

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Факультет інформаційних технологій  
(факультет)

Кафедра системного аналізу та управління  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

Студента \_\_\_\_\_ Захарчука Станіслава Миколайовича \_\_\_\_\_

академічної групи \_\_\_\_\_ 124-22ск-1 \_\_\_\_\_

спеціальності / \_\_\_\_\_ 124 Системний аналіз \_\_\_\_\_ з \_\_\_\_\_

на тему: «Системний аналіз процесу гарячої прокатки безшовних труб з оптимізацією системи обробки замовлень»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	Інституційною	
кваліфікаційної роботи	<i>д.т.н., проф. Слесарев В.В.</i>			
розділів:				
Інформаційно- аналітичний	<i>д.т.н., проф. Слесарев В.В.</i>			
Спеціальний роз- діл	<i>д.т.н., проф. Слесарев В.В.</i>			
Рецензент	<i>д.т.н., проф. Алексеев М.А.</i>			
Нормоконтролер	<i>к.ф.-м.н., доц. Хом'як Т.В.</i>			

Дніпро  
2025

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
**завідувач кафедри**  
Системного аналізу та управління  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Желдак Т.А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавра**

студенту Захарчуку С.М. академічної групи 124- 22ск-1  
спеціальності: 124 Системний аналіз

на тему «Системний аналіз процесу гарячої прокатки безшовних труб з оптимізацією системи обробки замовлень»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка»

від 05.05.2025 р. №336-с

<b>Розділ</b>	<b>Зміст</b>	<b>Терміни виконання</b>
1. Інформаційно-аналітичний розділ	<i>Проаналізувати структуру об'єкту дослідження. Визначити предметну область дослідження та проблему, що вирішується. Обґрунтувати методи розв'язання поставлених задач</i>	10.03.2025 – 01.05.2025
2. Спеціальний розділ	<i>Розробити вимоги до структури та алгоритму роботи системи підтримки прийняття рішень, що впорядковує замовлення. Вирішити задачу ранжування замовлень різними методами, оцінити важливість обраних критеріїв</i>	01.04.2025 – 10.06.2025

Завдання видано \_\_\_\_\_ проф. Слесарев В.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі: 06.03.2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Захарчук С.М.  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 88 стор., 14 рис., 46 табл., 2 додатків, 16 джерел.

*Об'єкт дослідження:* процес виробництва безшовних труб в умовах трубопрокатного цеху №3 ВАТ “Інтерпайп-НТЗ”.

*Предмет розробки:* система підтримки прийняття рішень щодо обробки замовлень

*Мета бакалаврської роботи:* підвищити ефективність обробки замовлень трубної продукції на основі відомих методів прийняття рішень в умовах невизначеності.

*В інформаційно-аналітичному розділі* приведений опис об'єкта дослідження, характеристика виробничо-господарської діяльності, виконаний огляд сучасних методів прийняття рішень в умовах невизначеності, а також сучасні підходи до створення систем підтримки прийняття рішень.

*У спеціальному розділі* запропоновані рішення поставлених у роботі задач. Зокрема, сформульовані критерії, за якими оцінюється кожне нове замовлення, що надходить до відділу маркетингу, визначені функції належності нечітких термів предметної області, виконані рішення щодо прийняття та впорядкування за послідовністю виконання замовлень методами експертного оцінювання, ієрархій та нечітких критеріїв.

*Практична цінність* отриманих в роботі результатів полягає у значному скороченні часу, що витрачається на планування замовлень, виключенні помилок та зайвих переналаштувань обладнання, а також у можливості відмови від небажаних замовлень. Все це має як наслідок поліпшення техніко-економічних показників роботи та загального фінансового стану підприємства.

МЕТАЛУРГІЯ, ВИРОБНИЦТВО, ТРУБА, ЗАМОВЛЕННЯ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ, КРИТЕРІЙ, ОЦІНКА.

## THE ABSTRACT

Explanatory note: 88 pages, 14 figures, 46 tables, 2 appendixes, 16 sources.

*The object of research:* the process of production of seamless pipes in pipe plant number 3 of "Interpipe-NTZ".

*Subject:* The decision support system for order processing

The purpose of the Bachelor: improve processing orders on tube products based on known methods of decision making under uncertainty.

In the *information-analytical section* describes the objection Studies of the characteristics of industrial and economic activities, made an overview of modern methods of decision making under uncertainty, as well as modern approaches to the creation of decision support systems.

*A special section* proposed solving the problems at work. Specifically formulated criteria evaluated each new order that comes in the marketing department, defined membership functions of fuzzy terms of subject area, made decisions about adoption and streamline the order fulfillment for expert evaluation methods, hierarchies and fuzzy criteria.

*The practical value* of results obtained in the work is substantially reduced time spent on planning of orders, excluded settings errors and unnecessary equipment, and also may cancel unwanted orders. All this should improve as a result of technical and economic performance indicators and overall financial condition.

STEEL, MANUFACTURING, PIPES, ORDER, DECISION MAKING, EFFICIENCY, PERSPECTIVE, CRETE-SWARM, EVALUATION.

## ЗМІСТ

	<b>Стор.</b>
ВСТУП	6
1. ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Аналіз “Інтерпайп-НТЗ” як об’єкту господарської діяльності	10
1.2 Технологія виробництва безшовних труб	12
1.3 Теоретичні відомості про побудову СППР	35
1.4 Теоретичні відомості про методи прийняття рішень	43
1.5 Висновки до розділу. Постановка задачі.	49
2. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	51
2.1 Структура замовлення трубної продукції	51
2.2 Критерії обробки замовлень	59
2.3 Алгоритм роботи СППР	66
2.4 Вибір найкращого замовлення методом ієрархії	72
2.5 Вибір найкращого замовлення методом нечітких відношень	80
2.6 Висновки до розділу	83
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТКИ	89
Додаток А. Матеріали кваліфікаційної роботи	89
Додаток Б. Відгук наукового керівника	90
Додаток В. Рецензія на роботу бакалавра	91
Додаток Г. Схема управління підприємством	92

## ВСТУП

Металургія має основну частку у внутрішньому валовому продукті (ВВП) серед усіх галузей господарства в Україні. Вона забезпечує більше 30 % промислового виробництва держави. Лідерські позиції українських металургів по виробництву чорних металів в світі стоять на 7 місці за об'ємом виробництва сталі і на 3 місце — за об'ємом експорту металопродукції. Частина продукції, що виготовляється металургійними підприємствами, складає 42 % від загальних об'ємів експорту України [2].

