють досягнути меншої трудомісткості, простоти обробки і збирання, зниження вартості конструкції.

Оціночний рівень технологічності конструкції Мі-8 може визначатися загальними технологічними вимогами і кількісними коефіцієнтами, враховуючими окремі властивості і признаки конструкції складальної одиниці й умови виробництва.

Кількісна оцінка виражається показниками, чисельними значеннями, які характеризують ступінь відповідності вимогам и технологічності конструкції.

З огляду на відсутності статистичних даних кількісна оцінка не проводиться, а проводиться лише оцінка технологічності кореневої нервюри за загальними технологічними вимогами до конструкцій літаків і вертольотів.

### 1. Простота аеродинамічних форм поверхонь агрегатів.

Носова частина фюзеляжу має достатньо прості форми поверхонь і деталей, які входять в її конструкцію.

### 2. Переважне застосування поверхонь одинарної кривизни.

3. Складальні одиниці розчленовуються на раціональне число складових частин.

Даний агрегат розчленовується на достатньо велике число складових частин: нервюри, лонжерони, панелі.

### 4. Широке застосування в конструкції стандартних вузлів і деталей.

В конструкції агрегату застосовані деталі з стандартних профілів: пояса лонжерона, пояса збірних нервюр. Панелі, нервюри, обшивки виконані з стандартних листів. Не стандартними заготовками являються кронштейни.

### 5. Уніфікація елементів конструкції.

В конструкції агрегату застосовані однакові радіуси округлення і фаски на однотипних елементах.

6. Максимальне використання в конструкції матеріалів з хорошими технологічними властивостями.

Усі деталі носової частини фюзеляжу виготовлені з матеріалу Д16Т і Д16АМ. Цей алюмінієвий сплав застосовується для деталей силової конструкції. Д16Т володіє високою межею міцності, малою щільністю, доброю корозійною стійкістю, високою технологічністю.

7. Компоновка конструкції складальної одиниці повинна забезпечувати зручний доступ до місць, які потребують контролю і проведення інших робіт.

8. Орієнтація конструкції на певний метод зборки.

Для виготовлення даного агрегату використовується метод зборки у пристосуванні.

9. Відхилення в теоретичній зоні для керуючих поверхонь  $\pm 2$ мм. Це достатньо висока точність.

Дослідивши вимоги до технологічності носової частини фюзеляжу, робимо висновок, що агрегат володіє задовільною технологічністю.

## **2 Технологічний розділ**

## 2.1 Об'єм та об'єкти заготовчо-штамповочних робіт

Сучасне авіаційне виробництво відрізняється все більше широким використанням тонкостінних деталей і вузлів. Сучасне авіаційне виробництво відрізняється все більше широким використанням тонкостінних деталей і вузлів. Вимоги високої міцності при мінімальній вазі, які пред'являються до конструкцій деталей і вузлів літальних апаратів, можуть бути забезпечені виготовленням останніх з листових напівфабрикатів методами пластичного деформування (зокрема листовою штамповкою).

В даний час близько 60-70% деталей вертольоту підготовлюються у заготовчо-штамповочних цехах. При цьому трудомісткість заготовчо-штамповочних робіт на сьогодні складає близько 10-12% від загальної трудомісткості виготовлення вертольоту.

Застосування процесів листової штамповки розподілено завдяки наступним перевагам:

- високі механічні властивості виготовлених деталей, оскільки обробляемий початковий напівфабрикат має, як правило, дрібнозернисту структуру, яка досягається попередньою пластичною деформацією;

- достатньо висока якість поверхні;

- в основі процесів формоутворення лежить пружно-пластична формозміна, яка сприяє подальшому підвищенню механічних властивостей деталі;

- висока продуктивність і можливість механізації і автоматизації процесів;

В даний час мається тенденція до деякого зростання питомої ваги заготовчо-штамповочних робіт у зв'язку з застосуванням складнодеформованих матеріалів;

В заготовчо-штамповочних цехах виконуються різноманітні технологічні операції на різному обладнанні: механічних і гідравлічних пресах, роликівих і валкових машинах, спеціалізованих станках та ін.

Найбільше габаритними і складними за формою деталями являються зовнішні обшивки вертольоту, які утворюють зовнішні обводи літального апарату. Трудомісткість їх виготовлення складає 15-18 % від всієї трудомісткості заготовчо-штамповочних робіт.

Розглянемо номенклатуру деталей з листа, які застосовуються при виготовленні вертольоту Мі-8.

Для цього вертольоту з листа виготовлюються деталі типу обшивок (одинарної і двійної кривизни) кутники, обтічники, залізи, деталі каркасу типу нервюр, діафрагм, деталі кріплення внутрішніх систем і обладнання, типу

різноманітних кронштейнів, планки та інші деталі типу профілів листа прямолінійного и криволінійного контуру, деталі типу стаканів і т.д. з фланцями, які використовуються в елементах внутрішніх систем і т.д.

Вищеперераховані деталі виготовляються з наступних матеріалів, алюмінієвих сплавів (типу Д16Т, АМГЗМ, АМГ2М, АМГ6М), титанові сплави (типу ОТ41, ВТ10), сталі (12Х18 Н10Т).

Найбільш високі вимоги до точності форм и розмірів у обшивок (от  $\pm 0.2$  до  $\pm 3.0$ ) в залежності від їх габаритів місця розташування на готовому вертольоті. Також досить високі вимоги точності контуру у елементів каркаса типа нервюр, діафрагм (от  $\pm 0.5$  до  $\pm 3.0$ ).

Вимоги до точності елементів, які не входять у потік, порівняно нижче і визначаються їх місцем розташування і розмірами.

Усі вищеперераховані фактори грають важливу роль при визначенні і виборі технології виготовлення тої чи іншої деталі.

## 2.2 Класифікація деталей, що виготовляються

В залежності від масштабів виробництва літальних апаратів на заводі у заготовчо-штамповочних цехах зазвичай мається декілька ділянок, організованих за технологічним принципом: ділянка централізованого розкрою, ділянка штамповки листових деталей, ділянка виготовлення обшивок, ділянка виготовлення деталей типу профілів, ділянка виготовлення деталей типу з труб, ділянка гідропресів і ін. Крім того, на заводі може бути декілька заготовчо-штамповочних цехів, в залежності від масштабів виробництва та інших факторів.

В проектуємому заготовчо-штамповочному цеху розгорнуто багатономенклатурне виробництво. З цією метою усі деталі, які виготовляються у заготовчо-штамповочному цеху, необхідно розподілити на групи з характерними ознаками, безпосередньо впливаючими на спосіб їх виготовлення.

При класифікації повинні встановлюватися (враховуватися) наступні фактори: початковий матеріал деталі, габаритні розміри деталей, характерні параметри геометрії деталей, оптимальний технологічний процес їх виготовлення, функціональне призначення деталей.

У запропонованому класифікаторі усі деталі розбиті на класи за конструктивно-технологічними ознаками, а також враховувались їх функціональні призначення. Кожний клас деталей поділений на типи з точки зору технології виготовлення.

Класифікатор містить наступні класи деталей:

– клас обшивок (вміщає: обшивки одинарної; двійної кривизни, лобовики,);



- деталі каркасу (стінки, кутки, гнутики, кронштейни нервюри, коробки, жорсткості та ін.);
- деталі типу напівпатрубоків;
- малогабаритні деталі (шайби, кільця, накладки, прокладки, наконечники, перехідники и др.);
- крупногабаритні цільнотягнуті деталі (ємності для рідин, газів, оболонки, закінцівки крила, залізи).

## **2.3 Методи і засоби виготовлення основних деталей**

### **2.3.1 Клас обшивок**

Клас обшивок включає в себе обшивки одинарної і подвійної кривизни.

Обшивки одинарної кривизни діляться на циліндричні та конічні.

Основним способом формоутворення обшивок одинарної кривизни є гнучка, прокатка на трьох валкових верстатах.

Отримання конічних обшивок одинарної кривизни досягається за рахунок різниці швидкостей на конусах валиків, а також встановленням валиків під кутом друг до друга. Недоліком такого способу отримання обшивок являється складність урахування пружиння готових обшивок.

Обшивка подвійної кривизни середніх і великих габаритів в одиничному і малосерійному виробництві отримують шляхом виколотки на виколоточних молотках з контролем по ШКС або місцям еталонам поверхні. Паралельно проводиться посадка триферійних зон на листопосадочних верстатах. При серійному виробництві формоутворення здійснюється обтяжкою по пуансону на обтяжних пресах або обтяжкою з розтягненням на пресах типу РО. Основним недоліком таких процесів являється збільшення габаритів оснастки з збільшенням габаритів деталей. У зв'язку з цим виникають проблеми створення оснастки для листового формоутворення за ділянками. Крім того, необхідно виконання доводочних робіт: виколотки внутрішніх ділянок, посадки зовнішніх зон, згладжування складок складної форми. Для отримання таких деталей доцільно застосування падаючого молота з свинцево-цинковими штампами (або другими парами). Це дозволяє поєднати декілька операцій.

Обшивки с малими радіусами кривизни і великими кутами охвата отримують обтяжкою по пуансону на обтяжних пресах.

Обшивки одинарної кривизни циліндричної і конічної форм виготовляють гнучкою прокаткою на валкових верстатах типа КГЛ (копіювально-гнутовий листовий), які мають наступні технічні характеристики:

- КГЛ–2: довжина вигнутих листів до 5 метрів;

-КГЛ–3: довжина вигнутих листів до 7 метрів.

Прокатка циліндричних обшивок з постійною кривизною є найпростіший випадок. Деталі при цьому прокатуються при одному положенні валиків, які встановлюються на заданий радіус кривизни.

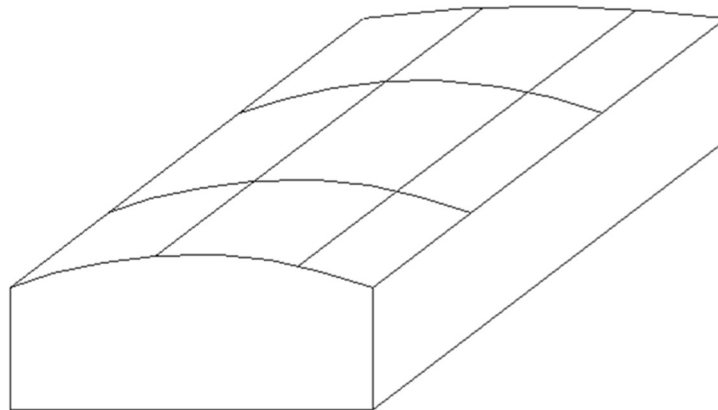
Прокатка конічних обшивок являється найбільш складнішим процесом. На станках с КГЛ валиками постійного діаметру при прокатці конічних обшивок потребуються спеціальні прийоми. Так як перед початком прокатки необхідно розмістити на заготовці процентні лінії, а прокатку здійснювати по етапам з декілька перестановками самої заготовки.

Основним видом технологічних машин для формоутворення листових деталей подвійної кривизни при серійному виробництві являються обтяжні преса, оснащені обтяжними пуансонами, які визначають форму деталі.

Переважно для виготовлення обшивок подвійної кривизни застосовується процес обтяжки с розтягненням. Для роботи за цією схемою, використовуються розтяжно-обтяжні преса типу:

- РО-1М (максимальні габарити обшивок 2000x7000 мм)
- РО-3М (максимальні габарити обшивок 2000x10000 мм).

Остаточна доводка обшивок здійснюється шляхом повторної обтяжки, але з попередньою термообробкою, або шляхом додаткової доводки виколоткою на виколоточних молотах, а також доводка по пуансону вручну неметалевими молотками. Обтяжний пуансон представлений на малюнку 2.1.



Малюнок 2.1 - Обтяжний пуансон

### 2.3.2 Детали каркаса

Деталі типу жорсткостей і нервюр отримують штамповкою (формовкою) по формблоку на гідравлічних пресах типу П-5054 и П5650. Як правило, формовка здійснюється еластичними середовищами.

Заготовки для нервюр і жорсткостей отримують різкою на лазерному верстаті LTC-75.

Деталі типу напівпатрубоків отримують на листоштамповочних молотах. Формоутворення в свинцево-цинкових штампах на листоштамповочних молотах (МЛ), дозволяє поєднувати декілька операцій в одну багатоперехідну, шляхом багаторазового повторення ударів пуансона різної сили і застосування прокладок. Штамповка на МЛ не забезпечує високої продуктивності праці і хорошої точності деталей. При цьому методі штамповки необхідна ручна доробка, на яку витрачається в декілька разів більше часу, чим на основну операцію. Проте цей метод економічно вигідний, так як відлиті матриці з цинку і пуансона з свинцю не потребують більших витрат часу і праці.

В цьому випадку операція штамповки проста, спеціальною оснасткою являється пуансон. Низька вартість і простота виготовлення оснастки, а також короткі строки технологічної підготовки виробництва обумовили широке застосування штамповки гумою в виробництві літальних апаратів.



Малюнок 2.2 – Листоштамповочний молот МЛ-3

**Малогабаритні плоскі деталі простого і складного контурів.**

Штампуються на кривошипних пресах КД2124 і КД2128 в пробивних і вирубних штампах. Штамповка виробляється з смугових заготовок.

**Великогабаритні цілнотягнуті деталі.** Деталі типу ємностей для рідин і газів, оболонок виготовляються на пресі QAB 31,5.

**2.4 Розробка конструктивного рішення оснастки для виготовлення деталей з листа**

**2.4.1 Визначення розмірів заготовок при гнутті**

Визначення розмірів плоских заготовок, які підлягають гнуттю, засновано на рівності довжині заготовки довжини нейтрального шару гнутої деталі і зводиться до визначення положення і довжини нейтрального шару в залежності від відносного радіуса згину  $r/S$ .

У нашому випадку відношення  $r/S = \frac{2,25}{1} = 2,25$ ,  $U$  – образне гнуття.

Для такого гнуття довжина заготовки визначається по формулі:

$$L = l_1 + l_2 + \pi(r + xS),$$

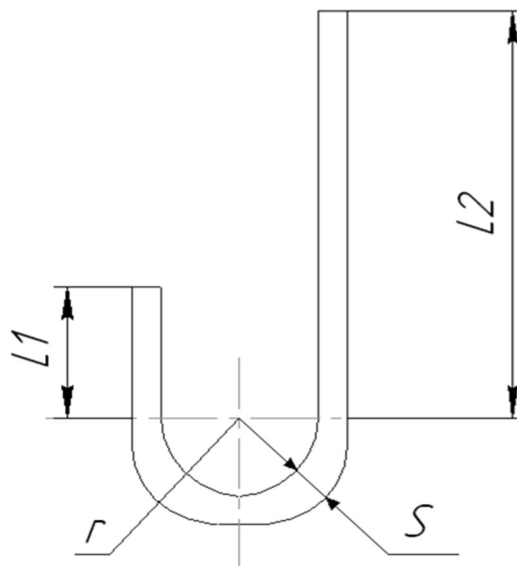
Де  $r$  – радіус гнуття,  $r=1.25\text{мм}$ .

$S$  – товщина матеріалу,  $S=1\text{мм}$ .

$X$  – коефіцієнт, для  $r/S=1,25x=0,46$  визначає положення нейтрального шару;

$$l_1=3\text{мм. } l_2=12,75\text{мм.}$$

$$L=3+12,75+3,14(2,25+1)=21,12 \text{ (мм)}.$$

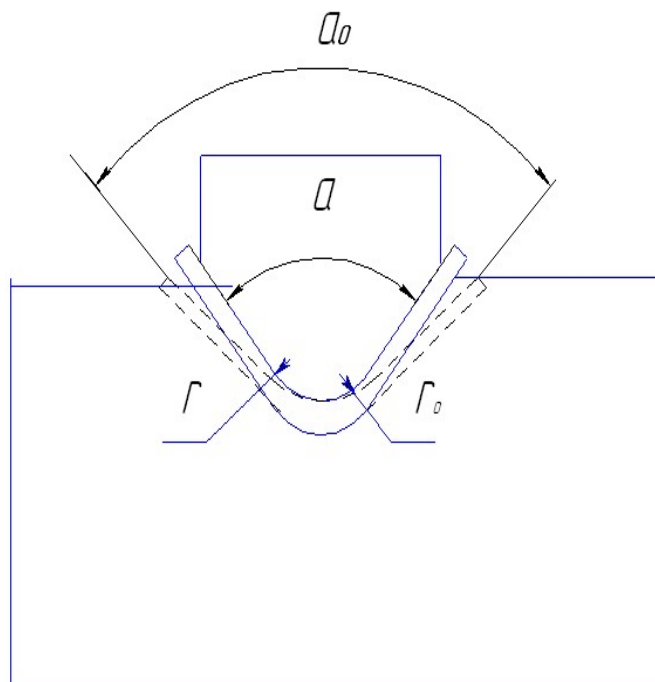


Малюнок 2.3 – Гнута деталь

### 2.4.2 Пружне пружиння при гнутті

Гнуття, являється процесом пластичної деформації, супроводжується пружною деформацією, яка визначається законом Гука. По закінченню гнуття пружна деформація усувається, внаслідок чого відбуваються зміни розмірів у порівнянні з розмірами, заданими інструментом, яке називається пружним пружинням представлено малюнку 2.4.

Пружне пружиння зазвичай виражається в кутовому вимірюванні й являється тою величиною, на яку слід зменшувати кут гнуття, щоб отримати необхідний кут гнutoї деталі. Величина кута пружиння може бути визначена двома способами: аналітичним розрахунком величини пружної деформації або опитним шляхом, за допомогою випробувань і замірів.



Малюнок 2.4 – Схема гнуття

При гнутті радіус закруглення пуансона розраховуємо з урахуванням пружиння по формулі:

$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_0} + 3 \frac{\sigma_T}{ES}}$$

Де:  $r_0$  – радіус закруглення деталі,  $r_0=1,25$  (мм);

$\Sigma_T$  – межа плинності матеріалу,  $\Sigma_T=230$  (МПа);

$E$  – модуль пружності,  $E=2,2 * 10^5$  (МПа) .

$$r = \frac{1}{\frac{1}{1,25} + 3 \frac{230}{2,2 \cdot 10^5 \cdot 1}} = 1,245 (\text{мм})$$

Потім розраховуємо кут пуансона з урахуванням пружиння, оскільки деталь U – образної форми кут пуансона буде негативний:

$$a = (180^\circ - a_0) \times \left( \frac{r_0}{r} - 1 \right)$$

Де: a – кут пуансона;

$a_0$  – необхідний кут на деталі (рівний нулю).

Таким чином, отримуємо:

$$a = (180^\circ - 0) \times \left( \frac{1,25}{1,245} - 1 \right) = -0,72.$$

### 2.4.3 Конструктивні елементи штампа

Штамп – це технологічна оснастка для обробки тиском, під дією якого заготовка отримує форму і розміри, що відповідають поверхні або контурам працюючої поверхні штампа. Він містить нижню частину, яка кріпиться до нерухомого нижнього робочого органу преса, і верхню, що кріпиться до верхнього робочого органу преса.

### 2.4.4 Перевірочні розрахунки штампа на міцність

Стандартні деталі штампа на міцність не розраховують.

Пуансон розраховують на:

а) м'яття опорної поверхні:

$$\sigma_{см} = \frac{P}{F} \leq [\sigma_{см}]$$

Де P – діюче зусилля P=416,44 (кг);

F – площа опорної частини пуансона F=250 мм<sup>2</sup>

$$[\sigma_{см}] = 750 \text{ МПа} = 76,5 \text{ кг/мм}^2.$$

Якщо  $\sigma_{см} > 76,5 \text{ кг/мм}^2$ , то необхідно ставити між матрицею і пуансоном стальну гартовану прокладку.

б) поздовжній вигін  $l = 4,43 \sqrt{\frac{EJ}{nP}}$

Де: l - довжина вільної частини пуансона;

$$E = 2,2 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2 = 2,2 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2$$

### **2.4.5 Розробка схеми виготовлення і ув'язки заготовчо-штамповочної оснастки**

Як вже відмічалось раніше, в останній час поступово відмовляються від плазово-шаблонного методу на увазі його недоліків і застосовують новий комбінований метод ув'язки, більш прогресивний чим плазово-шаблонний, але який ще не досягнув комплексної автоматизації, програмно-інструментальний метод ув'язки (ПРІМ).

Сутність ПРІМ полягає в такій побудові системи конструкторсько-технічної підготовки авіавиробництва, при якій забезпечується єдність початкової інформації, використовується у процесі проектування керуючих програм обробки деталей на станках з ЧПК з одного боку і при створенні плазово-шаблонної та об'ємної оснастки з другого боку.

Це досягається:

а) розробкою і використанням єдиної початкової геометричної інформації у вигляді математичної, інформаційних і графічних моделей колективного використання.

б) більш повним уявленням розмірів на кресленнях з записом у них відомостей, необхідних і достатніх для однозначного їх читання різними виконавцями,

в) впровадження широко варійованою схемою паралельно-послідовного формоутворення об'єктів виробництва і їх геометричної ув'язки, яка дозволяє узгоджувати форми і розміри деталей в процесі їх паралельного виготовлення різними способами.

Особливості проектування і задача поверхонь при ПРІМ, полягають у широкому застосуванні сучасних обчислювальних і технічних засобів, що дозволяє видати будь-яке число тонких і повноцінних за об'ємом інформації розрахункових таблиць.

При ПРІМ конструкторські плази перестали бути єдиними першоджерелами всієї геометричної інформації про деталі і вузли.

Значна частина їх даних визначається автоматизацією за математичними й інформаційними моделями.

### **2.4.6 Обґрунтування складу заготовчо-штамповочного цеху для виробництва транспортного вертольоту**

Заготовчо-штамповочний цех – це структурний виробничо-господарський підрозділ авіабудівельного заводу, який забезпечує виконання виробничих планів за усіма техніко-економічними показниками.

Заготовчо-штамповочний цех підпорядковується безпосередньо головному технологу заводу, входить до складу цехів підготовки виробництва і працює у постійному контакті з конструкторським і технологічним відділами заводу.

Цех має у постійному користуванні виробничі і побутові спорудження, технологічне і підйомно-транспортне обладнання, технологічну оснастку, господарський інвентар і ін.

Основні завдання цього цеху:

забезпечення цехів і служб підприємства всією необхідною номенклатурою деталей и заготовок, у тому числі необхідними розрахунковими даними з метою проведення підготовки виробництва по виготовленню заготовчо-штамповочної оснастки, виготовлення деталей і проведення складальних робіт виробу, який виготовляється.

Функції заготовчо-штамповочного цеху:

- опрацювання теоретичних креслення вертольоту;
- виконання комплексу робіт з ув'язки форм і розмірів деталей;
- контроль оснастки і деталей;
- зберігання оснастки;
- виготовлення матриць на ливарній ділянці для виготовлення деталей;
- участь у рішенні усіх технічних питань, виникаючих при виготовленні заготовчо-штамповочної оснастки необхідної для виробництва об'єкту виробництва.

Структура заготовчо-штамповочного цеху:

- апарат управління;
- служби управління;
- виробничі підрозділи.

У апарат управління входять:

- начальник цеху;
- заступник начальника цеху з заготовчо-штамповочних робіт;
- заступник начальника цеху з виробництва;
- заступник начальника цеху з підготовки виробництва.

У служби управління цехом входять:

- технологічне бюро цеху (ТБ);
- планово-диспетчерське бюро (ПДБ);
- бюро праці і зарплати (БТЗ);
- бюро технічного контролю (БТК);
- служба механіка цеху.

Структура управління ЗШЦ представлена на малюнку 2.5.





Малюнок 2.5 - Схема управління заготовчо-штамповочного цеху

## 2.5 Проектування цеху

При проєкті нового цеху необхідно звернути увагу на те, щоб виробнича структура цеху, його склад, промислові будівлі і споруди відповідали вимогам сучасних форм організації виробництва і науковим принципам сучасного технічного проєктування промислових об'єктів, тобто:

- поглиблення подетальної і технологічної спеціалізації;
- створення і впровадження найбільш продуктивних засобів виробництва;
- підвищення рівня механізації й комплексного автоматичного міжцехового й міжопераційного транспортування заготовок і деталей;
- автоматизація інженерної праці і процесів управління виробництвом на підставі широкого впровадження електроніки;
- підвищення рівня механізації і автоматизації технологічних процесів

виготовлення і контролю деталей;

- забезпечення вимог охорони праці і норм промислової санітарії, які відповідають вимогам ергономіки і високої культури виробництва [10].

### 2.5.1 Виробнича програма цеху

Виробнича програма цеху включає наступні показники: номенклатуру виробів, програму випуску (товарну продукцію) і програму запуску (валову продукцію).

У багатноменклатурному цеху вся номенклатура виробів класифікується по групам, для кожної з яких виділяється типовий представник. Для цих представників розробляються і нормуються технологічні процеси, а потім необхідні дані розповсюджуються на усі вироби групи. В проекті задана програма випуску  $N_{\text{вип}}=134$  – це кількість одиниць готової продукції, яка випускається заводом протягом року.

Програма випуску відрізняється від програми запуску на величину змінення заділу незавершеного виробництва й неминучих технологічних втрат (при  $N_{\text{зап}}=N_{\text{вип}}(1+b-v/100)$ )

де  $b$  - відсоток технічно неминучих втрат,

$v$  – відсоток змінення заділу незавершеного виробництва.

Величина технічно неминучих втрат у планових розрахунках встановлюється по даним виробництва з розрахунком організаційно-технічних заходів підвищення якості продукції.

Приймаємо  $b=5\%$ . Заділами незавершеного виробництва можна знехтувати, т.б.  $v=0$ .

$$N_{\text{зап}}= 134(1+5/100)=140 \text{ (шт.)}$$

### 2.5.2 Розрахунок кількості обладнання й обґрунтування типу виробництва

Обладнання цеху підрозділяється на 3 групи:

- основне виробниче (розрахункове),
- додаткове виробниче (нерозрахункове),
- допоміжне.

До основного виду обладнання відносяться усі види обладнання, які використовуються у технологічному процесі підготовки деталі до додаткової обробки відносно до розмічальних плит, контрольне і інше обладнання.

До допоміжного виду відноситься обладнання механічного цеху, майстерні ремонту пристосувань і інших допоміжних служб.

Загальна кількість основного технологічного обладнання цеху визначається як сума одиниць окремих видів обладнання, необхідних для виготовлення у системі номенклатури виробів цеху.

Розрахункова кількість однотипного обладнання визначається як сума одиниць окремих видів обладнання, необхідних для виготовлення в системі номенклатури виробів цеху.

Розрахункова кількість однотипного обладнання визначається по формулі:

$$C_{роз} = \frac{T_i \cdot N_{запл}}{\Phi_{\partial} \cdot K_{одн} \cdot K_{вн}}$$

де  $C_{роз}$  - розрахункова кількість обладнання даного виду в цеху;

$T_i$  - трудомісткість виготовлення на обладнання даного типу;

$\Phi_{\partial}$  - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, у відповідності з прийнятим режимом роботи;

$K_{одн}$  - кількість робочих одночасно працюючих на одному виді обладнання, технічно обґрунтована;

$K_{вн}$  - коефіцієнт виконання норми.

Отримане значення уточнюємо до більшого найближчого числа. Виняток складає цінне, дороге обладнання.

Далі визначаємо коефіцієнт завантаження обладнання  $K_3$ :

$$K_3 = \frac{C_{розі}}{C_{прийн}}$$

де  $C_{прийн}$  - прийнята кількість обладнання.

Таблиця 2.1 - Розрахунок кількості обладнання

| № п/п | Найм. обладнання. | Трудоміст. на одиницю обладнання, люд/хв | $K_{одн}$ | $\Phi_{\partial}$ | Кіль-сть обладн. |     | $K_3$ |
|-------|-------------------|--|-----------|-------------------|------------------|-----|-------|
|       |                   |  |           |                   | Розр.            | Пр. |       |
| 1     | Пила стрічкова    | 712                                      | 1         | 2030              | 0,35             | 1   | 0,35  |
| 2     | Гільйотина НЗ118  | 296                                      | 1         | 2030              | 0,15             | 1   | 0,15  |
| 3     | Віброножиці ВНС34 | 1069                                     | 1         | 2030              | 0,53             | 1   | 0,53  |
| 4     | РФП-1             | 515,7                                    | 2         | 2030              | 0,13             | 1   | 0,13  |

|       |  |        |   |      |      |    |           |
|-------|--|--------|---|------|------|----|-----------|
| 5     | ОП-2М                                      | 136,2  | 1 | 2030 | 0,10 | 1  | 0,10      |
| 6     | ОП-3                                       | 893,5  | 2 | 2030 | 0,22 | 1  | 0,22      |
| 7     | ФОЛ-5                                      | 1494   | 2 | 2030 | 0,37 | 1  | 0,37      |
| 8     | Лазерный верстат<br>ЛТС-75                 | 259    | 1 | 2030 | 0,13 | 1  | 0,13      |
| 9     | Прес<br>КД2124                             | 4876   | 1 | 2030 | 2,4  | 3  | 0,8       |
| 10    | Прес<br>КД2128                             | 4508   | 1 | 2030 | 2,22 | 3  | 0,74      |
| 11    | П-5054                                     | 4489   | 1 | 2030 | 2,21 | 3  | 0,74      |
| 12    | П-5650                                     | 4525   | 1 | 2030 | 2,23 | 3  | 0,74      |
| 13    | КГЛ-2                                      | 824,5  | 1 | 2030 | 0,41 | 1  | 0,41      |
| 14    | КГЛ-3                                      | 1010   | 2 | 2030 | 0,25 | 1  | 0,25      |
| 15    | РО-3М                                      | 841,5  | 3 | 2030 | 0,14 | 1  | 0,14      |
| 16    | Верстат<br>листоправильный<br>трёхвалковый | 458,3  | 2 | 2030 | 0,12 | 1  | 0,12      |
| 17    | МЛ-0,8                                     | 966    | 1 | 2030 | 0,48 | 1  | 0,48      |
| 18    | МЛ-1,5                                     | 1690   | 1 | 2030 | 0,84 | 1  | 0,84      |
| 19    | МЛ-3,0                                     | 560    | 1 | 2030 | 0,28 | 1  | 0,28      |
| 20    | Свердлильный<br>верстат С-30               | 2581,5 | 1 | 2030 | 1,27 | 2  | 0,63<br>5 |
| 21    | Молот<br>виколоточный<br>БЕШЕ              | 1222   | 2 | 2030 | 0,31 | 1  | 0,31      |
| 22    | Печь<br>СДО20.40.20/10                     | 570,5  | 2 | 2030 | 0,14 | 1  | 0,14      |
| 23    | QAB-31,5                                   | 4297   | 1 | 2030 | 2,12 | 3  | 0,71      |
| 24    | РА-100 Pells                               | 4356,5 | 2 | 2030 | 1,07 | 2  | 0,53<br>5 |
| 25    | Галтовочный<br>барабан 1988                | 4522   | 1 | 2030 | 2,23 | 3  | 0,74      |
| Разом |  |        |   |      |      | 39 |           |

### 2.5.3 Визначення штату цеху

В штат цеху входять наступні категорії робочих:

- основні виробничі робочі,
- допоміжні робочі,
- інженерно-технічний персонал (ІТР),
- лічильно-контрольний персонал (ЛКП),
- молодший обслуговуючий персонал (МОП).

Кількість основних робочих цеху, зайнятих на нормованій роботі, розраховується за професіями і розрядами, виходячи з трудомісткості виготовлення за окремими видами і розрядами робіт.

Кількість основних робочих розраховується по формулі:

$$n_{роз} = \frac{T_i \cdot N_{зан}}{\Phi_{\partial} \cdot K_{вн}}$$

де  $n_{роз}$  - розрахункова кількість основних робочих,

$T_i$  - трудомісткість робіт даної професії й розряду,

$N_{зан}$  - річна програма запуску,

$\Phi_{\partial}$  – дійсний річний фонд робочого часу,

$K_{вн}$  - коефіцієнт виконання норм.

Результати розрахунку кількості основних робочих зведемо у таблицю 2.2. Кількість допоміжних робочих, зайнятих на ненормованих місцях, визначається у залежності від числа обслугованих робочих місць, кількість приведено у таблиці 2.3.

Кількість ІТР, службовців і МОП визначаються за нормами чисельності. Результати розрахунку приведені в таблицях 2.4, 2.5 , 2.6.

Таблиця 2.2 - Розрахунок кількості основних робочих

| № | Найм. обладнання.       | Розряд | $\Phi_{\partial}$<br>(год) | $T_i$<br>(люд/хв) | $n_{роз}$ | $n_{прий}$ |
|---|-------------------------|--------|----------------------------|-------------------|-----------|------------|
| 1 | Пила стрічкова          | 4      | 1860                       | 712               | 1,50      | 2          |
| 2 | Гільйотина Н3118        | 4      | 1860                       | 296               | 1,21      | 2          |
| 3 | Вібронозиці ВНС34       | 4      | 1860                       | 1069              | 1,77      | 2          |
| 4 | РФП-1                   | 5      | 1860                       | 515,7             | 3,37      | 4          |
| 5 | ОП-2М                   | 4      | 1860                       | 136,2             | 1,2       | 2          |
| 6 | ФОЛ-5                   | 5      | 1860                       | 1494              | 3,2       | 4          |
| 7 | Лазерний верстат LTC-75 | 5      | 1860                       | 259               | 1,2       | 2          |

|       |  |   |      |        |      |     |
|-------|--|---|------|--------|------|-----|
| 8     | Прес<br>КД2124                           | 4 | 1860 | 4876   | 4,5  | 5   |
| 9     | Прес<br>КД2128                           | 4 | 1860 | 4508   | 4,2  | 5   |
| 10    | П-5054                                   | 4 | 1860 | 4489   | 6,2  | 7   |
| 11    | П-5650                                   | 4 | 1860 | 4525   | 6,2  | 7   |
| 12    | КГЛ-1                                    | 4 | 1860 | 824,5  | 2,6  | 3   |
| 13    | КГЛ-2                                    | 4 | 1860 | 1010   | 3,72 | 4   |
| 14    | РО-1М                                    | 5 | 1860 | 893,5  | 2,68 | 3   |
| 15    | РО-3М                                    | 5 | 1860 | 841,5  | 2,67 | 3   |
| 16    | Верстат листопривильний<br>трьохвалковий | 4 | 1860 | 458,3  | 2,33 | 3   |
| 17    | МЛ-0,8                                   | 4 | 1860 | 966    | 2,71 | 3   |
| 18    | МЛ-1,5                                   | 4 | 1860 | 1690   | 3,21 | 4   |
| 19    | МЛ-3,0                                   | 4 | 1860 | 560    | 1,38 | 2   |
| 20    | Свердлильний станок С-30                 | 4 | 1860 | 2581,5 | 3,85 | 4   |
| 21    | Молот викол.БЕШЕ                         | 4 | 1860 | 1222   | 3,88 | 4   |
| 22    | Піч СДО20.40.20/10                       | 4 | 1860 | 570,5  | 2,38 | 3   |
| 23    | QAB-31,5                                 | 5 | 1860 | 4297   | 5,08 | 6   |
| 24    | РА-100 Pells                             | 4 | 1860 | 4356,5 | 5,12 | 6   |
| 25    | Галтовочний барабан 1988                 | 3 | 1860 | 4522   | 4,24 | 5   |
| 26    | Слюс. роб. місце                         | 4 | 1860 | 5865   | 6,21 | 7   |
| Разом |  |   |      |        |      | 102 |

Таблиця 2.3 - Розрахунок кількості допоміжних робітників

| № | Професія                           | Кількість<br>робочих |
|---|------------------------------------|----------------------|
| 1 | Наладчик унікального обладнання    | 2                    |
| 2 | Наладчик пресів                    | 2                    |
| 3 | Слюсар з обслуговування обладнання | 3                    |
| 4 | Мастильник                         | 2                    |
| 5 | Електромонтер                      | 2                    |
| 6 | Слюсар з ремонту обладнання        | 2                    |

|       |                                 |    |
|-------|---------------------------------|----|
| 7     | Верстатник з ремонту обладнання | 2  |
| 8     | Комірник комори                 | 1  |
| 9     | Механік цеху                    | 1  |
| 10    | Слюсар ПРІН                     | 4  |
| 11    | Верстатник ПРІН                 | 2  |
| 12    | Комірник ІРКа                   | 1  |
| 13    | Роздавальник креслень           | 1  |
| 14    | Комірник комплектів складів     | 1  |
| 15    | Підготувальник                  | 1  |
| 16    | Транспортний робітник           | 2  |
| 17    | Прибиральник                    | 2  |
| 18    | Контролер                       | 2  |
| Разом |                                 | 33 |

Таблиця 2.4 - Кількість ІТР

| Підрозділ              | №  | Посада                        | Кількість |
|------------------------|----|-------------------------------|-----------|
| Керуючий склад         | 1  | Начальник цеху                | 1         |
|                        | 2  | Зам начальника цеху           | 2         |
| Виробництво            | 3  | Старший майстер               | 1         |
|                        | 4  | Змінний майстер               | 3         |
| Підготовка виробництва | 5  | Начальник Технологічного бюро | 1         |
|                        | 6  | Технолог                      | 4         |
|                        | 7  | Конструктор                   | 1         |
|                        | 8  | Інженер з інструментів        | 1         |
|                        | 9  | Майстер ПРІН                  | 1         |
|                        | 10 | Завідуючий ІРКа               | 1         |
| ІТР по роботі з ЕОМ    | 11 | Інженер з обслуговування ЕОМ  | 1         |
|                        | 12 | Програміст                    | 1         |

|                   |    |                      |    |
|-------------------|----|----------------------|----|
|                   | 13 | Оператор ЕОМ         | 1  |
| ПДБ               | 14 | Начальник ПДБ        | 1  |
|                   | 15 | Плановик             | 2  |
|                   | 16 | Диспетчер            | 2  |
|                   | 17 | Технік з матеріалів  | 1  |
| БТЗ               | 18 | Начальник БТЗ        | 1  |
|                   | 19 | Нормувальник         | 2  |
|                   | 20 | Економіст            | 1  |
| Група<br>механіка | 21 | Механік              | 1  |
|                   | 22 | Майстер з обладнання | 1  |
| БТК               | 23 | Начальник БТК        | 1  |
|                   | 24 | Контрольний майстер  | 2  |
| Разом             |    |                      | 34 |

Таблиця 2.5 - Кількість рахунково-контрорського персоналу

| Підрозділ                  | № | Посада            | Кількість |
|----------------------------|---|-------------------|-----------|
| ПДБ                        | 1 | Нарядчик          | 1         |
|                            | 2 | Обліковець        | 1         |
| Бухгалтерія                | 3 | Бухгалтер         | 1         |
| Підготовка<br>виробництва  | 4 | Архіваріус        | 1         |
| Загальне<br>обслуговування | 5 | Секретар-машиніст | 1         |
|                            | 6 | Завгосп           | 1         |
| Разом                      |   |                   | 6         |

Таблиця 2.6 - Кількість МОП

| №     | Професія                            | Кількість |
|-------|-------------------------------------|-----------|
| 1     | Прибиральник контрорських приміщень | 1         |
| 2     | Гардеробник                         | 1         |
| Разом |                                     | 2         |



## 2.6 Рішення з забезпечення якості виготовлення продукції і способи контролю

Основними критеріями оцінки якості деталей являються:

- відповідність виробничих інструкцій й інструменту ВІАМ, НІАТ і іншим директивним матеріалам;
- відповідність діючих виробничих процесів і виробничих інструкцій,
- дотримання технологічної дисципліни на робочому місці;
- проміжний і остаточний контроль при виготовленні деталей.