Однією з основних тенденцій подальшого розвитку металургійного комплексу України, яка домінуватиме в наступні роки, є активна модернізація потужностей металургійних підприємств.

Міжнародне енергетичне агентство прогнозує різке збільшення споживання нафти і газу, що буде потребувати будівництва нових трубопроводів, і як наслідок може привести до прискорення консолідації в українській трубній промисловості, а також активізувати процес виходу на IPO лідерів галузі. В цілому Україна володіє значними потужностями по виробництву труб. Щорічно в країні виробляється 2,6 млн. тонн всіх видів труб на загальну суму \$ 1,2 млрд [12].

Понад 80% металопродукції експортується. Найбільш перспективними ринками збуту українські трубні підприємства називають Європейський Союз, Середню Азію і країни Близького Сходу. Саме на них доводиться 2/3 світового споживання.

Не дивлячись на провідні позиції українського трубної промисловості в світі, в нашій країні відсутній один з найважливіших в сучасних умовах вирішальний чинник конкурентоспроможності – передові технології виробництва труб.

Зараз виробники труб планують реалізувати стратегічну довгострокову програму свого розвитку: постійна активізація інноваційних процесів; вдоско-

налення структури виробництва; підвищення конкурентоспроможності на всіх етапах відтворення.

Створюються зразки принципово нового прогресивного високопродуктивного енергозберігаючого устаткування замість морально і технічно застарілого, розроблюватись і впроваджуватись ресурсозберігаючі технології, удосконалюються структура виробництва і номенклатура продукції, що випускається. Це дозволило лідерам трубної промисловості вийти на новий рівень виробництва. Це у результаті, призвело до переходу від цінової конкуренції до конкуренції за якісними показниками. У зв'язку з цим можна передбачити, що період спокійного функціонування світової трубної промисловості закінчується і починається період жорстокої конкуренції [8].

Не дивлячись на провідні позиції українського трубопрому в світі, в нашій країні відсутній один з найважливіших в сучасних умовах вирішальний чинник конкурентоспроможності – передові технології виробництва труб.

Сьогодні настановна потужність спеціалізованих трубних заводів України складає більше 5 млн. т труб в рік, при тому що останніми роками виробництво труб знаходиться на рівні близько 1,5 млн. т. Трубні підприємства завантажені практично лише на 33%. А зношування виробничих станів складає від 63 до 95% [12]. Виходячи з реального положення справ в трубній промисловості України, можна зробити висновок, що різноманітність способів виробництва і значну кількість трубних підприємств створює помилкове уявлення про великі технічні можливості трубної підгалузі.

Зараз в Україні діють вже абсолютно інші виробничі стосунки в трубній промисловості. По-перше, зменшилась ємкість вітчизняного ринку труб в порівнянні з ємкістю ринку труб в період, коли Україна була у складі СРСР. По-друге, власниками трубних заводів стали незалежні і в основному не зв'язані один з одним корпоративними стосунками фізичні і юридичні особи. Нові власники не мають наміру і не готові сьогодні погоджувати один з одним свої стратегічні і тактичні завдання в частині розвитку трубного і трубозварюваль-

ного виробництв в Україні. Більш того, вони ведуть між собою жорстку конкурентну боротьбу за ринок.

Можна назвати декілька основоположних напрямів розвитку трубній промисловості України. Напевно, можна було в Україні за прикладом ЄС узяти курс на різкіше скорочення галузевого виробництва. Проте, слід прийняти «м'яку» промислову політику, направлену на поступову, ретельно продуману адаптацію галузевої структури до нових умов, що витікає з логіки і потреб структурної реорганізації всієї економіки країни в цілому.

Потужності по виробництву труб в Україні в даний час в 3 рази перевищують потреби внутрішнього ринку, навряд чи можна розраховувати на високу рентабельність підприємств без розширення ринків збуту. Враховуючи, що постійно зростає експорт продукції в далеке зарубіжжя, розширення ринків збуту, можливо, лише на основі випуску продукції з гарантованим рівнем якості, який відповідає вимогам світових стандартів.

Вступ України в СОТ ставить перед галуззю завдання привести нормативну документацію у відповідність з вимогами європейських і міжнародних стандартів. Аналіз зарубіжних і міжнародних стандартів на труби (ISO, EN, DIN та ін.) показав, що значна частина вимог цих стандартів (до 70–80%) відповідає вітчизняним стандартам. Проте перехід на їх виконання потребує серйозних зусиль, направлених на освоєння технології виробництва труб уніфікованих марок сталі, розширення сортаменту, підвищення рівня контролю і обробки продукції.

Стає очевидним, що необхідний системний підхід до забезпечення конкурентоспроможності не лише окремих видів трубної продукції, а і трубних підприємств. Конкурентоспроможність підприємства визначається комплексом умов: широкий сортамент вироблюваної продукції; високий рівень якості продукції; мінімум витрат при виробництві; здатність виконати замовлення в обумовлені терміни. На даному етапі визначилися два аспекти конкурентоспроможності галузі: технічна оснащеність галузі і перспективи збуту її продукції.

На основі проведеного аналізу реального положення трубної промисловості України можуть бути запропоновані до реалізації з метою підвищення її конкурентоспроможності в умовах України декілька аспектів [10] :

- Перехід від цінової конкуренції на світових ринках до нецінових методів конкурентної боротьби на основі високої якості, гарного обслуговування, надання кредиту і розстрочки платежів, надійності постачань.

- Прискорення автоматизації виробництва з метою зниження витрат в умовах загострення конкуренції. Порівняно високий технологічний рівень виробництва забезпечать хороші передумови для широкого використання автоматичних систем контролю і управління.

- Необхідно направити роботу на посилення ринкових принципів з ухилом на ініціативи приватного сектора.

*Об'єктом дослідження* в кваліфікаційній роботі є процес виробництва безшовних труб в умовах Відкритого акціонерного товариства “Інтерпайп-НТЗ”. Останнє є одним із флагманів виробництва безшовним сталевих труб в Україні.

В якості *предмета розробки* розглянуто систему підтримки прийняття рішень, яка має застосовуватись в процесі обробки замовлень, впорядковуючи їх за відповідністю критеріям виробництва.

*Метою* цієї бакалаврської роботи є розробка автоматизованої системи обробки замовлень трубної продукції на основі нечітких критеріїв з використанням відомих методів прийняття рішень в умовах невизначеності.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні **задачі**:

- аналіз загального стану ВАТ “Інтерпайп-НТЗ” як об’єкта господарювання й визначення проблемної області;
- визначення критеріїв оцінки замовлень, що надходять на підприємство;
- ранжування потоку вхідних замовлень за відповідністю сформульованим критеріям привабливості;
- порівняння використаних методів та прийняття рішення про застосування їх в складі системи підтримки прийняття рішень;

- виявлення можливих шляхів подальшого розвитку запропонованої системи.

Перелічені задачі визначили зміст даної кваліфікаційної роботи.

## 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Аналіз “Інтерпайп-НТЗ” як об’єкту господарської діяльності

#### 1.1.1. Історична довідка про підприємство.

ВАТ «Нижньодніпровський трубопрокатний завод» - одне з провідних металургійних підприємств України. Багата досягненнями історія заводу налічує більше 125 років. “Інтерпайп-НТЗ” - сучасне багатопрофільне підприємство з високим рівнем автоматизації виробничих процесів.

“Інтерпайп-НТЗ” - найбільше підприємство по виробництву труб для видобутку і транспортування нафти і газу, які застосовуються на ключових нафтових родовищах світу. Продукція поставляється більш ніж в 70 країн світу, частка експорту в структурі продажів складає близько 70%. Виробничі потужності заводу включають: сталеплавильний комплекс з 4-ма мартенівськими печами і установкою позапічної обробки і вакуумування сталі; п'ять трубопрокатних цехів; колесопркатний цех і бандажний для кільця комплекс. Трубні підприємства — учасники Корпорації — зайняли перші місця в галузевому рейтингу трубної промисловості.

Група «Інтерпайп» є четвертою за рівнем потужностей трубною компанією світу, третім в світі виробником і постачальником залізничних коліс, найбільшим в світі постачальником силікомарганцю. На світовому ринку безшовних труб доля Корпорації складає 4,1%, на світовому ринку залізничних коліс — 10%, на ринку марганцевих феросплавів — 11,4%. До складу групи входить ряд виробничих, торговельних і сервісних приватних компаній. Сьогодні на підприємствах, що входять до групи, працюють понад 9 тис. осіб [5].

Схема організації керування підприємства зображена на додатку Г.

Схема підпорядкування цеху №3 за етапами виробництва зображена на рис. 1.1.