Контроль деталей залишається на основі креслень, інструкцій, карт контролю з використанням шаблонів, контрольної оснастки й універсального вимірювального інструменту.

Контроль якості, як необхідна частина виробничого процесу, повинен входити у планові показники і виражатися у матеріальних і трудових витратах. Рівень підготовки осіб, які беруть участь у контролі якості, повинен бути на розряд вище, по відношенню до виконавця контрольної оснастки.

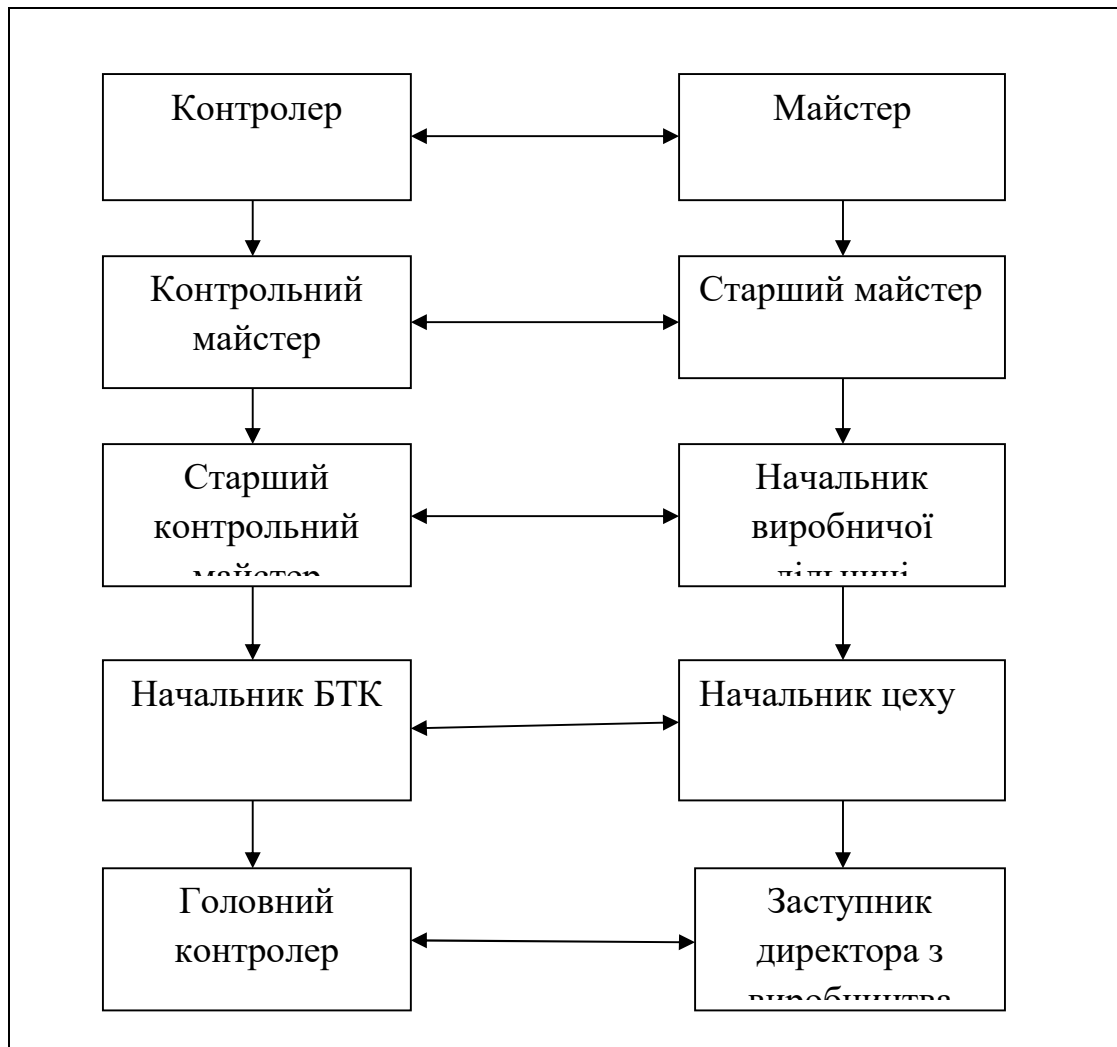
У цеху питаннями якості займається бюро цехового контролю. Цей підрозділ підпорядковується відділу головного контролера підприємства.

Начальнику БЦК з питань забезпечення якості продукції в цеху підпорядковані усі служби цеху. Служба БТК вирішує наступні задачі:

1. Організація контролю якості й приймання продукції на усіх етапах виробництва.
2. Збір статичних матеріалів за результатами контролю якості.
3. Визначення рівня якості по ділянкам і цеху в цілому.
4. Відкриття можливостей підвищення рівня якості і отримання даних для планування.
5. Вироблення методики і системи профілактичних впливів з метою підвищення рівня якості продукції.

Для контролю операцій при виготовленні деталей з листа застосовуються наступні методи або види контролю:

1. Вхідний контроль.
  - 1.1 Перевірка наявності клейма, марки матеріалу здійснюється по кресленню, візуально.
  - 1.2 Замір товщини матеріалу здійснюється за допомогою індикатора ГОСТ 577-68 і листоміру.
  - 1.3 Перевірка поверхні заготовки на відсутність тріщин, подряпин. Здійснюється за допомогою штангенциркуля ШЦ ГОСТ 8309-57, скоби з індикатором ГОСТ 577-68.



Малюнок 2.7 - Схема звітності

2. Контроль операцій формоутворення здійснюється за допомогою різних вимірювальних інструментів.

3. Контроль якості зачистки і поліровки.

4. Контроль лінійних розмірів по кресленню, здійснюється за допомогою штангенциркуля ШЦ ГОСТ 8309-57, кутка ГОСТ 4176-66, лінійки металевої ГОСТ 437-86.

5. Контроль радіуса вигину, використовується радіусомір.

6. Контроль уточнення здійснюється за допомогою індикатора.

7. Прямолінійність утворюючої для деталей одинарної кривизни, здійснюється за допомогою лінійки 1x100 ГОСТ 427-56 і щупів ГОСТ 887-64.

8. Контроль по еталону.

9. Магнітний контроль.

10. Рентгенівський контроль.

11. Ультразвуковий контроль.

12. Випробування зразків на міцність.

13. Ваговий контроль.

Контрольні операції, які потребують контрольного обладнання, здійснюються у загальнозаводських лабораторіях вибірково з частини деталей проектної партії або зразків, які розкроєні з листа з деталями, що пройшли усі стадії технологічного циклу, характерними для даного типу деталей.

### **3 Економічний розділ**

### 3.1 Характеристика товару

В проектуємому цеху об'єктом виробництва є деталі з листа. Однак ці деталі не можуть бути окремим товаром, тому що вони призначені за для використання тільки у сукупності з деталями та агрегатами вертольота типу Мі-8. У подальшому будемо розглядати вертоліт Мі-8, як кінцевий продукт виробництва, який представлений на ринок.

#### 3.1.1 Аналіз ринку

Ринок – це особлива економічна категорія, яка представляє собою сукупність актів купівлі - продажу та умов реалізації товару.

В процесі виробництва виробу виробник зіштовхується з проблемою багато покупців, а вимоги різноманітні, та як що спробувати задовольняти усі вимоги, то буде великий об'єм продаж та колосальні фінансові витрати. Тому потрібно виділити визначену частку споживачів або частку ринку, які пред'являтимуть однорідні вимоги, що до товару – сегментація ринку.

Вибір стратегії сегментації ринку залежить від наступних факторів:

- від виду продукції, яка випускається;
- від положення та репутації підприємства на ринку;
- від фінансового стану підприємства та його виробничих можливостей.

При розгляді засобів сегментації ринку попередньо вивчаються наступні фактори:

- географічні;
- демографічні;
- соціально-економічні;
- психологічні;
- поведінкові.

Розділимо ринки на сегменти по країнам.

Ринки держав пострадянського простору.

Переваги:

- традиційність зв'язків;
- відомість марки «Мі»;
- система після продажного обслуговування достатньо добре налагоджена

та зручна.

Недоліки:

- загальна економічна криза країн;
- складності у зв'язку зі взаємними неплатіжками;
- введення митних бар'єрів, своїх неконвертованих валют.

Ринки країн дальнього зарубіжжя:

Переваги:

- великі розміри ринків;
- можливості отримання прибутку у конвертованій валюті;
- стабільний політичний та економічний стан.

Недоліки:

- складності з після продажним обслуговуванням;
- складність з налагодженням контактів;
- недостатня відомість та популярність марки «Мі»;
- недовіра покупців.

### 3.1.2 Маркетинг

1. Вибір політики та методів ціноутворення.

Розрізняють 4 види цін:

- тверда ціна;
- рухома ціна;
- слизька ціна;
- ціна з наступною фіксацією.

Для вертольоту – виробу з тривалим строком виготовлення використовується слизька ціна, яка обчислюється на момент виконання контракту шляхом перегляду договірної (базисної) ціни з урахуванням змін у витратах виробництва за період виконання заказу на виріб.

Маркетинг виділяє 4 види цінової стратегії на ринку:

- стратегія високих цін;
- стратегія низьких цін (проникнення на ринок);
- стратегія диференційованих цін (система знижок та надбавок);
- стратегія конкурентних цін:
  - а) стратегія цінового лідера;
  - б) стратегія гнучких та еластичних цін (в залежності від попиту та пропозиції);
  - в) стратегія ув'язування ціни з якістю.

2. Організація збути та продажі продукції.

Звичайно вертоліт збувають шляхом прямих поставок. На підприємстві існують відповідні служби – відділи та відділ зовнішньоекономічних зв'язків. У цих відділах проводиться детальне дослідження ринку, опрацьовуються варіанти можливих партнерів та налагоджуються зв'язки між сторонами. За підсумками переговорів укладається договір про постачання виробу до певного строку, у певній кількості, по певній ціні.

### 3. Реклама.

Для успішного просування виробу на ринок необхідна реклама продукції.

Рекламу розглядають як інформацію о споживчих властивостях виробу, як вид комунікативного зв'язку між виробником та споживачем. Це властивості формування запиту для того, щоб надати інформацію про властивості виробу.

Рекламні форми, які застосовуються до вертольоту Мі-8:

- печатна реклама (проспекти, каталоги, буклети, календарі, листівки);
- реклама в пресі;
- теле-, радіо-, кінореклама;
- участь у авіасалонах;
- фірмові видання, ілюстрації та характеристики у престижних світових каталогах.

### 3.1.3 Кадри та управління

Штат робітників цеху розписаний в економічній частині проекту.

Формування штату робітників проводиться наступним чином:

1. В БТЗ розраховується необхідна кількість основних та допоміжних робочих, ІТР, МОП та подається заявка на необхідних робітників в відділ кадрів заводу.
2. Відділ кадрів направляє робітників до цеху, де здійснюється співбесіда з начальником цеху.
3. Як що робітник відповідає необхідним вимогам, він зараховується до цеху.

### 3.1.4 Аналіз ризиків

Ризик – міра мінливості та невпевненості віддачі, яка складається з очікуваних надходжень та прибутку від інвестицій. При оцінюванні ризиків необхідно враховувати два фактора: об'єм фінансування та фактор часу.

Розрізняють два види ризиків:

1. Диверсифікований – це фінансовий ризик фірми.
2. Недиверсифікований – ризик системи в цілому.

Для скорочення ризиків можливе застосування різноманітних заходів при підписанні угод.

Для компенсації ризиків служить страхування.

Страховання – це фінансове забезпечення можливих збитків: зниження або повна компенсація збитків.

### 3.1.5 Фінансування проекту

Наданий час «Мотор Січ» знаходиться на державних дотаціях. Держава є основним джерелом матеріально-технічного забезпечення підприємства.

Собівартість та оптова ціна продукції, яка випускається в цеху, що проектується розраховується в таблиці.

### 3.2 Визначення основних техніко-економічних показників цеху

*Розрахунок кошторису витрат на виробництво продукції цехом.*

Кошторис затрат на виробництво відображує витрати цеху на річну програму запуску і складається по економічним елементам та статтям калькуляції.

Відображенню затрат за економічними елементами необхідно для узгодження кошторису цеху з кошторисом заводу. Кошторис калькуляційних витрат використовується при розрахунку планової умовної ціни окремих конкретних виробів.

Розрахунок кошторису витрат на виробництво продукції цехом, що проектується зведемо у таблицю.

Витрати на сировину та основні матеріали вираховуємо за формулою:

$$C_m = 1.05 \cdot N_p \cdot Ц,$$

де  $N_p$  – норма витрати матеріалу,  $N_p$  = вага виробу/коефіц. використання матеріалу - 0,75.  $N_p = 717/0,75 = 956$  кг.

$Ц$  – гуртова ціна 1 кг матеріалу – 200 грн.

Коефіцієнт 1.05 враховує транспортно-заготівельні витрати.

$$C_m = 1.05 \cdot 956 \cdot 200 = 200760 \text{ (грн.)}$$

Вартість витрат, що повертаються, визначається за формулою:

$$C_{отх} = C_{лотх} \cdot Ц_{отх}$$

где  $C_{лотх}$  – маса зворотних відходів,

$Ц_{отх}$  – ціна відходів.

$$C_{отх} = 239 \cdot 180 = 43020 \text{ (грн.)}$$

*Розрахунок прямої заробітної плати виробничим робочим.*

Пряма заробітна плата виробничим робочим розраховується за формулою:

$$ПЗП = T \cdot e^{\left(1 + \frac{\overline{K_{ym}} + \overline{K_{um}}}{100}\right)},$$



де  $T$  – трудомісткість відрядних (сдельных) робіт у планованому періоді, люд-час;

$\bar{e}$  – середня годинна ставка по відрядним роботам, грн/люд-час;

$\overline{\kappa_{ум}}, \overline{\kappa_{ин}}$  – середні по цеху нормативи доплат за умови та інтенсивність праці, %;

Середню годинну ставку  $e$  можливо вирахувати за формулою:

$$e = \frac{\sum_R e_R \cdot n_R}{\sum_P n_P},$$

де  $e_R$  – годинна ставка  $R$ -го розряду;

$n_R$  – кількість робочих  $R$ -го розряду.

Вихідні дані для розрахунку зведемо у таблицю 3.1:

Таблиця 3.1 - Вихідні дані

|                  | Розряд робочих | Кількість робочих на ділянці, $n_i$ | Годинна ставка $e$ , грн | $R_i, n_i$ | $e_i \cdot n_i$ |
|------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------|------------|-----------------|
| Діл. пр. проф.   | 3              | 45                                  | 40,88                    | 135        | 1839,6          |
|                  | 4              | 21                                  | 48,18                    | 84         | 1011,78         |
|                  | 5              | 11                                  | 55,48                    | 55         | 610,28          |
| Діл. лист. проф. | 3              | 10                                  | 40,88                    | 30         | 408,8           |
|                  | 4              | 37                                  | 48,18                    | 148        | 1782,66         |
|                  | 5              | 10                                  | 55,48                    | 50         | 554,8           |
| Ділянка гнуття   | 3              | 15                                  | 40,88                    | 45         | 613,2           |
|                  | 4              | 28                                  | 48,18                    | 112        | 1349,04         |
|                  | 5              | 7                                   | 55,48                    | 35         | 388,36          |
|                  |                | 184                                 | 433,62                   | 694        | 8558,52         |

Середня годинна ставка  $\bar{e}$  рівняє:

$$\bar{R} = \frac{694}{184} = 3,77; \bar{e} = \frac{8558,52}{184} = 46,51 \text{ грн./год}$$

Таким чином пряма заробітна плата виробничим робочим рівняє:

$$ПЗП = 46,51 \cdot 2524,25 \cdot 134 = 15731984,24 (\text{грн.}).$$

*Розрахунок додаткової заробітної плати виробничим робочим.*

Фонд додаткової заробітної плати, виробничим робочим без урахування премій за підсумками роботи, розраховується за формулою:

$$ДЗП = ПЗП \left( \frac{К_{\text{прем}} + К_{\text{час}} + К_{\text{дн}} + К_{\text{мес}}}{100} \right),$$

де  $К_{\text{прем}}$ ,  $К_{\text{час}}$ ,  $К_{\text{дн}}$ ,  $К_{\text{мес}}$  – прийняті нормативи премій, годинних, денних, місячних доплат, %.

Премії по відрядно-преміальним системам приймаємо  $К_{\text{прем}}=40\%$ ; годинні доплати – 10%; денні доплати – 12%; місячні доплати – 10%.

Додаткова заробітна плата виробничим робочим рівняє:

$$ДЗП = 15731984,24 \times \left( \frac{40 + 10 + 12 + 10}{100} \right) = 11327028,65 (\text{грн.})$$

*Розрахунок відрахувань на соціальне страхування виробничих робочих.*

Відрахування на соціальне страхування складає: 37% від повного фонду заробітної плати виробничих робочих та дорівнюють:

$$СС = \frac{37}{100} (ПЗП + ДЗП),$$

$$СС = 0,37(15731984,24 + 11327028,65) = 10011834,77 (\text{грн.}).$$

*Розрахунок витрат на підготовку та освоєння виробництва.*

До витрат на підготовку та освоєння виробництва враховують витрати на підготовку та освоєння виробництва нових видів продукції та нових технологічних процесів. Дані витрати включають в себе вартість виробу у вигляді відрахувань до фонду освоєння нової техніки.

Розмір цих витрат приймаємо на рівні 10% від суми витрат на матеріали та прямої заробітної плати виробничих робочих по даному виробу:

$$C_{\text{подг}} = 0,1(ПЗП + C_{\text{м}}) = 0,1(15731984,24 + 323400) = 1605538,42 (\text{грн.})$$

*Розрахунок витрат на відшкодування зносу інструментів та пристосувань цехового призначення.*

До цієї статті враховують витрати на спеціальне пристосування (шаблони, штампи, формблоки, обтяжні пуансони). Приймаємо ці витрати на рівні 8% от вартості обладнання, на якому використовується ця оснастка:

$$C_{\text{сп.осн}} = 0,008 \cdot C_{\text{обор}} = 0,08 \cdot 862578 = 69006,24 (\text{грн.})$$

*Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію обладнання.*

Кошторис витрат на утримання та експлуатацію обладнання складається з декількох статей. Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.2.

Стаття 1.

Враховує амортизаційні відрахування за основним фондом цеху: будівлі, робочі машини та підйомно-транспортні засоби, інструменти та пристосування, виробничий та господарський інвентар.

Загальна сума амортизаційних відрахувань по основним фондам визначається за формулою:

$$A_{\text{зод}} = \sum_i \frac{H_{ai}}{100} \cdot C_{\text{перв.}i},$$

де  $H_{ai}$  – норма амортизаційних відрахувань по  $i$ -му виду основних фондів;

$C_{\text{перв.}i}$  – початкова (балансова) вартість основних фондів  $i$ -го виду.

Розрахуємо балансову вартість основних фондів.

Балансову вартість будівлі цеху розрахуємо по формулі:

$$C_{\text{зод}} = V_k \cdot C_k + V_n \cdot C_n,$$

де  $V_k$ ,  $V_n$  – об'єм, який займає цех у виробничому корпусі та прибудові до нього,  $\text{м}^3$ ;

$C_k$ ,  $C_n$  – вартість  $1 \text{ м}^3$  виробничого корпусу та прибудові, грн;

$$C_{\text{зод}} = 36937,3 \cdot 36 + 1297,12 \cdot 54 = 1399787,2 (\text{грн.})$$

Балансова вартість робочого та підйомно-транспортних засобів цеха розраховується за формулою:

$$C_{\text{об}} = 1,1 \sum n_i C_i (1 + K_{\text{тр}}),$$

де  $n_i$  – прийнята кількість обладнання  $i$ -го виду;

$C_i$  – оптова ціна одиниці обладнання  $i$ -го виду;

$K_{\text{тр}}$  – коефіцієнт, враховуючий витрати на транспортування та монтаж обладнання;

$K_{\text{тр}}=0,1$  – коефіцієнт, для попутного обладнання

$$C_{\text{об}} = 1,1 \cdot 862578(1 + 0,1) = 1043719,3 (\text{грн.}).$$

Балансова вартість вимірювальних и регулюючих приладів приймаємо рівною 4% від балансової вартості робочого обладнання:

$$C_{\text{изм.пр}} = 0,04 \cdot C_{\text{об}} = 41748,772 (\text{грн.}).$$

Балансову вартість цінного універсального інструмента приймаємо рівною 15% от балансової вартості робочого обладнання:

$$C_{\text{ун.ин}} = 0,15 \cdot C_{\text{об}} = 0,15 \cdot 1043719,3 = 156557,89 (\text{грн.}).$$

Балансову вартість цінного виробничого та господарчого інвентарю приймаємо рівною 3% балансової вартості робочого обладнання цеха:

$$C_{инв} = 0,03 \cdot C_{об} = 0,03 \cdot 1043719,3 = 31311,58(\text{грн}).$$

Таблиця 3.2 - Амортизаційні відрахування основних фондів

| Елементи основних фондів                     | Повна початкова вартість, грн | Норма амортизаційних відрахувань, % | Річні амортизаційні відрахування, грн |
|--|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Будівлі та споруди                           | 1399787,2                     | 5                                   | 69989,36                              |
| Робочі машини та підйомні транспортні засоби | 1043719,3                     | 25                                  | 260929,82                             |
| Інструменти та пристосування                 | 156557,89                     | 15                                  | 23483,683                             |
| Виробничий та господарський інвентар         | 31311,58                      | 25                                  | 7827,895                              |
| Разом  | 2631375,9                     |                                     | 362230,75                             |

#### Стаття 2.

Враховує витрати на експлуатацію обладнання, до них відносяться:

1. Матеріали для утримання обладнання (обтиральний, мастильний, охолоджуючий), приймаємо за 135 грн. на одне робоче місце:

$$C_{.мо} = 135 \cdot 99 = 13365(\text{грн.})$$

2. Заробітна плата та відрахування на соціальне страхування допоміжним робочим, зайнятих поточним ремонтом обладнання.

Таблиця 3.3 - Заробітна плата допоміжним робочим

| Професія         | Кількість | Розряд | Годинна ставка, грн | Діючий фонд часу, час | ПЗП, грн. (на 1люд) | ДЗП, грн. (на 1люд) | Повна ЗП, грн |
|------------------|-----------|--------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| Наладчик пресів. | 3         | 4      | 48,18               | 1860                  | 89614,8             | 44807,4             | 403266,6      |

|                                       |   |   |       |      |          |          |          |
|---------------------------------------|---|---|-------|------|----------|----------|----------|
| Наладчик<br>прост. металор.<br>інстр. | 1 | 5 | 55,48 | 1860 | 103192,8 | 51596,4  | 154789,2 |
|                                       | 2 | 4 | 48,18 |      | 89614,8  | 44807,4  | 268844,4 |
| Наладчик-мех.<br>ст. с ЧПК            | 1 | 6 | 64,24 | 1860 | 119486,4 | 59743,2  | 179229,6 |
| Слюсар по<br>обслуг. облад.           | 2 | 5 | 55,48 | 1860 | 103192,8 | 51596,44 | 309578,4 |
|                                       | 2 | 4 | 48,18 |      | 89614,8  | 4807,4   | 268844,4 |
| Електро-<br>монтер                    | 3 | 4 | 48,18 | 1860 | 89614,8  | 44807,4  | 403266,6 |
| Слюсар по<br>ремонті облад.           | 3 | 4 | 48,18 | 1860 | 89614,8  | 44807,4  | 403266,6 |
| Станочники по<br>ремонті облад.       | 2 | 3 | 40,88 | 1860 | 76036,8  | 38018,4  | 228110,4 |
| Слюсарі ПРІН                          | 5 | 4 | 48,18 | 1860 | 89614,8  | 44807,4  | 672111   |
|                                       | 4 | 5 | 55,48 |      | 103192,8 | 51596,4  | 619156,8 |
| Станочники<br>ПРІН                    | 2 | 5 | 55,48 | 1860 | 103192,8 | 51596,4  | 309578,4 |
|                                       | 3 | 4 | 48,18 |      | 89614,8  | 44807,4  | 403266,6 |
| 33                                    |   |   |       | 1860 | 1235598  | 617799   | 4623309  |

Відрахування на соціальне страхування:

$$CC_{\text{вст}} = 0,37(\text{ПЗП} + \text{ДЗП})_{\text{вст}} = 0,37 \cdot 4623309 = 1710624,33(\text{грн.}).$$

3. Витрати на силову електроенергію приймаємо рівними 0,90 грн. за 1 кВт. в год на 100 кВт встановленої потужності:

$$C_{\text{вв}} = 90 \cdot 501 = 45090(\text{грн.}).$$

4. Витрати на стисле повітря для пневматичних механізмів визначаємо за формулою:

$$Z_{\text{возд}} = Q_2 \cdot C_{\text{возд}};$$

Де  $Q_2$  – річна витрата повітря, м<sup>3</sup>;

$C_{\text{возд}} = 0,009$  грн/м<sup>3</sup> – вартість повітря.

Річна витрата повітря визначаємо за формулою:

$$Q_2 = 1,3 \sum_{i=1}^n n_i \cdot q_i \cdot \Phi_{oi} \cdot k_{\text{исн.}i},$$

де  $n_i$  – кількість приймачів стислого повітря  $i$ -го виду, шт;

$\Phi_{di}$  – річний діючий фонд часу роботи приймача  $i$ -го виду;

$q_i$  – питома витрата повітря через один приймач  $i$ -го виду,  $\text{м}^3/2$ ;

$K_{\text{исп.}i}$  – коефіцієнт використання приймача.

Розрахунок річних витрат стислого повітря зведемо в таблицю 3.4

Витрати на стисле повітря складають:

$$Z_{\text{гозд}} = 1,3 \cdot 518596 \cdot 0,009 = 6067,57(\text{грн}).$$

Таблиця 3.4 - Розрахунок річних витрат стислого повітря

| Вид приймача          | Кількість $n_i$ , шт | Питома витрата $q_i$ , $\text{м}^3/2$ | Річний діючий фонд, н-час | Коефіцієнт використання $K_{\text{исп}}$ | $n_i, q_i, \Phi_{\text{ді}} K_{\text{исп}}$<br>п,<br>грн. |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|---|
| Пневмодріль           | 40                   | 36                                    | 4140                      | 0,084                                    | $1502,3 \cdot 10^2$                                       |
| Верстати с пневмозаж. | 4                    | 4                                     | 4015                      | 0,075                                    | $144,5 \cdot 10^2$  |
| ПГР                   | 3                    | 12                                    | 4015                      | 0,09                                     | $390,24 \cdot 10^2$                                       |

5. Інші витрати приймаємо рівними 2% от суми вищеперерахованих затрат за статтею. Сума попередніх витрат:

$$\sum = 13365 + 255112,5 + 94391,625 + 45090 + 6067,57 = 414026,69(\text{грн}).$$

По цьому пункту:

$$C = 0,02 \cdot 414026,69 = 8280,534(\text{грн}).$$

Сума витрат за статтею:

$$C_{\text{эк.об}} = 414026,69 + 8280,534 = 422307,22(\text{грн}).$$

Стаття 3.

Ураховує витрати цеху на поточний ремонт виробничого обладнання, цехових транспортних засобів та цінних інструментів.

1. Витрати на матеріали, напівфабрикати, запасні частини для поточного ремонту приймаємо у розмірі 3% від первинної коштовності робочого інструменту, обладнання, транспортних засобів.

$$C_{\text{м.р.}} = 0,03 \cdot 1102072,8 = 33062,18(\text{грн}).$$

2. Коштовність послуг інших цехів по поточному ремонту приймаємо у розмірі 3% від первинної коштовності робочого обладнання, транспортних засобів та цінного інструменту.

$$C_{д.ц.р.} = 0.03 \cdot 1102072,8 = 33062,18 (\text{грн.}).$$

3. Витрати за третьою статтею складають:

$$C_{р.об.} = 2 \cdot 33062,18 = 66124,36 (\text{грн.}).$$

Стаття 4.

Ураховує витрати цеху на внутрішні заводські переміщення вантажів: доставку матеріалів, напівфабрикатів, доставку до робочих місць матеріалів, деталей та інструменту, вивіз з цеху готової продукції, напівфабрикатів та відходів. Ця стаття включає в себе:

1. Заробітну плату та відрахування на соціальне страхування транспортних робочих свого цеху:

$$ПЗП_{mp} = T_{mp} \cdot e^{\left(1 + \frac{\overline{K_{ym}} + \overline{K_{um}}}{100}\right)} = \text{Оклад} \cdot N_{мес} = 900 \cdot 11 = 3300 (\text{грн.})$$

$$ДЗП_{mp} = ПЗП_{mp} \left( \frac{K_{прем} + K_{час} + K_{дн} + K_{мес}}{100} \right) = 3300 \left( \frac{50}{100} \right) = 1650 (\text{грн.})$$

$$СС_{mp} = 0.37(ПЗП_{mp} + ДЗП_{mp}) = 0,37(3300 + 1650) = 1831,5 (\text{грн.})$$

2. Оплата послуг транспортному цеху заводу за використання транспортними засобами приймаємо рівною 50% від повного фонду заробітної плати транспортних робочих свого цеху:

$$C_{тр.ц.} = 0.5(ПЗП_{mp} + ДЗП_{mp}) = 0,5(3300 + 1650) = 2475 (\text{грн.})$$

Витрати по четвертій статті складають:

$$C_{пер.зр} = ПЗП_{mp} + ДЗП_{mp} + СС_{mp} + C_{тр.ц.} = 3300 + 1650 + 1831,5 + 2475 = 9256,5 (\text{грн.})$$

Стаття 5.

Ураховує витрати на відшкодування зносу та відновлення малоцінних інструментів та інструментів, які швидко зношуються, а також пристосувань загального призначення:

1. Відшкодування зносу та матеріали, витрачаємо цехом на ремонт та відновлення малоцінних інструментів та пристосувань загального призначення. Приймаємо їх рівними 150 грн. на 1000 нормо-годин:

$$C_{р.инстр} = 150 \cdot \frac{\sum T_i}{1000} = 150 \frac{338249,5}{1000} = 50737,42 (\text{грн.}).$$

2. Оплата послуг інших цехів по заточці, ремонту та відновленню малоцінних інструментів загального призначення приймаємо рівною 150 грн. на 1000 нормо-годин:

$$C_{\text{ор.цех.инстр.}} = 150 \cdot \frac{\sum T_i}{1000} = 150 \frac{338249,5}{1000} = 50737,42(\text{грн.}).$$

Витрати по статті складають:

$$C_{\text{инстр}} = 50737,42 + 50737,42 = 101474,85(\text{грн.}).$$

Стаття 6.

Ураховує інші витрати цеху на утримання та експлуатацію обладнання, котрі будуть рівні 5% від суми витрат по попереднім статтям:

$$C_{\text{пр.р}} = 0,05 \cdot \sum = (32230,75 + 422307,22 + 66124,36 + 9256,5 + 101474,85) = 961393,68(\text{грн.}).$$

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання становили:

$$C_{\text{обор.}} = 362230,75 + 422307,22 + 66124,36 + 9256,5 + 101474,85 + 961393,68 = 1727993,1(\text{грн.}).$$

### *Розрахунок цехових витрат.*

Розглянемо склад статей кошторису цехових витрат.

Стаття 1. Ураховує витрати на утримання керуючого персоналу цеху: керівників, фахівців, службовців, а також молодшого обслуговуючого персоналу (МОП).

Пряма заробітна плата робітникам цих категорій розраховується за формулою:

$$ПЗП_i = n_i \cdot \Phi_{di} \cdot \bar{O}_i \left( 1 + \frac{\bar{k}_{ymi}}{100} \right),$$

де  $n_i$  – чисельність робітників на  $i$ -й посаді;

$O_i$  – середній оклад робітника на  $i$ -й посаді;

$\Phi_{di}$  – річний існуючий фонд часу, міс.;

$K_{yt}$  – норматив доплат за умови праці;  $k_{yt}=0$ .

Додаткова заробітна плата:

$$ДЗП_i = ПЗП_i \left( \frac{K_{прем} + K_{час} + K_{дн} + K_{мес}}{100} \right)$$

де  $K_{прем}$ ,  $K_{час}$ ,  $K_{дн}$ ,  $K_{мес}$  – прийняті нормативи премій, годинних, денних, місячних доплат, %.

Для розрахунку заробітної плати ІТР маємо наступні вихідні дані:

$\Phi_d = 1800,9 \text{ г.} = 10,44 \text{ міс.}$  (24 дня відпустки);

$K_{прем} = 40\%$ ;

$K_{час} = 10\%$ ;



$K_{\text{дн}}=12\%$ ;

 $K_{\text{мес}}=16\%$ .

Таблиця 3.5 - Розрахунок заробітної плати ІТР

| № п/п | Посада                        | Кількість | Місячний оклад, грн | ПЗП, грн     | ДЗП, грн      | Повна ЗП, грн |
|-------|-------------------------------|-----------|---------------------|--------------|---------------|---------------|
| 1     | Нач. цеха                     | 1         | 5050,75             | 53335,9<br>2 | 41602         | 94937         |
| 2     | Зас.нач. по вир-ву            | 1         | 4545                | 47995,2      | 37436,2<br>5  | 85431,4       |
| 3     | Ст. майстер                   | 5         | 4049,5              | 20247,5      | 15793         | 36040,5       |
| 4     | Сміний майстер                | 10        | 3649                | 385334,<br>4 | 300560,<br>83 | 685895,2      |
| 5     | Нач.бюро електр.              | -         | -                   | -            | -             | -             |
| 6     | Нач. техбюро                  | 1         | 4249,75             | 44877,3      | 35004,3       | 79881,6       |
| 7     | Технолог                      | 5         | 4249,75             | 21248,7<br>5 | 16574         | 37822,7       |
| 8     | Конструктор                   | 2         | 4249,75             | 89754,7      | 70008,7       | 159763,4      |
| 9     | Інженер-технік по інструменту | -         | -                   | -            | -             | -             |
| 10    | Майстер ПРІН                  | 1         | 3649                | 38533,4      | 30056         | 68589,4       |
| 11    | Завідуюч. ІРК                 | -         | -                   | -            | -             | -             |
| 12    | Інженер по обслугов. ЕОМ      | -         | -                   | -            | -             | -             |
| 13    | Програміст                    | -         | -                   | -            | -             | -             |
| 14    | Оператор ЕОМ                  | -         | -                   | -            | -             | -             |
| 15    | Начальник ПДБ                 | 1         | 4450                | 46992        | 36653,7       | 83645,7       |
| 16    | Плановик                      | 2         | 3849,2              | 81296,1<br>6 | 63410,2       | 144706,3      |
| 17    | Диспетчер                     | 2         | 3114                | 65767,7      | 51298,8       | 117066,5      |
| 18    | Технік по матеріалам          | -         | -                   | -            | -             | -             |
| 19    | Начальник БОП                 | 1         | 4450                | 46992        | 36653,7       | 83645,7       |
| 20    | Нормувальник                  | 2         | 4249,75             | 89754,7      | 70008,7       | 159763,4      |
| 21    | Економіст                     | 2         | 3649                | 77066,8      | 60112,1       | 137179        |

|    |                           |    |         |               |               |           |
|----|---------------------------|----|---------|---------------|---------------|-----------|
| 22 | Механік цеха              | 1  | 4450    | 46992         | 36653,7       | 83645,7   |
| 23 | Майстер по<br>облад.      | 1  | 3649    | 38533,4       | 30056         | 68589,4   |
| 24 | Начальник БЦК             | 1  | 4249,75 | 44877,3       | 35004,3       | 79881,6   |
| 25 | Старший контр.<br>майстер | 1  | 4049,5  | 42762,7       | 33354,9       | 76117,6   |
| 26 | Контрольний<br>майстер    | -  | -       | -             | -             | -         |
|    | Разом                     | 40 | 73852,2 | 1282361<br>,9 | 1000242<br>,3 | 2282604,2 |

$\Phi_{\text{д}}=10.56$  міс. (21 день відпустка);  $K_{\text{прем}}=35\%$ ;  $K_{\text{час}}=10\%$ ;  $K_{\text{дн}}=12\%$ ;  $K_{\text{мес}}=14\%$ .