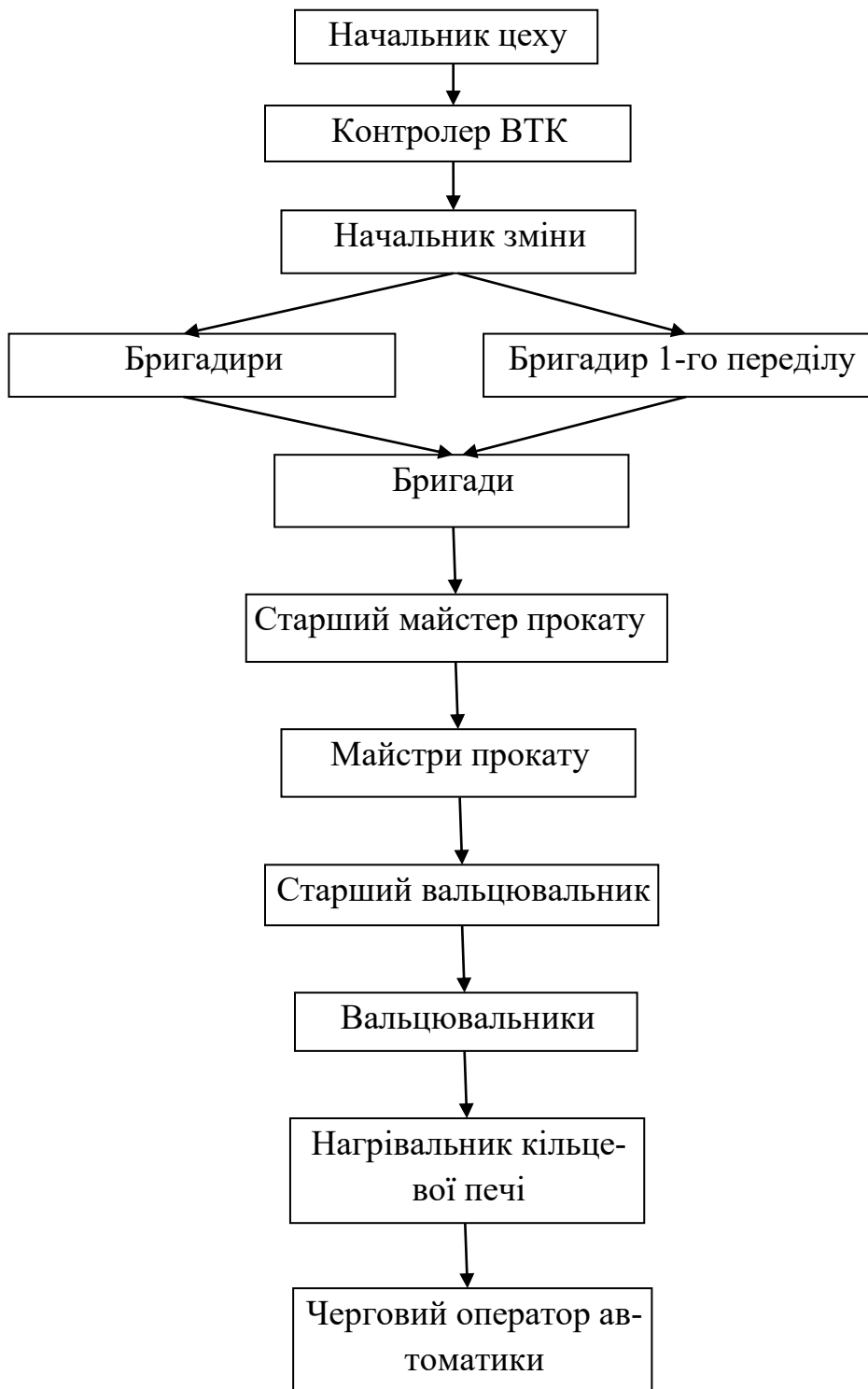


Рисунок 1.1 – Структура керування ТПЦ №3.

Завод виробляє і постачає більше 1200 типорозмірів сталевих труб діаметром від 10 до 377 мм, в т.ч.:

- гарячодіформовані та холододіформовані труби загального призначення;

- обсадні труби та муфти до них;
- насосно-компресорні труби та муфти до них;
- труби для котелень та трубопроводів;
- гарячодіформовані та холододіформовані підшипникові труби;
- холодотягнуті труби високої точності;
- труби електрозварювані круглого та профільного перетину;
- водогазопровідні труби;
- труби з внутрішнім емальюванням;
- бурильні труби, що обважнюють, і квадратні штанги.

Сучасні технології і устаткування, система контролю якості і випробувань продукції забезпечують постачання труб по технічних вимогах споживачів, повністю відповідають вимогам національних і міжнародних стандартів [6].

## 1.2. Технологія виробництва безшовних труб

В цеху № 3 встановлений трубопрокатний агрегат 200 (надалі – ТПА 200), який дозволяє виготовляти безшовні гарячекатані труби наступного сортаменту:

а) Підшипникові гарячекатані розмірами 80...183,1 x 7,3...38 мм за ДСТУ 800 зі сталей марок ШХ15, ШХ15СГ, ШХ15У, ШХ15СГВ, ШХ15Ш и ШХ15СГШ та по ТУУ В 14-243-514-2000 зі сталі марки ШХ4.,

б) Вуглецеві та леговані гарячекатані труби діаметром 80...203 мм із товщиною стінки 8...50 мм по стандартах ГОСТ 8731 та ГОСТ 8732 зі сталей марок 10, 20, 35, 45, 20Х, 2.0ХН, 40Х, 30ХГСА й ін., по стандартах СИМ 1629, 1630 зі сталей марок 8137, 3144 й 3152 і по стандарту EN 10210 з нелегованих і низьколегованих сталей марок 8235, 8275, 3355, 8460.

в) Муфтова трубна заготівка по стандартах ГОСТ 632, ГОСТ 633, АР 5СТ і технічним умовам ТУ В 14-8-35-2001 і ТУ В 14-8-39-,

г) Труби для котельних установок та трубопроводів по ТУ 14-3-190-82 і ТУ 14-3-460-75,

д) Передільна трубна заготівка:

- для підшипникових холоднокатаних труб за ДСТ 800 з марок сталей ШХ15, ШХ15В и ШХ15Ш;

- для вуглецевих та легованих холоднокатаних труб за ДСТ 8733, ГОСТ 8734 і стандартам DIN, EM, АЗТМ, АР з марок сталей 10, 20, 35, 45, 40Х, 30ХГСА, 3137 й ін.; для вуглецевих холоднотягнутих труб за ДСТ 8733, з марок сталей 35, 45, 40Х, 8137, 8144 й ін.) [13];

Виготовлення труб на ТПА 200 здійснюється за наступною технологічною схемою, представленою на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Технологічна схема виробництва на ТПА 200

Труби виготовляються із трубної заготовки діаметром 105...230 мм.

Технологія подальшого переділу, контролю, здачі й відвантаження труб передбачається у відповідних технологічних інструкціях.

### 1.2.1. Загальні положення по прокатці труб

Перед початком прокатки замовлення старші вальцювальники станів зобов'язані написати крейдою на дошках показники таблиці прокатки. Правильність записів контролюється змінним майстром.

Настроювання всіх станів виконують вальцювальники відповідно до таблиці прокатки. Настроювання станів вважається правильним, якщо процеси прокатки протікають нормально: захоплення металу валками відбувається плавно, без ударів, відсутнє перевантаження двигунів, розміри гільз та труб відповідають таблиці прокатки й на їхній поверхні немає дефектів прокатного походження.

Масовий прокат труб дозволяється починати тільки після перевірки на перших трьох штуках правильності настроювання всіх станів. Повинна бути перевірена точність геометричних розмірів та якість поверхні на відповідність вимогам нормо контролю.

У технологічному потоці контроль правильності настроювання всіх станів і режимів процесу здійснюється старшими вальцювальниками за показниками відповідних індикаторів. При сталому процесі прокатки контроль геометричних розмірів труб виконується шляхом відбору проб на пилці.

Вальцювальники повинні систематично в процесі роботи контролювати розмір і стан прокатного інструменту, а також стан змінного встаткування (валків, лінійок, оправлень, проводок, вкладишів й ін.).