Таблиця 3.6 – Розрахунок заробітної плати службовців

| №<br>п/п | Посада                | Кіл-<br>сть | Місячний<br>оклад,<br>грн | ПЗП,<br>грн.  | ДЗП,<br>грн. | Повна<br>ЗП, грн. |
|----------|-----------------------|-------------|---------------------------|---------------|--------------|-------------------|
| 1        | Нарядчик              | 2           | 2514,25                   | 53704,3<br>8  | 38130,1      | 91834,5           |
| 2        | Обліковець            | 1           | 2514,25                   | 26852,2       | 19065        | 45917,2           |
| 3        | Бухгалтер             | 1           | 3649                      | 38971,3       | 27669,6      | 66641             |
| 4        | Архіваріус            | 1           | 2514,25                   | 26852,2       | 19065        | 45917,2           |
| 5        | Секретар-<br>друкарка | 1           | 2514,25                   | 26852,2       | 19065        | 45917,2           |
| 6        | Завгосп               | 1           | 3070,5                    | 32793         | 23283        | 56076             |
|          | Разом                 | 7           |                           | 206025,<br>28 | 146277,<br>7 | 352303            |

$\Phi_{\text{д}}=10.68$  міс. (18 день відпустка);  $K_{\text{прем}}=35\%$ ;  $K_{\text{час}}=10\%$ ;  $K_{\text{дн}}=12\%$ ;  $K_{\text{мес}}=12\%$ .

Таблиця 3.7 – Розрахунок заробітної плати МОП

| №<br>п/п | Посада       | Кіл-<br>сть | Місячний<br>оклад, грн | ПЗП,<br>грн. | ДЗП,<br>грн. | Повна ЗП,<br>грн. |
|----------|--------------|-------------|------------------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1        | Прибиральник | 1           | 2225                   | 23763        | 16871,7      | 40634,7           |
| 2        | Гардеробник  | 2           | 2225                   | 47526        | 33743,4      | 81269,4           |
|          | Разом        | 3           |                        | 71289        | 50615,1      | 121904,1          |

Разом, повна заробітна плата керівникам, спеціалістам, службовцям, МОП складає:

$$ЗП=228604,2+352303+121904,1=2756811,3 \text{ (грн.)}$$

Відрахування на соціальне страхування склали 37% от повноцінної заробітної плати цих працівників

$$СС = 0,37 \cdot ЗП = 0,37 \cdot 2756811,3 = 1020020,18 \text{ (грн.)}$$

Цехові витрати за першою статтею складають:

$$C_{\text{зн}} = 2756811,3 + 1020020,18 = 3776831,48 \text{ (грн.)}$$

Враховуємо витрати на за робітню плату та відрахування на соціальне страхування допоміжних робітників, не пов'язаних з експлуатацією та обслуговуванням обладнання.

$$\Phi_{\text{д}}=11 \text{ мес.}; K_{\text{прем}}+K_{\text{час}}+K_{\text{дн}}+K_{\text{мес}}=0,5.$$

Таблиця 3.8. - Розрахунку заробітної плати

| Професія                    | Кількість | Місячний оклад, грн | ПЗП, грн. | ДЗП, грн. | Повна ЗП, грн. |
|-----------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|----------------|
| Комірник механіка цеху      | 2         | 3070,5              | 65585,8   | 46565,9   | 112151,7       |
| Комірник ІРК                | 3         | 3070,5              | 98378,8   | 69848,9   | 168227,7       |
| Роздавальник креслень       | 1         | 2514,25             | 26852,2   | 19065     | 45917,2        |
| Комірники комплектувальники | 7         | 2514,25             | 187965,3  | 133455,3  | 321420,6       |
| Підготувальники-розподільн. | 6         | 2781,25             | 178222,5  | 126538    | 304760,5       |
| Прибиральники цеха          | 3         | 2514,25             | 80556,5   | 57195,1   | 137751,6       |
| Контролери                  | 7         | 3337,5              | 249511,5  | 177153,1  | 426664,6       |
| Транспортні робочі          | 6         | 2514,25             | 161113,1  | 114390,3  | 275503,4       |

35

1048185,7 744211,6 1792397,3

Відрахування на соціальне страхування складають:

$$СС = 0,37 \cdot \sum = 0,37(112151,7 + 168227 + 45917,2 + 321420,6 + 304760,5 + 137751,6 + 426664,6 + 275503,4) = 0,37 \cdot 1792397,3 = 663187 \text{ (грн.)}$$

Витрати за другою статтею:

$$C_{зн} = 1020020,18 + 663187 = 1683207(\text{грн}).$$

### Стаття 3.

Враховує витрати на утримання будівель, споруд та інвентарю цеху.

1. Витрати на опалення, вентиляцію, освітлення, водопостачання, каналізацію приймаємо рівним 8% вартості будівель цеху:

$$C_{\text{сод.зд}} = 0.08 \cdot 1399787.2 = 111982.97(\text{грн}).$$

2. Витрати на утримання будівель у чистоті:

а) витрати на матеріали приймаємо у розмірі 1% вартості будівель цеху:

$$C_{\text{сод.зд}} = 0.01 \cdot 1399787.2 = 13997.87(\text{грн}).$$

б) зарплата та відрахування на соціальне страхування прибиральників цеху:

$$C_{\text{уб}} = \text{Полн.ЗП} + \text{СС}_{\text{уб}} = 16225.65 + 0.37 \cdot 16225.65 = 22229.14(\text{грн}).$$

### Стаття 4.

Враховує витрати на поточний ремонт будівель та споруд, приймаємо рівним 3% вартості будівель

$$C_{\text{рем.зд}} = 0.03 \cdot 1399787.2 = 13997.87(\text{грн}).$$

### Стаття 5.

Враховує витрати на випробування, досліди та дослідження, раціоналізаторство та винахідливість. Приймаємо у розмірі 150 грн. В рік на одного робітника цеху:

$$C_{\text{рац}} = 150 \cdot 302 = 45300(\text{грн}).$$

### Стаття 6.

Враховує витрати на охорону праці і промислову санітарію, облаштування огорож, пристрої по боротьбі з шумом, спецодяг, спецвипробування. Ці витрати дорівнюють 75 грн. в рік на одного робітника:

$$C_{\text{от}} = 75 \cdot 302 = 22650(\text{грн}).$$

### Стаття 7.

Враховує витрати на відшкодування зносу малоцінного і швидкозношуваного інвентарю – вони прийняті в розмірі 30 грн. в год на одного робітника:

$$C_{\text{возм.изн.инв.}} = 30 \cdot 302 = 9060(\text{грн.}).$$

Стаття 8.

Враховує інші витрати загальноцехового призначення, приймаємо їх в розмірі 5% от суми попередніх статей цехових витрат:

$$C_{\text{проч}} = 0.05 \cdot \sum = 0.05 \cdot (3776831,48 + 1683207 + 111982,97 + 13997,87 + 22229,14 + 13997,87 +) \\ (+ 45300 + 22650 + 9060) = 0.05 \cdot 5699256 = 284962,81(\text{грн.});$$

Загальна сума цехових витрат по кошторису дорівнює:

$$C_{\text{ц.р}} = 284962,81 + 5699256 = 5984218,81(\text{грн.}).$$

### 3.3 Розрахунок планової умовної ціни виробу

При калькуляції умовної ціни виробу враховуються тільки ті витрати, які здійснені тільки в проектованому цеху.

*Розрахунок витрат на основні матеріали.*

Витрати на сировину і основні матеріали визначаємо по формулі (3.1):

$$C_{\text{м}} = 1.05 \cdot H_{\text{р}} \cdot Ц,$$

$$C_{\text{м}} = 1,05 \cdot 7,13 \cdot 200 = 1497,3(\text{грн.}).$$

Вартість поворотних відходів визначаємо по формулі (3.2):

$$C_{\text{отх}} = C_{\text{1отх}} \cdot Ц_{\text{отх}},$$

$$C_{\text{отх}} = 200 \cdot 1,78 = 356(\text{грн.}).$$

*Розрахунок прямої заробітної плати виробничим робочим.*

Пряма заробітна плата виробничим робочим розраховується по формулі:

$$ПЗП = T \cdot e \left( 1 + \frac{\overline{K_{\text{ум}}} + \overline{K_{\text{ум}}}}{100} \right),$$

где T – трудомісткість робіт по виготовленню одного виробу.

$T=2524.25$  н-год;

$\bar{e}=41,14$ ;

$\overline{\kappa_{ум}} + \overline{\kappa_{ит}} = 20\%$ ;

$$ПЗП = 2524,25 \cdot 41,14 \left( 1 + \frac{20}{100} \right) = 12461717,4 (\text{грн.}).$$

*Розрахунок додаткової заробітної плати виробничим робочим.*

Додаткова заробітна плата виробничим робочим розраховується по формулі:

$$ДЗП = ПЗП \frac{\kappa_{доп}}{100},$$

де  $\kappa_{доп}$  – норматив додаткової заробітної плати виробничим робочим.

$$ДЗП = 12461717,4 \cdot \frac{72}{100} = 8972436,53 (\text{грн.}).$$

*Розрахунок відрахувань на соціальне страхування виробничих робочих.*

Відрахування на соціальне страхування складає 37% від фонду повної заробітної плати виробничих робочих:

$$СС = 0,37 \cdot 21434153,93 = 7930636,95 (\text{грн.}).$$

*Відрахування в фонд зайнятості, пенсійний фонд, медичне страхування.*

В сучасних умовах існує система відрахувань в різні фонди:

- відрахування в фонд зайнятості складають 3% від заробітної плати виробничих робочих.

$$С_{зан} = 0,03(ПЗП + ДЗП) = 0,03 \cdot 21434153,93 = 6430246,18 (\text{грн.});$$

- відрахування в пенсійний фонд складають 1% от від заробітної плати виробничих робочих:

$$С_{пенс} = 0,01(ПЗП + ДЗП) = 0,01 \cdot 21434153,93 = 214341,53 (\text{грн.});$$

- відрахування на медичне страхування складають 2.6% від заробітної плати виробничих робочих:

$$C_{\text{мед}} = 0.026(\text{ПЗП} + \text{ДЗП}) = 0.026 \cdot 21434153,93 = 557288(\text{грн.});$$

Всього відрахування по фондам склали:

$$C_{\text{фонд}} = C_{\text{зан}} + C_{\text{пенс}} + C_{\text{мед}} = 6430246,18 + 214341,53 + 557288 = 7201875,71(\text{грн.}).$$

*Розрахунок витрат на відшкодування зносу інструментів і пристосувань цільового призначення.*

Дані витрати обчислюються по формулі:

$$Z_{\text{сп.осн}} = \frac{C_{\text{сп.осн}}}{N_{\text{зан}}} = \frac{69006.24}{134} = 514.97(\text{грн.}).$$

*Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію обладнання.*

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання розраховуються по формулі:

$$C_{\text{сод.обор}} = T_{\text{изд}} \cdot C_{\text{изд.сод}};$$

де  $T_{\text{изд}}$  – трудомісткість одного виробу;

$C_{\text{уд.сод}}$  – питомі витрати на утримання і експлуатацію обладнання цеху.

$$C_{\text{уд.сод}} = \frac{\text{Смета затрат на содержание и эксплуатацию оборудования}}{T_{\text{год}}}$$

$$C_{\text{уд.сод}} = \frac{792950.37}{338249.5} = 2.344 \left( \frac{\text{грн.}}{\text{н - час.}} \right)$$

Таким чином:

$$C_{\text{сод.изд}} = 2524.25 \cdot 2.344 = 5916.84(\text{грн.})$$

*Розрахунок цехових витрат.*

Цехові витрати на один виріб для проектного цеху дорівнюють:

$$C_{\text{цех.изд}} = \frac{\text{Смета цеховых расходов}}{N_{\text{зан}}}$$

$$C_{\text{цех.изд}} = \frac{5984218,81}{134} = 44658,35(\text{грн.})$$

Таблиця 3.9 - Розрахунок планової умовної ціни виробу

| № п/п | Статті виатрат   | Формула                  | Сума, грн.  |
|-------|--|--------------------------|-------------|
| 1     | Основні матеріали  |                          | 1497,3      |
| 2     | Зворотні відходи   |                          | 350         |
| 3     | ПЗП виробн. робочих  |                          | 15731984,24 |
| 4     | ДЗП виробн. робочих  |                          | 11327028,65 |
| 5     | Відрахування на соц. страхув.  |                          | 10011834,77 |
| 6     | Витрати на утримання і експлуатацію обладнання                       |                          | 5917.5      |
| 7     | Цехові витрати   |                          | 44658,35    |
| 8     | Відшкодування зносу інструмента і пристосувань цільового призначення |                          | 514.98      |
|       | Цехова собівартість  | $\Sigma(\text{п.1-п.8})$ | 37123785,8  |
| 9     | Відрахування в фонд зайнятості                                       |                          | 6430246,18  |
| 10    | Відрахування в фонд пенсійний  |                          | 214341,53   |
| 11    | Відрахування в фонд мед. страхування                                 |                          | 557288      |
| 12    | Страхування майна  | 6.5 % от ПЗП             | 1022578,97  |
| 13    | Загальнозаводські витрати  | 60 % от ПЗП              | 9439190,54  |
|       | Виробнича собівартість   | $\Sigma(\text{п.1-п.4})$ | 27060860,19 |
| 14    | Позавиробничі витрати  | 3 % произв. СС           | 811825,8    |
| 15    | Повная собівартість  | Пр.СС+внепр.             | 27872686    |
| 16    | Прибуток плановий  | 25% полн. СС             | 69681714    |
| 17    | Гуртова ціна   | Пол.СС+прибыль           | 97554400    |
| 18    | ПДВ  | 20% от опт. цены         | 19510880    |

$$\text{Цена(вир.)} = (n.17 + n.18) = 97554400 + 19510880 = 117065280(\text{грн.})$$

Таблиця 3.10 - Техніко-економічні показники цеху

| Найменування показників          | Одиниці вимірювання | Величина показника |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|
| Об'єм випуску продукції          | Шт.                 | 134                |
| Річний випуск (валова продукція) | Грн.                | 128712.6           |
| Праця і заробітна плата:         |                     |                    |
| Кількість прауюючих в цеху       | люд.                | 302                |
| Виробничі робочі                 | люд.                | 184                |



|   |                |             |
|---|----------------|-------------|
| Допоміжні робочі                                      | люд.           | 68          |
| Керівники   | люд.           | 40          |
| Спеціалісти   | люд.           |             |
| Службовці   | люд.           | 7           |
| МОП   | люд.           | 3           |
| Фонди оплати праці:                                   |                |             |
| Виробничі робочі                                      | грн.           | 27059012,89 |
| Допоміжні робочі                                      | грн.           | 4623309     |
| Керівники   | грн.           | 2282604,2   |
| Спеціалісти   | грн.           |             |
| Службовці   | грн.           | 352303      |
| МОП   | грн.           | 121904,1    |
| Середньомісячна зарплата:                             |                |             |
| Працівники:   | грн.           | 12421,05    |
| Виробничі робочі                                      | грн.           | 12254,98    |
| Допоміжні робочі                                      | грн.           | 12220,2     |
| Керівники   | грн.           | 8675,98     |
| Спеціалісти   | грн.           |             |
| Службовці   | грн.           | 4299,36     |
| МОП   | грн.           | 3804,74     |
| Продуктивність праці:                                 |                |             |
| Виробіток на 1 робочого                               | грн./чел.      | 19654.41    |
| Виробіток на 1 виробн. робочого                       | грн./чел.      | 32470.23    |
| Випуск на один нормо-год                              | грн/н-час      | 17.55       |
| Собівартість:   |                |             |
| Кошторис витрат на виробництво цехом продукції        | грн.           | 1287126.8   |
| Питомі витрати на утримання і експлуатацію обладнання |                | 26,343      |
| Відсоток цехових витрат                               | %              | 22.5        |
| Собівартість виробу                                   | грн.           | 44295.78    |
| Основні засоби:                                       |                |             |
| Вартість основних фондів                              | грн.           | 2530609.7   |
| Будівель, споруд, робочих машин                       | грн.           | 2501860     |
| Виробничого інвентарю                                 | грн.           | 28749.72    |
| Випуск продукції на 1грн. основних фондів             |                | 2.35        |
| Загальна площа цеху                                   | м <sup>2</sup> | 3404        |

|  |                     |         |
|--|---------------------|---------|
| Виробнича  | м <sup>2</sup>      | 1983    |
| Допоміжна  | м <sup>2</sup>      | 654.19  |
| Складська  | м <sup>2</sup>      | 222     |
| Канторська і побутова                                | м <sup>2</sup>      | 294.8   |
| Випуск продукції на 1м <sup>2</sup> загальної площі  | грн./м <sup>2</sup> | 1743.72 |
| Випуск продукції на 1м <sup>2</sup> виробничої площі | грн./м <sup>2</sup> | 2993.25 |

*Розрахунок техніко-економічних показників цеху.*

Питомі витрати на утримання і експлуатацію обладнання визначається по формулі:

$$Z_{уд} = (\text{Кошторис витрат на утрим. і експлуат. облад.}) / T_{річн.}$$

де  $T_{річн.}$  – трудомісткість річного об'єму робіт (н/год).

Відсоток цехових витрат визначають:

$$K_{цех} = (\text{Кошторис цехових витрат} / \text{ПЗВ}) 100\%$$

де ПЗВ – фонд прямої зарплати виробничим робочим за річний об'єм робіт.

Річний дохід від реалізації продукції визначають множенням річної програми випуску виробу на відпускну ціну виробу.

$$D_{річн} = 134 \cdot 159825.5 = 12871268 \text{ (грн)}$$

Балансовий прибуток розраховують як різницю між річним доходом від реалізації продукції і повної собівартості річного випуску продукції.

$$П_б = 12871268 - 106552.38 = 12764716 \text{ (грн)}$$

Фондовіддачу обчислюють поділом річного випуску продукції на вартість основних фондів підприємства.

$$Ф = 12871268 / 253060.97 = 15$$

Рентабельність обороту розраховують поділом балансового прибутку на річний дохід від реалізації продукції.

$$P=12764716/12871268=3.$$

### 3.4 Визначення критичної програми випуску виробів

Визначимо точки безбитковості. Точка безбитковості - це мінімальний розмір партії продукції, що випускається, при якому забезпечується «нульовий прибуток». Знайдемо точку безбитковості аналітичним методом по формулі:

$$n = \frac{P \cdot N}{C - C_{пер}},$$

де:

П – постійні витрати;

Ц- ціна виробу;

$C_{пер}$  - змінні витрати;

N - кількість виробів.

$$n = \frac{253060.9 \cdot 134}{1598285.5 - 376916.1} = 20.$$

Постійні витрати визначають по кошторису витрат на виробництво на річний об'єм робіт. До них включають наступні витрати: на утримання і експлуатацію обладнання, цехові, загальнозаводські, спеціальні, позавиробничі та ін.

Змінні витрати (питомі) встановлюють по статтям калькуляції собівартості виробу. До них входять усі статті калькуляції, які не враховані у постійних витратах. Для розрахунків використовують калькуляцію собівартості при повному засвоєнні виробництва виробів і виході виробництва на проектну потужність.

Точка безбитковості може бути врахована по кожному виробу. Аналіз цих величин і виробничих потужностей виробництва дозволить виробити найбільш прийнятну структуру випуску продукції [11].

## Висновки

Провівши маркетинговий аналіз та економічні розрахунки по виробництву бокової панелі обшивки носової частини фюзеляжу транспортного вертольоту Мі-8 ми дійшли висновку, що виробництво цієї деталі не тільки рентабельне, а й матиме попит на ринку, що призведе до отримання прибутку підприємством.

Раціональне та економне витрачання окремих елементів проекту має неабияке економічне значення, це зумовлюється постійним збільшенням абсолютного споживання сировини, матеріалів, енергії для виробництва деталі, переважаючою часткою матеріальних витрат у загальній її вартості. Економія матеріальних ресурсів дає змогу випускати деталь, яка несе не тільки економічні вигоди, а й полегшує загальну вагу вертольоту не впливаючи на його ходові якості та покращуючи технічні характеристики.

Таким чином впровадження деталі дає змогу виготовляти більше продукції без додаткових затрат суспільної праці, підвищувати ефективність виробництва в цілому на підприємстві. Найбільш важливі параметри панелі були значно поліпшені і планований річний прибуток становить 12764716 (грн). Рентабельність виробу становить 3 згідно розрахунку. Що доводить доцільність розробки та виробництво деталі.

У підприємства є можливість підвищити рентабельність шляхом збільшення прибутку, або зменшення вартості активів капіталу, інвестицій і т.п. Результатом розробки підприємством ефективної маркетингової стратегії, наприклад, стратегії гнучких та еластичних цін (в залежності від попиту та пропозиції), зростає попит виробу і, як наслідок, прибуток. Також можна ще знизити собівартість продукції за рахунок удосконалення конструкції на підставі застосованих конструкційних та технологічних рішень, вишукування якісної, але більш дешевої сировини, впровадження новітніх технологій у виробничий процес – тоді рентабельність підвищиться при стабільному попиті.

З метою успішного просування виробу на ринок повинні застосовуватися усі види реклами продукції.

Для зростання рейтингу підприємства на ринку збуту відділу зовнішньоекономічних зв'язків необхідно систематично проводити детальне дослідження ринку, опрацьовувати варіанти можливих партнерів та налагоджувати зв'язки між сторонами, дотримуватися вимог договорів щодо постачання виробу до певного строку, у певній кількості, по певній ціні.

**4 Спеціальний розділ**  
**«ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ**  
**ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ»**

## 4.1 Обґрунтування

В умовах серійного виробництва все більше широке застосування отримують процеси фізико-технічної обробки, перш за все плазмове и лазерне різання, які інтенсивно розвиваються і успішно конкурують зі штамповкою і механообробкою.

Лазерне різання особливо ефективно при вирізанні крупних контурів з тонколистового прокату. Лазерний промінь виступає у ролі безконтактного інструменту, тому за його допомогою можна обробляти заготовки без обов'язкового надійного кріплення їх на робочому столі. Велика швидкість різання дає можливість значно підвищити продуктивність розкрійних операцій.

Застосування лазерного різання особливо доцільно в тих випадках, коли потребується отримати деталь з високим ступенем точності розмірів і форм, для цих цілей розроблена гамма серійних лазерних технологічних комплексів.

Високі температури, які розвиваються у зоні лазерного впливу, дозволяють реалізовувати кероване локальне руйнування і на основі цього створити високоефективні технологічні процеси лазерного різання. Різання може бути виконана як імпульсним, так і неперервним лазерним випромінюванням. Неперервне випромінювання дає можливість здійснити високопродуктивне різання, причому з малими витратами матеріалу при обробці, що вигідно відрізняє лазерне різання і традиційних методів розкрою, в тому числі і від різання струменем плазми.

Лазерному розділенню матеріалів притаманні наступні властивості: великий діапазон розділених матеріалів; можливість отримання вузьких розрізів і безвідходного розділення; мала зона термічного впливу; мінімальний механічний вплив, який надається на розділений матеріал; можливість автоматизації процесу; можливість різання за заданим профілем.

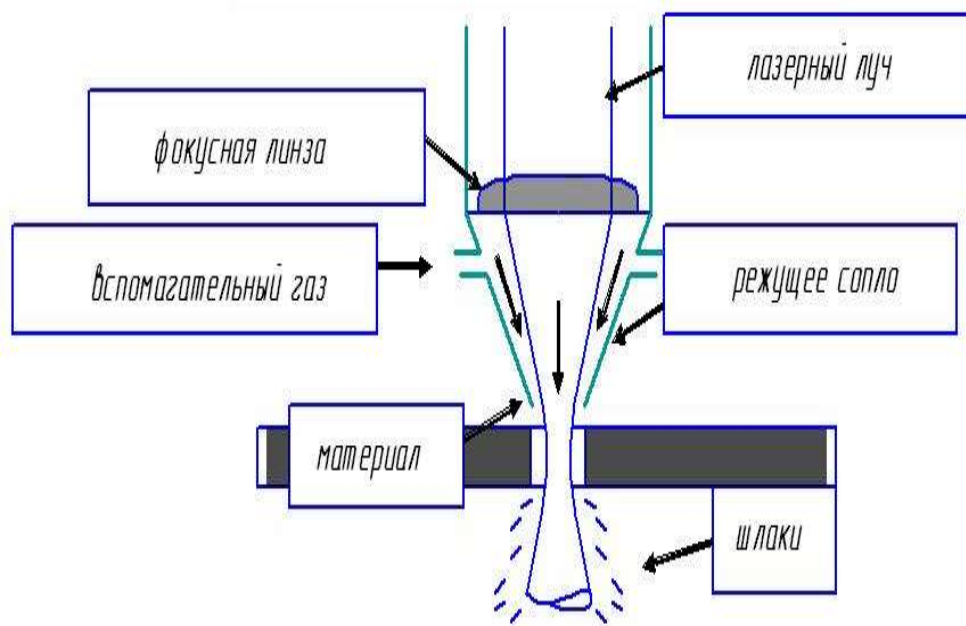
Основні закономірності лазерного різання можуть бути отримані при використанні моделі зосередженого теплового джерела.

## 4.2 Теоретична модель процесу газолазерного різання

В залежності від конструктивних властивостей випромінювачів можлива реалізація неперервного або імпульсно-періодичного режиму лазерного різання. В даний час для розкрою листових матеріалів велике розповсюдження отримало використання лазерів неперервної дії.

### 4.2.1 Механізм газолазерного різання матеріалів

Принцип газолазерного різання полягає у видуванні матеріалу у розплавленому стані за допомогою одночасного впливу лазерного променя і допоміжного газу, який знаходиться під тиском, для створення прорізів в матеріалі (мал. 4.1) Вплив лазерного променя доводить матеріал до температури плавлення і вище.



Малюнок 4.1- Принцип газолазерного різання

Лазерне випромінювання нагріває, плавить і випаровує матеріал за лінією ймовірного різку, а потік допоміжного газу видаляє продукти руйнування. При використанні кисню або повітря при різанні металів на поверхні руйнування утворюється оксидна плівка, яка підвищує поглинальну властивість матеріалу, а в результаті екзотермічної реакції виділяється достатньо велика кількість теплоти.

Вплив лазерного випромінювання на метал при розрізанні характеризується загальними положеннями, пов'язаними з поглинанням і відображенням випромінювання, розповсюдженням поглиненої енергії по об'єму матеріалу за рахунок теплопровідності, а також рядом специфічних особливостей.

В області впливу лазерного променя метал нагрівається до першої температури руйнування – плавлення. При подальшому поглинанні випромінювання здійснюється розплавлення металу і фазова межа плавлення переміщується вглиб матеріалу. Енергетичний вплив лазерного променя призводить до подальшого зростання температури, яка досягає другої температури руйнування – кипіння, при якій метал починає активно випаровуватися.

Таким чином, можливі два механізми лазерного різання – плавленням і випаровуванням. Проте останній механізм потребує високих енергетичних витрат і може здійснюватися лише для достатньо тонкого листового металу. Тому на практиці різання виконують плавленням. При цьому з метою суттєвого скорочення витрат енергії, підвищення товщини обробляемого металу і швидкості різання застосовується допоміжний газ, вдуваний в зону різання для видалення продуктів руйнування металу. Зазвичай в якості допоміжного газу використовується кисень, повітря, інертний газ або азот (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Вибір допоміжного газу

| Газ          | Матеріал для різання                     |
|--------------|--|
| Аргон, гелій | Титанові сплави                          |
| Азот, гелій  | Нержавіючі і конструкційні сталі         |
| Кисень       | Низьколеговані сталі і алюмінієві сплави |

Лазерне різання з нейтральним газом, зазвичай застосовується у тих випадках, коли небажано окиснення кромки металу, наприклад, при різанні нержавіючої сталі, титану і ін. Ефективність різання в нейтральному газі нижче, чим при лазерно-кисневому різанні, де присутні додаткові джерела нагріву за рахунок хімічних реакцій окиснення.

Лазерне різання з киснем характеризується тим, що при взаємодії кисню з розігрітим металом відбувається екзотермічна реакція окиснення.

Кисень при газолазерному різанні виконує трійну функцію: сприяє попередньому окисненню металу і знижує його здатність відображати лазерне випромінювання; потім метал запаюється і горить в струмені кисню, в результаті виділяється додаткова теплота, підсилюючи дію лазерного випромінювання; кисневий струмінь здуває і уносить з області різання розплавлений метал і продукти його згорання, забезпечуючи одночасно притік газу безпосередньо до фронту реакції горіння.

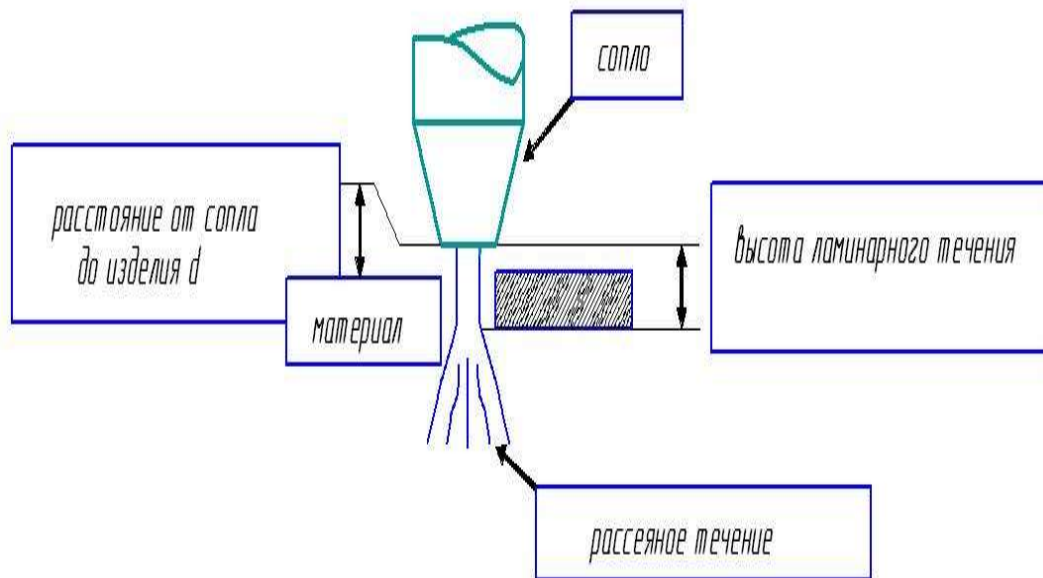
В залежності від властивостей розрізаемого металу застосовується два механізми газолазерного різання. При першому значний вклад в загальний тепловий баланс вносить теплота реакції горіння металу. Такий механізм різання зазвичай застосовується для матеріалів, схильних до займання і горінню нижче точки плавлення і утворюючих рідко текучі оксиди. Прикладами можуть служити низьковуглецева сталь і титанові сплави.

При другому механізмі різання матеріал не горить, а плавиться, і струмінь газу видаляє рідкий метал з області різання. Даний механізм застосовується для



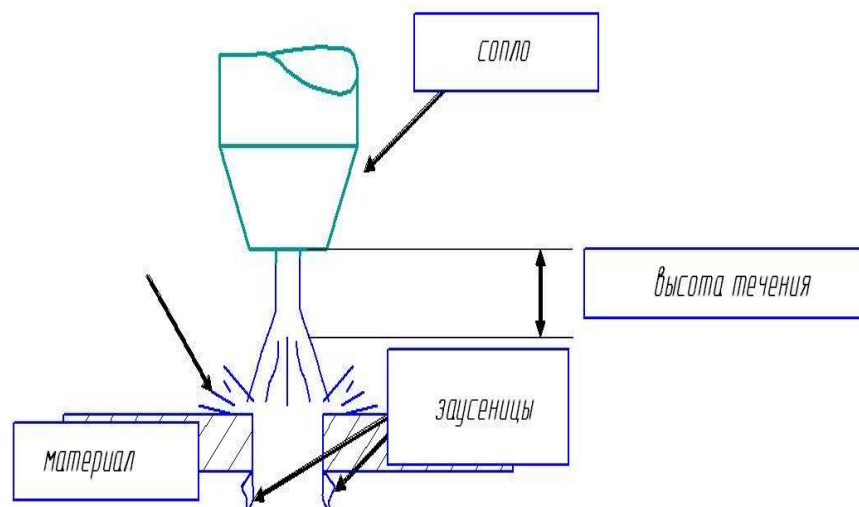
металів і сплавів з низьким тепловим ефектом реакції горіння, а також для тих, у яких при взаємодії з киснем утворюються тугоплавкі оксиди. Прикладами можуть служити, леговані і високовуглецеві сталі, алюмінієві сплави.

Важливим фактором є відстань між соплом і оброблюваною деталлю (рисунок 4.2), від якого залежить отримання розрізів високої якості.



Малюнок 4.2 – Схема змещення сопла від розрізаємої поверхні листа

Ця відстань дозволяє газу, втягнути в ламінарний потік потрапляти безпосередньо в ванну розплавленого металу. Якщо ця відстань дуже велика, то газ тече по ванні в розсіяному стані, що може бути причиною появи задирок або бризок на верхній поверхні деталі (малюнок 4.3).



Малюнок 4.3 – Схема впливу змещення сопла на якість лазерного різання

У процесі різання з'являється зона термічного впливу (ЗТВ) - смуга матеріалу, що примикає до зони розплавлення від кромки різу, де вплив нагріву в процесі різання призводить до зміни мікроструктури. ЗТВ характеризується своєю протяжністю і характерними особливостями мікроструктури.

Для деталей, що зазнають переважно статичні навантаження, дозволяється застосування лазерного розкрою без видалення ЗТВ. після лазерного різання. Для деталей зі сталі необхідно видалення металу ЗТВ незалежно від характеру експлуатаційних навантажень.

#### 4.2.2 Теплова модель процесу лазерного різання

Основні кількісні співвідношення для лазерного різання можна отримати з аналізу наступної теплової моделі процесу. Тепловий джерело потужністю, яка дорівнює поглиненої матеріалом частки лазерного випромінювання, рухається прямолінійно по поверхні нескінченної пластини товщиною зі швидкістю.

Відповідно до існуючої теорії після займання металу через деякий проміжок часу встановлюється квазістаціонарний режим руйнування, при якому його швидкість визначається тільки температурою кордону руйнування в зоні обробки. Останнє виконується, якщо струмінь кисню повністю видаляє розплавлений оксид із зони різання.

Однак на механізм формування різу істотно впливають і ті явища, які відбуваються на верхній кромці металу до моменту встановлення квазістаціонарного руйнування. В цей перехідний період відбувається нагрівання верхньої кромки металу від вихідної температури до  $T_p$  і прискорення кордону руйнування до швидкості  $V_p$ . При цьому перехідний процес супроводжується перерозподілом поглиненої і перейшла в тепло енергії лазерного випромінювання.

У початковий момент межа руйнування нерухома, все тепло відводиться всередину металу механізмом теплопровідності, а також витрачається (при досягненні на верхній кромці деталі температури плавлення металу  $T_{пл}$ ) на створення  $T_p$  прошарку рідкого металу, його оксидів і нагрів цього прошарку до температури. Товщина нагрітого шару поблизу нерухомого фронту руйнування зростає з плином часу  $t$  пропорційно  $\sqrt{t}$ .

Швидкість кордону руйнування в перехідний період залишається незначною у порівнянні з квазістаціонарних. При досягненні ж температури  $T_p$  швидкість кордону руйнування різко зростає до значення  $V_p$ .

Отже, будемо рахувати, що зміна швидкості межі руйнування носить ступеневий характер: після деякого запізнення вона досягає стаціонарної швидкості руху  $V_p$ , яка визначається тільки температурою поверхні металу  $T_p$ .

Час  $t_0$  встановлення квазістаціонарного руйнування для малих швидкостей оброблення можна визначити, враховуючи, що нагрівання металу здійснюється рухомим з постійною швидкістю  $v$  лазерним променем, сфокусованим в кругову пляму радіуса  $r_l$ :

$$t_0 = \frac{2a}{v^2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{kv(T_{\text{кин}} - T_n)}{W_p a}} \right], \quad (4.1)$$

де  $T_n$  – початкова температура металу, [град];  $T_{\text{кин}}$  – температура кипіння металу, [град];  $W_p$  – щільність лазерної потужності,  $W_p = \frac{4P}{\pi \cdot d_l^2}$ , [Вт/см<sup>2</sup>];  $P$  – потужність лазерного випромінювання, [Вт];  $d_l = 2r_l$ .

Окрім того, за цей же час  $t_0$  на верхній кромці внаслідок механізму теплопровідності утворюється зона рідкого металу і його окислів шириною

$$x_s = \sqrt{a(t_0 - t_{nl})}, \quad (4.2)$$

где  $t_{nl}$  – час, необхідний для досягнення температури плавлення металу  $T_{nl}$

$$\text{При цьому } t_{nl} = \frac{2a}{v^2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{kv(T_{nl} - T_n)}{W_p a}} \right]. \quad (4.3)$$

Отже, якщо за час  $t_0$  зона рідкого металу пошириться в напрямленні різання на більшу відстань, чим переміститься лазерний промінь (що характерно для низьких швидкостей різання), т. т.  $x_s > x_0$ , то протягом цього часу перед рухомим лазерним променем на верхній кромці утворюється розплавлена ділянка. Струмінь кисню потім видаляє утворений розплав, и при подальшому русі лазерного пучка оброблення на цій ділянці відбувається тільки вглиб металу до тієї пори, поки промінь лазера знову не досягне верхньої кромки металу. Потім знову протягом часу  $t_0$  відбувається нагрів верхньої кромки металу до температури  $T_0$  передньою частиною рухомого лазерного променя при нерухомій межі руйнування, тоді як за рахунок частини лазерного променя, що залишилася, продовжується різання вглиб металу. Процес періодично повторюється.