На робочій поверхні інструмента не допускаються тріщини, припливи, раковини, налипання часток металу, гострі крайки й інші вади.

Майстер прокату повинен строго контролювати темп прокатки, дотримання режимів технологічних процесів і відповідність якості труб, що прокочують, таблиці прокатки, технологічної інструкції, і вимогам нормоконтролю.

Транспортні передачі гільз та труб по всій технологічній лінії повинні здійснюватися із проектною швидкістю.

Підстужені трубні заготовки, гільзи й труби із загорненими оправленнями, що з якихось причин не пройшли повний технологічний цикл, знімаються крапом й укладається на плацу. Після їхнього остигання вальцювальники прошивного або розкатного станів маркують їх крейдою із зазначенням марки сталі, номеру плавки й зміни прокату. Наприкінці зміни заготовки й гільзи, з попередньо вирізаними ділянками із загорненими оправленнями, передаються на перший переділ і складуються в спеціально відведені кишені, а труби із закатаними в них оправленнями розкатного стану - на ділянці обкатного стану для добування оправлень.

Відомості про проточені й викинуті заготовки, гільзи й труби, контролер ВТК заносить у рапорт прокату.

При виробництві труб за стандартами DIN 1629, DIN 1630 та EN 10210 з допустимими відхиленнями по масі кожної труби, необхідне виконання корекції товщини стінки.

При виробництві гарячекатаних труб на ТПА 200 повинне забезпечуватися відслідковування проходження продукції по переділах. У процесі виготовлення труб повинна оформлятися «Відомість супроводу».

Відповідальність за відповідність технологічного процесу вимогам інструкції, таблиці прокатки та за якість труб, що прокатуються, несуть майстер прокату й старший вальцювальник.

### 1.2.2. Підготовка металу до прокату

Заготовка поставляється на завод у вигляді штанг, ув'язаних у пакети, кожен пакет складається зі штанг одного розміру, однієї марки сталі та плавки. Трубна заготовка повинна супроводжуватися сертифікатом заводу-постачальника. У сертифікаті повинні бути зазначені наступні дані: номер пла-

вки, маса, розмір і профіль заготовки, марка сталі, хімічний склад, механічні властивості й результати металографічного контролю.

Контролер ВТК перевіряє трубну заготовку за сертифікатним даними відповідних технічних умов і замовлення. Видає дозвіл на застосування її у виробництво.

Для прокату труб використовується заготовка діаметром 105...230 мм. Відомості про трубну заготовку, що надійшла в цех (зовнішній склад) заносяться в «Журнал реєстрації надходження заготовки» з розписом бригадира.

Щоб уникнути застосування трубної заготовки, що не відповідає вимогам по державних чи міждержавних стандартах (наприклад, при граничних значеннях хімічних елементів й ін.), до початку виробництва цех повинен направити в ЦЗЛ зразки для визначення хімічного складу сталі. Від заготовки в кожній плавці відрізається по 1 зразку довжиною 50... 100 мм із клеймом номера плавки на торці.

Трубну заготовку, розкату на стелажах робітниками першого переділу, контролер ВТК перевіряє на якість поверхні та точність на відповідність її вимогам ДСТУ 3-009-2000 або іншим технічним умовам і стандартам, за якими поставляється заготовка.

На придатних штангах трубної заготовки контролер ВТК посаду заготовок у кільцеву піч крейдою вказує номер плавки, марку сталі й діаметр заготовки.

На забракованих заготовках контролер ВТК крейдою відзначає «БРАК», після чого вони складуються в кишені ізолятора браку. Залишки від розкрою заготовки так само повинні складуватися в кишенях.

Прийняті придатні заготовки реєструються бригадиром в «Відомості супроводу труб» та контролером ВТК в «Відомості реєстрації заготовки» й у рапорті посаду.

Перед розкроюванням на гідравлічному пресі ламання штанги розмічають на довжину відповідно до завдання, затвердженого начальником ПРБ, і надрізають автогеном вручну на глибину 15...20 мм і довжиною не менше 1/2 діаметра (візуально).

При підготовці до поломки трубної заготовки м'яких марок сталей (10, 20, St37, St52 та ін.) діаметром 110...150 мм надріз виконується глибиною 30...40 мм із охолодженням розігрітої зони надрізу водою, при розкрої порожньої заготовки - на всю товщину стінки. При неможливості поломки заготовки зазначеним способом, розкрій заготовки виконується іншими методами.

Тріщини на кінцях заготовки не допускаються. Косина торця не повинна перевищувати 5 мм для заготовок діаметром до 120 мм й 7 мм - діаметром 120 мм і більше.

Довжина заготовки, призначеної для прокатки мірних та кратних труб, не повинна відхилятися від номінальної більш, ніж на +15 мм. Довжина заготовок в одному пакеті, розсортованих для прокатки труб нормальної довжини, не повинна відхилятися від нормальної більш, ніж на  $\pm 25$  мм.

Таблиця 1.1

### Граничні відхилення за діаметром

Діаметр	допуск
100...110 мм	+ 0,6 мм, - 1,7 мм
115 мм	+ 1,0 мм, - 1,7 мм
120...150 мм	+ 1,2 мм, - 2,0 мм
160...190 мм	+ 1,5 мм, - 2,5 мм
200...220 мм	$\pm 25$ мм
230 мм	$\pm 1,5$ %

Відбраковані заготовки формуються в пакети, забезпечуються биркою із вказівкою заводу-постачальника, марки сталі, номеру плавки, діаметру, маси, виду дефекту, дати, зміни.

Після посадки заготовок у піч «Відомість супроводу» передається майстрові прокату, ним заповнюється, а після прокатки замовлення передається контролерові ВТК на охолоджувальних столах.

Для підвищення точності настроювання станів по АСУТП та на початку прокатки кожного нового розміру труб повинні бути підготовлені не менше 5...7 заготовок, на яких виконується вимір довжини та діаметру бригадиром 1-го переділу.