При низьких швидкостях різання мікронерівності на поверхні різання утворюються в результаті накладення борозен шириною  $x_s$  один на одного, і теоретичне значення шорсткості поверхні може бути визначено по формулі:

$$R_z = 0,134x_s. \quad (4.4)$$

Приведені залежності справедливі для широкого діапазону застосованих матеріалів, потужностей лазерного випромінювання, швидкостей оброблення. Дана теоретична модель може бути рекомендована для попередніх і оціночних розрахунків режимів лазерного різання металів неперервним лазерним випромінюванням.

### 4.3 Застосування методу рототабельного планування для мінімізації шорсткості поверхні різі

Рототабельним називають таке планування, яке дозволяє отримувати модель, здатну передбачати значення параметра оптимізації з однаковою точністю незалежно від напрямку на рівних відстанях від центру плану.

Вибір раціональних режимів лазерного різання в значній мірі визначає продуктивність процесу і якість обробленої поверхні. Щоб визначити, які чинники найбільш сильно впливають на значення шорсткості одержуваної поверхні в заданих режимах обробки, необхідно поставити повний факторний експеримент типу

$2^3$  (тут:  $3 = k$  – кількість факторів,  $N = m^k = 2^3 = 8$  – кількість дослідів,  $m$  – число рівнів кожного фактора).

Фактори, рівні і інтервали варіювання факторів для матеріалів – титанового сплаву ВТ-5, сталей 45, ВНС-5 и Х18Н10Т приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Рівні і інтервали варіювання факторів

| Фактори                                 | Рівні         |               |              | Інтервали варіювання |
|---|---------------|---------------|--------------|----------------------|
|   | Верхній<br>+1 | Основний<br>0 | Нижній<br>-1 |                      |
| $x_1$ – швидкість різання, мм / с       | 50            | 27,5          | 5            | 22,5                 |
| $x_2$ – потужність, Вт                  | 1000          | 750           | 500          | 250                  |
| $x_3$ – діаметр фокусування променя, мм | 0,4           | 0,3           | 0,2          | 0,1                  |

Для мінімізації шорсткості  $R_z$  різі використовуються в залежності 4.1 - 4.4.

Постійні, які входять в ці залежності приймають наступні значення:

**титановий сплав ВТ5:**  $T_{\text{кин}} = 3300^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{н}} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{пл}} = 2408^{\circ}\text{C}$ ,  $k = 0,023$  [ $\text{Вт}/\text{мм}\cdot\text{град}$ ],  $a = 9,83$  [ $\text{мм}^2/\text{сек}$ ]; **сталь 45:**  $T_{\text{кин}} = 1600^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{н}} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{пл}} = 1570^{\circ}\text{C}$ ,  $k = 0,0519$  [ $\text{Вт}/\text{мм}\cdot\text{град}$ ],  $a = 13,3$  [ $\text{мм}^2/\text{сек}$ ]; **сталь ВНС-5:**  $T_{\text{кин}} = 3250^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{н}} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{пл}} = 2300^{\circ}\text{C}$ ,  $k = 0,02$  [ $\text{Вт}/\text{мм}\cdot\text{град}$ ],  $a = 5,3$  [ $\text{мм}^2/\text{сек}$ ],  $c = 0,5$  [ $\text{Дж}/\text{г}\cdot\text{град}$ ],  $\rho = 7,56$  [ $\text{г}/\text{см}^3$ ]; **сталь Х18Н10Т:**  $T_{\text{кин}} = 1680^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{н}} = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{пл}} = 1580^{\circ}\text{C}$ ,  $k = 0,0155$  [ $\text{Вт}/\text{мм}\cdot\text{град}$ ],  $a = 4,088$  [ $\text{мм}^2/\text{сек}$ ].

Матриця плану експерименту і результати теоретичного розрахунку отриманих значень шорсткості поверхонь  $U$  представлені в таблицях 4.3 - 4.6.

Таблиця 4.3 - План експерименту типу  $2^3$  для титанового сплаву ВТ-5

| № досліджу | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $y(R_z)$ ,<br>МКМ |
|------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|-------------------|
| 1          | +     | -     | -     | -     | +        | +        | +        | -           | 6,749             |
| 2          | +     | +     | -     | -     | -        | -        | +        | +           | 2,144             |
| 3          | +     | -     | +     | -     | -        | +        | -        | +           | 4,771             |
| 4          | +     | +     | +     | -     | +        | -        | -        | -           | 1,512             |
| 5          | +     | -     | -     | +     | +        | -        | -        | +           | 14                |
| 6          | +     | +     | -     | +     | -        | +        | -        | -           | 4,36              |
| 7          | +     | -     | +     | +     | -        | -        | +        | -           | 9,55              |
| 8          | +     | +     | +     | +     | +        | +        | +        | +           | 3,049             |

Таблиця 4.4 - План експерименту типу  $2^3$  для сталі ВНС-5

| № досліджу | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $y(R_z)$ ,<br>МКМ |
|------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|-------------------|
| 1          | +     | -     | -     | -     | +        | +        | +        | -           | 4,771             |
| 2          | +     | +     | -     | -     | -        | -        | +        | +           | 1,52              |
| 3          | +     | -     | +     | -     | -        | +        | -        | +           | 3,372             |
| 4          | +     | +     | +     | -     | +        | -        | -        | -           | 1,07              |
| 5          | +     | -     | -     | +     | +        | -        | -        | +           | 9,565             |
| 6          | +     | +     | -     | +     | -        | +        | -        | -           | 3,122             |
| 7          | +     | -     | +     | +     | -        | -        | +        | -           | 6,752             |
| 8          | +     | +     | +     | +     | +        | +        | +        | +           | 2,168             |

Таблиця 4.5 - План експерименту типу  $2^3$  для сталі 45

| № | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $y(R_z)$ |
|---|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------|
|---|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------|

| дослід |   |   |   |   |   |   |   |   | МКМ    |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| 1      | + | - | - | - | + | + | + | - | 2,163  |
| 2      | + | + | - | - | - | - | + | + | 6,869  |
| 3      | + | - | + | - | - | + | - | + | 1,529  |
| 4      | + | + | + | - | + | - | - | - | 0,4845 |
| 5      | + | - | - | + | + | - | - | + | 4,332  |
| 6      | + | + | - | + | - | + | - | - | 1,395  |
| 7      | + | - | + | + | - | - | + | - | 3,06   |
| 8      | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,9672 |

Таблиця 4.6 - План експерименту типу  $2^3$  для сталі X18H10T

| № дослід | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $y(R_z)$ , МКМ |
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------------|
| 1        | +     | -     | -     | -     | +        | +        | +        | -           | 1,196          |
| 2        | +     | +     | -     | -     | -        | -        | +        | +           | 0,38           |
| 3        | +     | -     | +     | -     | -        | +        | -        | +           | 0,8457         |
| 4        | +     | +     | +     | -     | +        | -        | -        | -           | 0,268          |
| 5        | +     | -     | -     | +     | +        | -        | -        | +           | 2,396          |
| 6        | +     | +     | -     | +     | -        | +        | -        | -           | 0,7715         |
| 7        | +     | -     | +     | +     | -        | -        | +        | -           | 1,693          |
| 8        | +     | +     | +     | +     | +        | +        | +        | +           | 0,54           |

План типу  $2^3$  дозволяє отримати роздільні оцінки для коефіцієнтів рівняння регресії виду:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (4.5)$$

Коефіцієнти рівняння регресії (3.1) визначають по формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}; \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{N}; \quad b_{il} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} y_j}{N}, \quad (4.6)$$

де  $i, l$  – номери факторів;  $x_{ij}, x_{lj}$  – кодовані значення факторів  $i$  і  $l$  в  $j$  – м досліді.

В результаті розрахунків отримані наступні значення коефіцієнтів:

– для титанового сплаву ВТ-5 -  $b_0 = 5,7668$ ;  $b_1 = -3,0006$ ;  $b_2 = -1,0464$ ;  $b_3 = 1,973$ ;

$b_{12} = 0,5606$ ;  $b_{13} = -1,0346$ ;  $b_{23} = -0,3938$ ;  $b_{123} = 0,2241$ .

– для сталі ВНС-5 -  $b_0 = 4,0425$ ;  $b_1 = -2,0725$ ;  $b_2 = -0,702$ ;  $b_3 = 1,36$ ;  $b_{12} = 0,351$ ;

$b_{13} = -0,684$ ;  $b_{23} = -0,239$ ;  $b_{123} = 0,114$ .

– для сталі 45 -  $b_0 = 1,8316$ ;  $b_1 = -0,9394$ ;  $b_2 = -0,3192$ ;  $b_3 = 0,6092$ ;  $b_{12} = 0,1573$ ;  
 $b_{13} = -0,3158$ ;  $b_{23} = -0,1035$ ;  $b_{123} = 0,056$ .

– для сталі X18H10T -  $b_0 = 1,0113$ ;  $b_1 = -0,5214$ ;  $b_2 = -0,1746$ ;  $b_3 = 0,33885$ ;  $b_{12} = 0,0887$ ;  
 $b_{13} = -0,173$ ;  $b_{23} = -0,059$ ;  $b_{123} = 0,0292$ .

Після підстановки коефіцієнтів в рівняння (4.1) воно приймає вид:

– для титанового сплаву VT-5:

$$Y = 5,7668 - 3,0006x_1 - 1,0464x_2 + 1,1973x_3 + 0,5606x_1x_2 - 1,0346x_1x_3 - 0,3938x_2x_3 + 0,2241x_1x_2x_3.$$

для сталі ВНС-5:

$$Y = 4,0425 - 2,0725x_1 - 0,702x_2 + 1,36x_3 + 0,351x_1x_2 - 0,684x_1x_3 - 0,239x_2x_3 + 0,114x_1x_2x_3.$$

– для сталі 45:

$$Y = 1,8316 - 0,9394x_1 - 0,3192x_2 + 0,6092x_3 + 0,1573x_1x_2 - 0,3158x_1x_3 - 0,1035x_2x_3 + 0,056x_1x_2x_3.$$

для сталі X18H10T:

$$Y = 1,0113 - 0,5214x_1 - 0,1746x_2 + 0,33885x_3 + 0,0887x_1x_2 - 0,173x_1x_3 - 0,059x_2x_3 + 0,0292x_1x_2x_3.$$

Кодування незалежних змінних здійснюється по формулі:

$$x_i = \tilde{x}_i - \frac{\tilde{x}_{i0}}{\Delta\tilde{x}_i}, \quad (4.7)$$

де  $\tilde{x}_i$  – поточне значення технологічного параметра в натуральній величині;  $\tilde{x}_{i0}$  – значення параметра на нульовому рівні;  $\Delta\tilde{x}_i$  – інтервал його варіювання.

**Висновок:** з отриманих рівнянь видно, що найбільший вплив на шорсткість поверхні різку  $R_z$  для представлених матеріалів впливає швидкість різання, потім діаметр фокусування променя  $i$ , на кінець, потужність лазерного випромінювання.

#### 4.4 Застосування методу рототабельного планування для мінімізації ширини різку

Якість лазерного різання оцінюють показниками: ширина різку, шорсткість поверхні, наявність ґрату, неперпендикулярність кромки різку, ширина ЗТВ. Максимальну товщину розрізаємого металу<sup>S</sup> для низьких і високих скоростей різання можна визначити відповідно по залежностям

$$s = \frac{x_s V_p^H + (2r_l - x_0) V_p^H}{v}; \quad (4.8)$$

$$s = \frac{(2r_l - x_0) V_p^H}{v}; \quad (4.9)$$

З огляду на, що різ в поперечному перерізі на верхній кромці деталі формується при нерухомій кордоні руйнування, його ширину можна оцінити з виразу

$$b_p^e = 2 \left[ r_n \sqrt{1 - \left( \frac{x_0}{2r_n} \right)^2} + x_s \right]. \quad (4.10)$$

При високих швидкостях обробки, коли тепловідводом в поперечному напрямку можна знехтувати, ширина різку на верхній кромці

$$b_p^e = 2 \left[ r_n \sqrt{1 - \left( \frac{x_0}{2r_n} \right)^2} \right]. \quad (4.11)$$

$$\text{де } x_0 = \frac{\pi \cdot k}{4a} \cdot v \cdot \left[ \frac{T_{\text{кин}} - T_n}{W_p} \right]^2. \quad (4.12)$$

В глибинних шарах металу різ формується при рухомій зі швидкістю  $V_p^H$  межі руйнування. Отже, його ширина в нижніх шарах різку повинна бути менше, ніж на верхній кромці. Цю величину можна уточнити з залежності

$$b_p^n = 2 \left[ r_n + \frac{a}{V_p^H} \ln \frac{T_{\text{кин}}}{T_{\text{нл}}} \right]. \quad (4.13)$$

Щоб визначити, які чинники найбільш суттєво впливають на значення ширини різку в заданих режимах обробки, необхідно змоделювати повний факторний експеримент типу  $2^3$  ( $3 = k$  – кількість факторів,  $N = m^k = 2^3 = 8$  – кількість дослідів,  $m$  – кількість рівнів кожного фактора). Фактори, рівні і інтервали варіювання факторів для титанового сплаву ВТ-5, сталі 45 і Х18Н10Т приведені в таблиці 4.1. Для розрахунку  $b_p$  використовуються залежності 4.4 - 4.9. Постійні, які входять в ці залежності, приймають такі ж значення, як і в підрозділі 4.1.

Матриця плану експерименту і результати теоретичного розрахунку отриманих значень шорсткості поверхонь  $y$  представлені в таблицях 4.7 - 4.10.

Таблиця 4.7 - План експерименту типу  $2^3$  для титанового сплаву ВТ-5

| № дослідів | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1 x_2$ | $x_1 x_3$ | $x_2 x_3$ | $x_1 x_2 x_3$ | $y(b_p)$ , МКМ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------|
| 1          | +     | -     | -     | -     | +         | +         | +         | -             | 0,301          |
| 2          | +     | +     | -     | -     | -         | -         | +         | +             | 0,232          |
| 3          | +     | -     | +     | -     | -         | +         | -         | +             | 0,271          |
| 4          | +     | +     | +     | -     | +         | -         | -         | -             | 0,223          |



|   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|
| 5 | + | - | - | + | + | - | - | + | 0,602 |
| 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | 0,46  |
| 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 0,543 |
| 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,441 |

Таблиця 4.8 - План експерименту типу  $2^3$  для сталі ВНС-5

| № дослідю | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $y(b_p)$ , мкм |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------------|
| 1         | +     | -     | -     | -     | +        | +        | +        | -           | 0,274          |
| 2         | +     | +     | -     | -     | -        | -        | +        | +           | 0,223          |
| 3         | +     | -     | +     | -     | -        | +        | -        | +           | 0,252          |
| 4         | +     | +     | +     | -     | +        | -        | -        | -           | 0,217          |
| 5         | +     | -     | -     | +     | +        | -        | -        | +           | 0,548          |
| 6         | +     | +     | -     | +     | -        | +        | -        | -           | 0,432          |
| 7         | +     | -     | +     | +     | -        | -        | +        | -           | 0,505          |
| 8         | +     | +     | +     | +     | +        | +        | +        | +           | 0,433          |

Таблиця 4.9 - План експерименту типу  $2^3$  для сталі 45

| № дослідю | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $y(b_p)$ , мкм |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------------|
| 1         | +     | -     | -     | -     | +        | +        | +        | -           | 0,232          |
| 2         | +     | +     | -     | -     | -        | -        | +        | +           | 0,21           |
| 3         | +     | -     | +     | -     | -        | +        | -        | +           | 0,223          |
| 4         | +     | +     | +     | -     | +        | -        | -        | -           | 0,207          |
| 5         | +     | -     | -     | +     | +        | -        | -        | +           | 0,465          |
| 6         | +     | +     | -     | +     | -        | +        | -        | -           | 0,42           |
| 7         | +     | -     | +     | +     | -        | -        | +        | -           | 0,446          |
| 8         | +     | +     | +     | +     | +        | +        | +        | +           | 0,415          |

Таблиця 4.10 - План експерименту типу  $2^3$  для сталі Х18Н10Т

| № дослідю | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1x_2$ | $x_1x_3$ | $x_2x_3$ | $x_1x_2x_3$ | $y(b_p)$ , мкм |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------------|
| 1         | +     | -     | -     | -     | +        | +        | +        | -           | 0,218          |
| 2         | +     | +     | -     | -     | -        | -        | +        | +           | 0,206          |
| 3         | +     | -     | +     | -     | -        | +        | -        | +           | 0,213          |
| 4         | +     | +     | +     | -     | +        | -        | -        | -           | 0,204          |
| 5         | +     | -     | -     | +     | +        | -        | -        | +           | 0,436          |
| 6         | +     | +     | -     | +     | -        | +        | -        | -           | 0,411          |

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|
| 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 0,425 |
| 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,408 |

В результаті розрахунків отримані наступні значення коефіцієнтів:

– для титанового сплаву ВТ-5 -  $b_0 = 0,3846$ ;  $b_1 = -0,045$ ;  $b_2 = -0,01413$ ;  $b_3 = 0,1278$ ;  $b_{12} = 0,00815$ ;  $b_{13} = -0,0154$ ;  $b_{23} = -0,00437$ ;  $b_{123} = -0,0527$ .

– для сталі ВНС-5 -  $b_0 = 0,3605$ ;  $b_1 = -0,0034$ ;  $b_2 = -0,00875$ ;  $b_3 = 0,119$ ;  $b_{12} = 0,0075$ ;  $b_{13} = -0,01275$ ;  $b_{23} = -0,00175$ ;  $b_{123} = -0,0035$ .

– для сталі 45 -  $b_0 = 0,32725$ ;  $b_1 = -0,01425$ ;  $b_2 = -0,0045$ ;  $b_3 = 0,10925$ ;  $b_{12} = 0,0025$ ;  $b_{13} = -0,00475$ ;  $b_{23} = -0,0015$ ;  $b_{123} = 0,001$ .

– для сталі Х18Н10Т -  $b_0 = 0,3151$ ;  $b_1 = -0,00788$ ;  $b_2 = -0,00263$ ;  $b_3 = 0,10488$ ;  $b_{12} = 0,0014$ ;  $b_{13} = -0,0026$ ;  $b_{23} = -0,00087$ ;  $b_{123} = -0,0006$ .

Після підстановки коефіцієнтів в рівнянні (4.1) воно приймає вид:

– для титанового сплаву ВТ-5:

$$Y = 0,3846 - 0,045x_1 - 0,01413x_2 + 0,1278x_3 + 0,00815x_1x_2 - 0,0154x_1x_3 - 0,00437x_2x_3 - 0,0527x_1x_2x_3.$$

– для сталі ВНС-5:

$$Y = 0,3605 - 0,0034x_1 - 0,00875x_2 + 0,119x_3 + 0,0075x_1x_2 - 0,01275x_1x_3 - 0,00175x_2x_3 - 0,0035x_1x_2x_3.$$

– для сталі 45:

$$Y = 0,32725 - 0,01425x_1 - 0,0045x_2 + 0,10925x_3 + 0,0025x_1x_2 - 0,00475x_1x_3 - 0,0015x_2x_3 + 0,001x_1x_2x_3.$$

– для сталі Х18Н10Т:

$$Y = 0,3151 - 0,00788x_1 - 0,00263x_2 + 0,10488x_3 + 0,0014x_1x_2 - 0,0026x_1x_3 - 0,00087x_2x_3 - 0,0006x_1x_2x_3.$$

Кодування незалежних змінних здійснюється за формулою (4.3).