### 1.2.3. Нагрівання заготовок у кільцевих печах

Нагрівання заготовок перед прошиванням здійснюється в одній або двох однотипних кільцевих печах, опалюваних природним газом.

Робочий простір печі розділений на п'ять опалюваних й одну не опалювану зони. При продуктивності стану до 50 тонн на годину нагрівання заготовки виконується в одній печі, а при необхідності більшої продуктивності - у двох печах.

Таблиця 1.2

#### Технічна характеристика печі. Основні розміри

Зовнішній діаметр	21200 мм (21,2 м)
Внутрішній діаметр	9500 мм (9,5 м)
Середній діаметр	15360 мм (15,3 м)
Ширина поду	4500 мм (4,5 м)
Робоча довжина подини по середньому діаметру печі	44500 мм (44,5 м)
Висота робочого простору печі в опалюваних зонах	1540 мм (1,5 м)
Висота методичної (не опалюваної) зони печі	630 мм (0,6 м)
Корисна площа поду	205 м <sup>2</sup>

Таблиця 1.3

#### Розбивка печі по зонах у градусах та відсотках

I зона	48°	14%
I зона	30°	9%
III зона	50°	15%
V зона	54°	16%
VI зона	100°	31%

Продуктивність печі згідно з проектом - 25...55 т/годину.

Завантаження заготовок у піч виконується поплавочно й рівномірно по всій робочій довжині печі в один або два ряди відповідно до довжини заготовок у кількості, необхідній для даного темпу. Максимальна довжина заготовок при однорядному посаді - 3700 мм. У два ряди завантажувати піч дозволяється заготовками довжиною не більше 1700 мм.

При паралельній роботі двох кільцевих печей дозволяється здійснювати по черзі посад і видачу в кожну піч. Для заготовок: діаметром від 105 до 125 мм - не більше 20 штук, діаметром від 130 до 160 мм - не більше 15 шт., діаметром від 170 до 230 мм - не більше 10 штук.

При високому стабільному темпі прокату, якщо є в цьому необхідність, кількість заготовок у печі може бути збільшена, але не більше ніж на 10%.

При завантаженні заготовок із підшипникових сталей після вуглецевих чи легованих сталей, у печі робиться розрив порядку 60°, що відповідає 11 метрам по зовнішньому діаметру подини, і в міру звільнення печі від вуглецевих та легованих заготовок поступово знижується температура печі по зонах.

При переході на нагрівання заготовок з вуглецевих або легованих сталей після заготовок із підшипникових сталей робиться аналогічний розрив і поступово підвищується температура печі по зонах.

При посаді електрошлакового металу ШХ15Ш, а також зі сталі ШХ15СГ, після заготовок зі звичайної підшипникової сталі в печі робиться розрив 1,5...2 м. При переході посаду після електрошлакового металу, а також металу зі сталі ШХ15СГ, також робиться розрив посаду на 1,5...2 м. Посад недокату забороняється.

Перед посадом заготовок зі сталі 12Х1МФ та 15Х1М1Ф для котельних труб і заготовок із інших легованих сталей у печі робиться розрив, необхідний для витримки заданої тривалості нагрівання. При цьому перед зазначеними заготівками для настроювання стана в піч повинні бути посаджені не менш 3-х заготовок із вуглецевих марок сталі того ж діаметру.

При переході з підшипникових марок сталі на вуглецеві або навпаки, коли не потрібно часу для настроювання стана на новий розмір, щоб уникнути простоїв через печі, необхідно:

а) після закінчення посаду заготовок даної марки видачу здійснювати з однієї печі доти, поки остання заготівка не досягне половини VI зони. Посад у цей час не виконується;

б) після цього перейти на почергову видачу заготовок із кожної печі;

в) посад заготівель нової марки виконується після того, як розрив в VI зоні кожної печі не досягне половини цієї зони.

У випадках, коли марка сталі залишається тією ж, а змінюється лише розмір заготовки, величина розриву повинна вибиратися з розрахунку часу, необхідного для настроювання стану на новий розмір.

При роботі однією кільцевою піччю й паралельній роботі двох кільцевих печей нагрівання заготівель виконується за графіком теплового режиму відповідно до марки сталі й діаметру заготовок, що задають у піч.

При завданні в піч гільз, що не пройшли з якоїсь причини розкочування в труби, температура печі по зонах підтримується в межах графіку, при цьому нагрівання виконується з максимально можливою швидкістю.

Всі виявлені дефекти нагрівальник повинен відзначати в книзі рапортів і з першою нагодою усувати їх.

#### 1.2.4. Зацентрування заготовки

Після видачі з печі заготовку передають до пневматичного пристрою - «зацентровника» - для зацентрування в гарячому стані. Конструкція зацентровника передбачає збіг вісі заготовки з віссю бойка, що перевіряється та регулюється при ремонтах устаткування.

Тиск у ресивері регулюється залежно від марки сталі та діаметра заготовки і має знаходитися в межах 15...20 атм. (1,5.. 2,0 МПа), при цьому глибина лунки має бути в межах 20...25 мм.

Після зацентрування заготовка передається до прошивного стану.

Передача не зацентрованої або неправильно зацентрованої заготівлі на прошивний стан не дозволяється.

#### 1.2.5. Прошивання заготовок

Тип кліті - двовалкова зі станиною відкритого типу, механізацією підйому кришки та барабанною системою зміни кутів подачі.

### Основні технологічні та конструкційні дані кліті

Діаметр заготовки, що прошивається	100... 250 мм
Тип валків	чашоподібні
Діаметр валків у пережимі	1100... 1035мм
Довжина бочки валків	600мм
Кут нахилу вісей валків у горизонтальній площині (кут розкочування)	7°
Кут перекоосу валків у вертикальній площині (кут подачі)	0...13°
Швидкість обертання барабанів	0,44 град/сек.
Зусилля на валок радіальне, не більше	170 тс
Зусилля на валок осьове, не більше	40 тс
Хід натискних гвинтів барабанів, не більше	250мм
Швидкість переміщення барабанів	0,93 й 1,86мм/сек
Зусилля пружин механізму зрівноважування барабанів	9...20 тс
Робочий хід пакета пружин	125мм
Хід натискних гвинтів верхньої лінійки, не більше	130мм
Швидкість перемішування лінійки	2,4 мм/сек
Зусилля гідроциліндра при підніманні кришки	35 тс
Зусилля гідроциліндра при закриванні	25 тс
Хід поршня гідроциліндра	1600мм
Зусилля пневмоциліндра при замиканні кришки	4,37...4,66 тс
Ексцентриситет механізму запирання	10мм
Потужність електродвигуна	3860 кВт

Прошивання заготовки здійснюється в чашоподібних валках з постійним кутом розкочування 7°. Кут вхідного конуса стосовно осі прошивання становить 3°30', стосовно осі валка - 3°30'.

Кут подачі валків обирається залежно від сортаменту труб, що прокочують, відповідно до таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

#### Кути подачі валків

Діаметр гільз, що прокочуються, мм	до 90 мм	90...130 мм	130...160 мм	> 160 мм
Кути подачі	11°	10°	9...10°	8...9°

Оберти валків головного двигуна регулюються залежно від розміру прокочуваних гільз, і обираються залежно від сортаменту прокатних труб відповідно до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

### Рекомендована кількість обертів валків прошивного стану

Діаметр труб, що прокочують, мм	70...130 мм	130...160 мм	> 160 мм
Число обертів валків, об/хв.	100...105	90...95	80...90
(про/сек.)	(1,67...1,75)	(1,5...1,58)	(1,33...1,5)

У випадку якщо заготовка затрималась в ринві або у вступній проводці більше 20 сек., закладати її до валків прошивного стану заборонено.

Закладання заготовки до валків має здійснюватися у максимально короткий термін. Подача заготовки в стан має здійснюватися плавним рухом штовхача, без ударів по валках. У випадку відсутності захвату, повторне «забивання» заготовки у валки забороняється. Перевірка правильності налаштування стану має бути проведена на перших трьох гільзах.

При прошиванні застосовують незмінювані оправлення, що постійно охолоджуються водою під тиском. Зовнішнє охолодження оправлення здійснюють під час пауз між закінченням прошивання однієї заготовки та закладанням наступної.

Оправлення, що мають на поверхні парову ерозію, бугри, виїмки, різкі переходи між ділянками, раковини, невідповідність профілю, а також ексцентричність посадкового отвору, до роботи не беруться. Оправлення вважається таким, що вийшло з ладу у випадку;

- розтріскування або заварювання носика чи передньої частини оправлення;
- значного зношування робочої частини у вигляді виривів металу з тіла оправлення;
- перекручування профілю оправлення у зв'язку з механічними ушкодженнями;
- налипання металу на робочу частину оправлення,

Зміну оправлення здійснюють лише після припинення подачі води у стрижень і відведення його в заднє положення.

Стан робочої поверхні оправлень необхідно систематично перевіряти та не рідше, ніж через кожна 50 проходів здійснювати її огляд. Припинення виходу пари з гільз є ознакою заварювання отворів у носіку оправлення внаслідок їх деформації. Зовнішня та внутрішня поверхні гільз після прошивного стану мають бути чистими, без наочних дефектів.

Підбір та встановлення змінного устаткування здійснюється відповідно до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7

### Технологічна карта установки змінного устаткування

Діаметр заготовки мм	Вступна проводка (внутр. діаметр), мм	Лінійка	Нижній лінійкотримач	Верхній лінійкотримач	Вивідна ринва (внутр. діаметр), мм
100	120	100...82	200	80	135
105	120	100...82	200	80	135
110	140	110...88	200	80	150
120	140	120... 100	200	80	150
130	160	130... 110	175	120	165
140	160	140... 120	175	120	180
150	180	150... 130	175	120	190
160	180	160... 138	175	120	190
170	200	170... 148	175	120	200
180	200	180... 162	175	120	220
190	220	190... 168	150	180	230
200	220	200... 180	150	180	230
210	240	210... 190	150	180	250
220	240	230.....210	150	180	260
230	260		150	180	260
240	280		150	180	260

Схема налаштування прошивного стану із зазначенням ключових елементів конструкції наведена на рисунку 1.3.