*Висновок:* з отриманих рівнянь видно, що найбільший вплив на ширину різку для представлених матеріалів надає діаметр фокусування променя, потім швидкість різання і, нарешті, потужність лазерного випромінювання.

При швидкості лазерного різання менше, ніж 0,5 м / хв якість лазерного різання значно падає. На поверхні різку з'являються вибоїни, безформні нарости, процес переходить в так званий газовий режим.

Аналіз газолазерного різання для розглянутих груп авіаційних листових металів дозволяє зробити наступні загальні висновки.

Титанові сплави мають кращу здатність до різання лазерним випромінюванням, незважаючи на підвищені в порівнянні з конструкційними сталями характеристики.

Високоміцні сталі при інших рівних параметрах (потужність випромінювання, швидкість різання) в порівнянні з титановими сплавами при газолазерному різанні мають обмеження по товщині листа. Ці обмеження пов'язані з різними механізмами зміни теплопровідності даних матеріалів при нагріванні до температури кипіння.

Моделювання розподілу температурних полів при газолазерному різанні різних груп матеріалів при варіюванні швидкостей різання і товщини листів показало відмінність в ширині різання на вході і виході променя, яке залежить від швидкості різання. Моделювання розподілу температурних полів при ГЛР різної товщини показало, що найбільш ефективним технологічним параметром для отримання якісного різання є швидкість руху лазерного променя.

#### **4.5 Вплив режимів різання на якісні показники**

Для процесу газолазерного різання металів можна виділити основні фактори, що визначають продуктивність і якісні показники процесу.

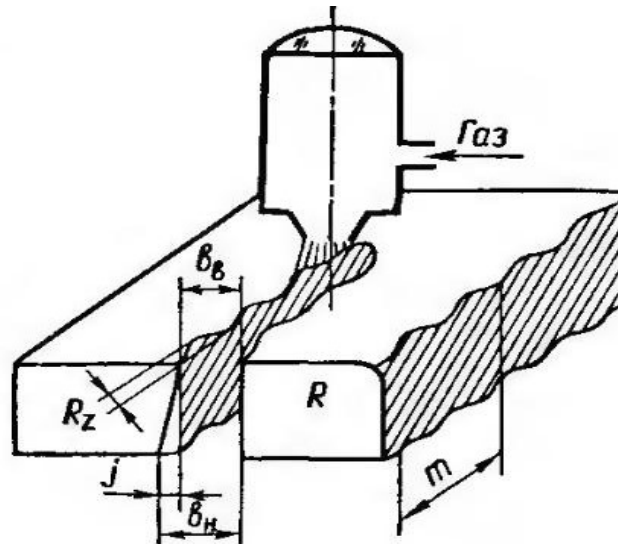
Серед них основним є щільність потужності і потужність лазерного випромінювання, швидкість різання, тиск і склад піддувала газу, конфігурація сопла для подачі газу, відстань від зрізу сопла до поверхні матеріалу, поглинальна здатність і теплофізичні характеристики, що розрізають матеріалів. Щільність підводиться в зону обробки потужності залежить, в свою чергу, від потужності лазерного випромінювання, фокусної відстані лінзи, величини і напрямки розфокусування.

##### **4.5.1 Параметри і показники процесу газолазерного різання**

З позицій техніко-економічної ефективності застосування газолазерного різання особливо доцільно в тих випадках, коли потрібно отримати деталі з високим ступенем точності розмірів і форми. В першу чергу розглядають шляхи досягнення високих якісних показників кромки різання. Поряд з цим виділяють і режими, що забезпечують високу енергетичну ефективність процесу для забезпечення максимальної глибини прорізання і швидкості різання.

При оцінці точності відтворення заданого контуру в вирізаній деталі розрізняють лінійну і розмірну точність. Лінійна точність характеризується постійністю макрогеометричного профілю поверхні різання по всій товщині і визначається переважно енергетичними і оптичними параметрами лазерного випромінювання, динамічними характеристиками спрямовується в зону струменя газу і швидкістю різання.

Поняття якості при газолазерному різанні металів достатньо багато загальних характеристик з іншими термічними способами різання. Якість визначають наступні показники (малюнок 4.4): точність, шорсткість  $R_z$ , неперпендикулярність (клиновидність), протяжність зони термічного впливу  $b_{ЗТВ}$ , ширина різку  $b$ , відставання лінії різку, кількості грату, а також радіусом оплавлення верхньої кромки  $R$ .



Малюнок 4.4 – Параметри, які визначають якість лазерного різку

Лазерне різання з киснем характерне тим, що при взаємодії кисню з розігрітим металом відбувається екзотермічна реакція окислення. Для сталей кількість виділення тепла з одиниці поверхні в одиницю часу виявляється в два-три рази більше, ніж потужність, що підводиться лазером. Утворені оксиди видаляються з розрізу цим же струменем кисню.

Характерні особливості процесу:

діаметр сфокусованого променя менше, ніж діаметр кисневої струменя. Діаметр струменя зазвичай становить 1 - 2 мм;

як правило, лазерна різка здійснюється розширюється променем, тобто точка фокусу завжди розташована вище поверхні металу.

Збільшення швидкості лазерного розкрою призводить до поліпшення якості різку. Це пов'язано з тим, що при збільшенні швидкості розкрою метал перегрівається в меншому обсязі, що призводить до зменшення глибини зміненого шару і не дає збільшуватися грату на висоті різку.

Необхідно враховувати, що надмірне завищення швидкості розкрою може привести до часткового непрорізу через неоднорідність металу. На нижній кромці поверхні різку утворюється грат, який легко видаляється при оптимальних режимах газолазерного різання, при відхиленні від них вимагає механічного

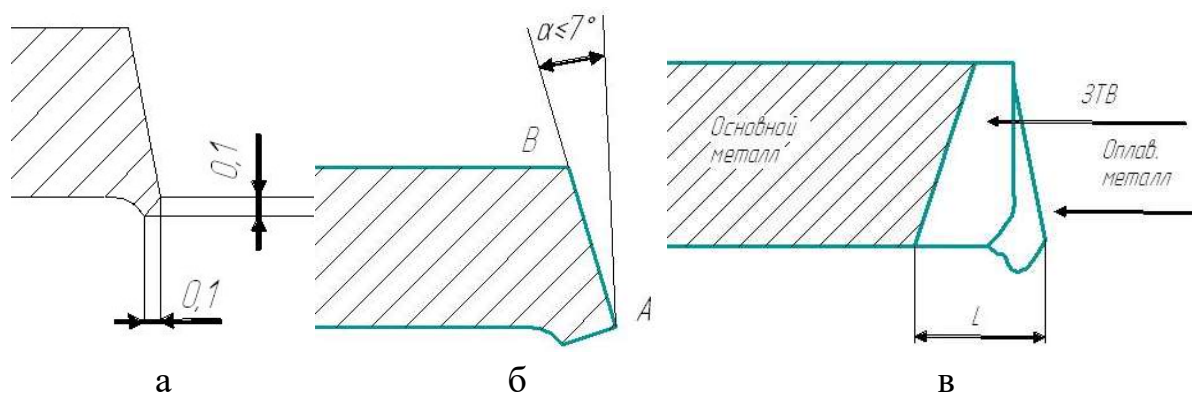
впливу для його видалення аж до фрезерування кромки. Розміри ґрату перевіряються на металографічних шліфах (малюнок 4.5, а).

Для поверхні різку характерна наявність двох зон с різною шорсткістю.

Перша зона розташована при вході в метал і має мінімальну шорсткість, друга зона розташована за нею і має більшу шорсткість. Відмінність шорсткості тим істотніше, чим більше товщина розрізаємого металу. Макрорельєф поверхні різку характеризується висотою виступів  $Rz$  і кроків між ними  $Z$ . На металографічних шліфах перевіряють кут різку  $\alpha$ , який утворюється перпендикуляром до листа і прямої, що проходить через точки А і В. Максимально допустимий кут різку  $\alpha$  повинен бути не більше  $7^\circ$  (малюнок 4.5, б).

Протяжність зони термічного впливу (ЗТВ) оцінюють металографічним контролем шліфа поперечного зразка після травлення. Враховується будь-яка видима різниця в розмірі зерна і типі структури.

В контрольований розмір  $l$  крім власне ЗТВ включають і ділянку з оплавленим металом. Береться найбільший розмір з урахуванням кута різку (маюнок 4.5, в). Тріщини в оплавленому металі і ЗТВ не допускаються.



Малюнок 4.5 – Допустимі параметри якісного лазерного різку:

а – ґрату; б – кута різку; в – величини ЗТВ




#### 4.5.2 Вплив режимів на якісні показники виконуваних різів

При газолазерному різанні металів на поверхні різку утворюються поглиблення (борозенки), розташовані рівномірно одне за іншим. Борозенки характеризуються трьома показниками: глибиною, частотою і формою (викривленням або так званним відставанням лінії різку), які в своїй сукупності визначають мікрогеометрію (шорсткість) поверхню різку.

На вході лазерного променя ширина окисленого шару мінімальна і практично мало залежить від зміни швидкості розкрою. Істотна зміна

спостерігається в разі, коли не відбувається прорізання аркуша і розплавлений метал вихлюпується назовні (таблиця 4.11).

Таблиця 4.11 – Причини розбризкування металу при проколюванні

| Проблема  | Можливі причини   | Можливі рішення  |
|---|---|--|
| <p>Розбризкування металу при проколюванні на початку процесу.</p>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Загрузка дуже велика.</li> <li>- Дуже високий тиск.</li> <li>- Фокус розташований дуже глибоко.</li> </ul> | <p>- При виконанні перших ліній зменшуйте завантаження з кроком 1-2%. При виконанні всіх ліній зменшуйте тиск газу з кроком 0,1 бар. При виконанні перших ліній переміщайте фокус вгору з кроком 0,1-0,2 мм.</p> |
| <p>Розбризкування металу при проколюванні в середині процесу.</p>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Загрузка дуже велика. Дуже високий тиск. Фокус розташований дуже глибоко.</li> </ul>                       | <p>При виконанні перших ліній зменшуйте завантаження з кроком 1-2%. При виконанні всіх ліній зменшуйте тиск газу з кроком 0,1 бар. При виконанні перших ліній переміщайте фокус вгору з кроком 0,1-0,2 мм.</p>   |
| <p>Розбризкування металу між закінченням процесу проколювання і початком процесу різання.</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Недостатньо часу для проколювання металу.</li> </ul>   | <p>- В останньому рядку збільшуйте час проколювання з кроком 0,5 секунди. У всіх рядках збільшуйте завантаження з кроком 1 - 2% . Збільшуйте тиск з кроком 0,1 бар у всіх лініях.</p>                            |

Це залежить від товщини металу і режиму лазерного різання, чим більше товщина металу, тим менше швидкість різання необхідна для розкрою. На вході лазерного променя ширина окисленого шару максимальна в порівнянні зі входом і залежить від режимів лазерного різання, так і товщини розкроюється металу (таблиця 4.12).

Таблиця 4.12 – Причини широкого різку

| Проблема  | Можливі причини   | Можливі рішення   |
|---|---|---|
| <p>Погана якість на протилежних сторонах.</p>  | <p>Лінза не відцентрована.<br/>Отвір наконечника закрито або не кругле.<br/>Неточне вирівнювання дзеркал</p>  | <p>Перевірте центрування лінзи.<br/>Перевірте стан наконечника.<br/>Перевірте вирівнювання променя.</p>   |
| <p>Широкий різ на початку.</p>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Занадто довге або неправильне врізання.</li> <li>- Неправильний вибір лазерної лінії.</li> <li>- Тривалий час проколювання.</li> <li>- Занадто велика кількість тепла, виробленого при різанні.</li> </ul> | <p>Перевірте тип і довжину врізання<br/>Перевірте колір лінії.<br/>Перевірте, чи не перевищує час проколювання задане значення більш, ніж на 2 секунди.<br/>Зменшуйте завантаження з кроком 2-3%.</p> |
| <p>Широкий різ по всій деталі.</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Дуже високий тиск.</li> <li>- Фокус розташований занадто високо.</li> <li>- Потужність занадто велика.</li> <li>- Використовується низькоякісний матеріал.</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Зменшуйте тиск з кроком 0,1 бар.</li> <li>- Зменшить потужність.</li> <li>- Перевірте положення нульової точки фокуса.</li> </ul>                            |

Зі збільшенням швидкості різання зменшується ширина окисленого шару, при чому, чим більше товщина розкроюється металу, тим менше інтервал

швидкостей різку необхідних для розкрою. Крім того, відмінність в ширині окисленого шару спостерігається в самій кінцевій точці закінчення різку, воно значно більше, ніж на початку різку.

### Висновок

Лазерному розділенню матеріалів притаманні такі особливості: великий діапазон поділюваних матеріалів; можливість отримання вузьких розрізів і безвідходного розділення; мала зона термічного впливу; можливість автоматизації процесу різання по заданому контуру.

При різанні вуглецевих сталей необхідно прагнути до фокусування випромінювання в пляму меншого діаметру з метою підвищення щільності потужності в зоні різання, однак не більше тієї  $W_p$ , при якій на обраних швидкостях настає Автогенне горіння стали.

Для нержавіючих сталей глибина різку  $s$  зростає зі зменшенням діаметру плям фокусування з одночасним зниженням його якості. Зменшення щільності потужності в зоні різання веде до зміщення процесу автогенного горіння в область менш високих швидкостей обробки.

При різанні титанових сплавів кращі результати виходять при підвищенні щільності потужності в зоні обробки.

Результати досліджень показали, що поряд з щільністю потужності важливим технологічним фактором, багато в чому визначальним розмірні параметри лазерного різання листових металів, є швидкість різання. Однак варіювання швидкістю обробки має обмеження.

Нижньою межею допустимої швидкості різання для вуглецевих сталей служить перехід процесу в режим автогенного різання, для нержавіючих сталей, титанових і алюмінієвих сплавів різке погіршення якості поверхні різку. В умовах різання металів лазером потужністю 1 кВт такі явища особливо характерні при швидкостях обробки, що лежать нижче 0,3-0,5 м / хв. Занадто ж високим швидкостям різання відповідає різке зниження товщини, що розрізають деталей. Тому зазвичай швидкості різання не підвищують більше 6-8 м / хв;

Збільшення тиску піддувала в зону обробки співвісно лазерному променю робочого газу до 0,35-0,4 МПа веде до пропорційного зростання глибини різку. При подальшому зростанні тиску глибина різку стабілізується, а потім дещо знижується через посилення охолоджуючого дії струменя.

З ростом тиску кисню до 0,25-0,3 МПа зростає ширина виконаного різку, а глибина зони термічного впливу знижується при підвищенні тиску аж до 0,4 МПа, причому при низьких швидкостях різання такі закономірності проявляються більш інтенсивно.



### Використана література:

1. Порядок оформлення учебных документів: учеб. пособие П60 / В. Н. Павленко, В. В. Воронько, Ю. А. Сысоев, И. М. Тараненко. – 3-е изд., доп. и испр. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 76 с.
2. Григорійов В.П. Ганіханов Ш. Ф. Пристосування для збирання вузлів і агрегатів літаків і вертольотів. Навчальний посібник для авіаційних вузів. – М.: Машинобудування, 1977р. – 140с.
3. Технологія виробництва літаків і вертольотів. В.С.Кривцов, Ю.М.Букін, Ю.А.Баборикін, Ю.К.Воробйов, ч1,ч2.-Х.:ХАІ, 2006р.
4. Твердотільне моделювання в конструкторсько-технологічній підготовці виробництва. Ч. 1. Загальні принципи твердотільного моделювання / В. В. Борисевич, В. Е. Зайцев, А. Н. Застела, Я. С. Карпов, В. С. Кривцов, А. Н. Мещеряков, А. А. Павленко. – Навч. посібник. – Харків: ім. М. Є. Жуковського «Харк. авиац. ін-т», 2003. – 188 с.
5. Гнучкі виробничі системи в авіабудуванні / В. С. Кривцов, С. Г. Васильченко, Ю. В. Дьяченко, В. Е. Зайцев. – Навч. посібник по курсовому проектуванню. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авиац. ін-т», 2001. – 98 с.
6. Допуски, посадки і технічні вимірювання в виробництві літальних апаратів / С. І. Беліков, Н. А. Докуніна, Н. Н. Бурдина. – Навч.. посібник для авіаційних технікумів. – М.: державне науково-технічне видавництво оборондвид, 1963. – 287 с.
7. Проектування вертолетів / В. С. Кривцов, Я. С. Карпов, Л. И. Лосев. – Підручник. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», -2003. – 344 с.
8. Технологія виробництва літальних апаратів: Підручник: У 2 кн. – Кн. 2. Технологія складання літальних апаратів / Ю. М. Терещенко, Л. Г. Волянська, К. А. Животовська та ін.; За ред. Ю. М. Терещенка. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. – 492 с.
9. Технологія виробництва деталей літальних апаратів. Книга 1: Підручник / І. А. Гриценко, К. А. Животовська, В. М. Король, О. В. Мамлюк, Ю. М. Терещенко; за ред. Ю. М. Терещенка – К.: Вища освіта, 2004. – 448 с.
10. Ковка та штампування: Довідник. В 4-х т. / Ред. рада: Е. І. Семенів (пред.) та ін. — М.: Машинобудування, 1986р. – Т. 2. Горяче штампування/Під ред. Е. І. Семенова, 1986р. – 592 с.
11. Обробка металів різанням, металоріжучий інструмент і верстати: Підручник для середніх спеціальних навчальних закладів з машинобудівних спеціальностей / В. А. Гапонкин, Е. Г. Гриценко, Т. Г. Суворова. – М.: Машинобудування, 1990. – 448 с.: іл.

12. Комплекс розрахунків з техніко-економічного обґрунтування інженерних рішень при проектуванні та виготовленні ЛА.

13. Економіка підприємств. Практикум: Навч. посібник / О.В. Березін, Н.В. Бутенко. – К.: Знання, 2009. – 254 с.

14. Конструкційні матеріали в літакобудуванні / К 65 А. Г. Моляр, А. А. Коцюба, А. С. Бичков, О. Ю. Нечипоренко – К. КВІЦ, 2015. – 400 с.

15. Гранін В.Ю., Долматов А.І. Визначення припусків на механічну обробку та технологічні розмірні розрахунки: Навч. посібник. / Харків: Харк. авіац. ін-т, 1987р. – 101 с.

16. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 1 /Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985, 656 с., ил.

17. Атлас деталей машин: ред. А. Х. Балабуха, Навч. посіб для техн. вузів. – Х.: Основа, 1996, - 256 с.

18. Технології виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску: підручник / В. С. Кривцов, В. Т. Сікульський, В. М. Павленко та ін. – Х. : Нац. Аерокосм. Ун-т «Харк. авіа. ін.-т», 2010. – 224 с.