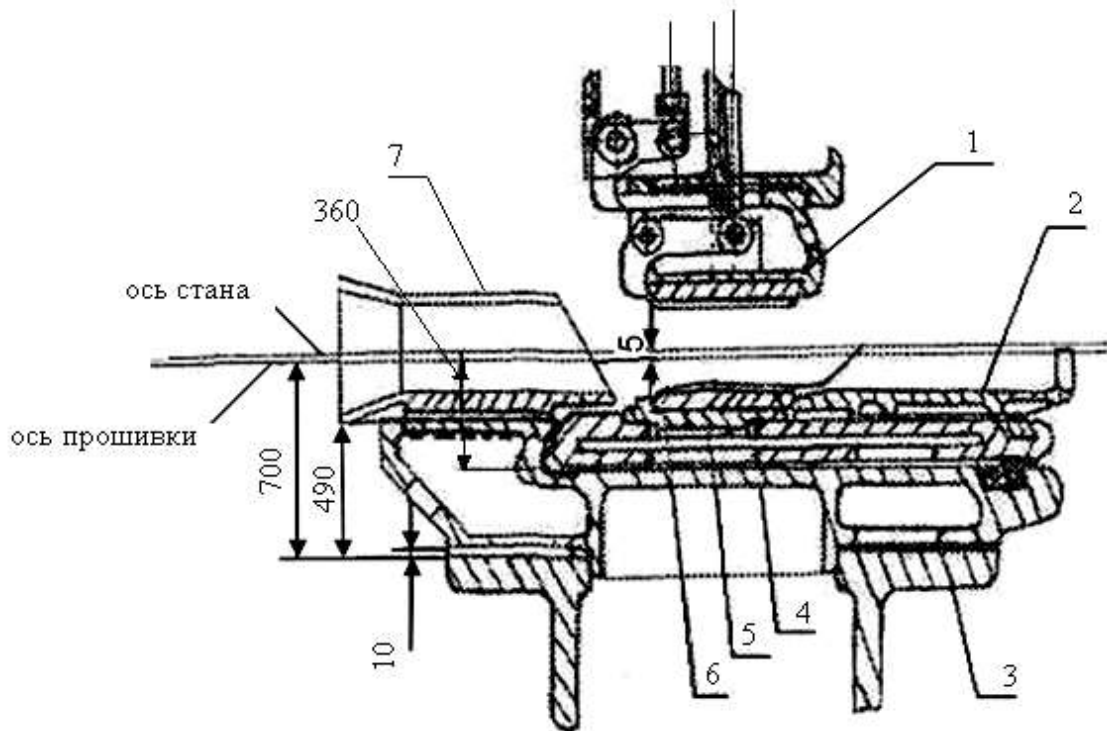


Рисунок 1.3 - Схема настроювання прошивного стану.

1 - верхній лінійкотримач; 2 - вивідна ринва; 3 - стілець робочої кліті стану; 4 - нижній лінійкотримач; 5 - прокладка під нижню лінійку; 6 - нижня лінійка; 7 - вступна провідка.

#### 1.2.6. Прокатка гільз у розкатному стані.

Таблиця 1.8

#### Основні технологічні та конструкційні дані кліті

розміри труб, що прокочують	діаметр 78...203 мм
товщина стінки 7...50 мм	товщина стінки 7...50 мм
розміри робочих валків	діаметр 430, 450, 480 мм
довжина 375, 450 мм	довжина 375, 450 мм
максимальний радіальний робочий тиск на валок	150 тс
максимальний осьовий тиск на валок	20 тс
максимальний обертальний момент	8 т*м
максимальна швидкість обертання валків	300 об/хв
діапазон регульованого переміщення валків	0...2,0 мм
налаштувальна швидкість переміщення валків	3,76 мм/сек.
кут розкочування (регульований)	$4^{\circ} \pm 1^{\circ}$
кут подачі	0...12°
зусилля розвороту на кут подачі	45 тс
діаметр валкового барабана	1000 мм
вага робочої кліті	60 т
потужність електродвигуна	2100 кВт
передатне відношення редуктора	3,4

Тривалкова кліть розкатного стану складається зі станини та кришки, що скріплені між собою стяжками з клинами. Тип кліті - тривалкова зі станиною відкритого типу та барабанною системою зміни кутів подачі.

При прокатуванні тонкостінних підшипникових труб з  $D/S = 10...12$  передільних труб з відношенням  $D/S$  до 14, труб з товщиною стінки 6...7 мм - використовується регулятор калібру. Основний режим роботи регулятора пов'язаний з розведенням правого або лівого (а також одночасно двох) валків на величину 0,1...2,0 мм при прокатці задніх кінців труб.

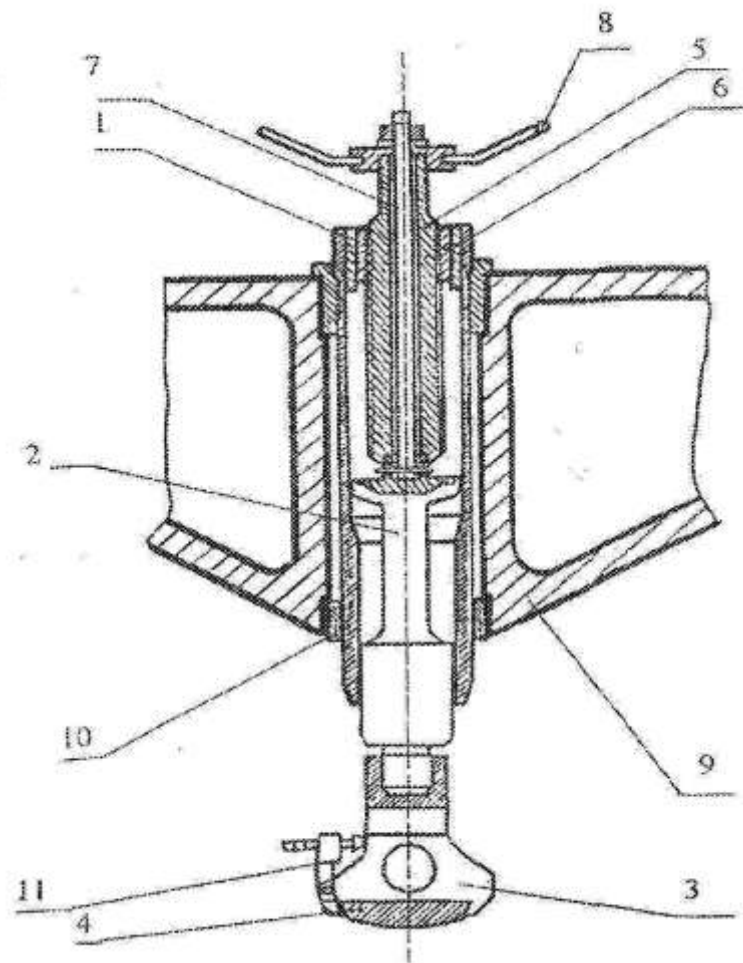


Рисунок 1.4 - Верхній натискний пристрій

1 - корпус; 2 - повзун; 3 - лінійкотримач; 4 - лінійка; 5 - натискний гвинт; 6 - гайка; 7 - тяга; 8 - штурвал; 9 - кришка кліті; 10 - втулка; 11 - затискач лінійки.

Перед початком прокатки труб майстер стану здійснює контроль за правильністю його налаштування шляхом ретельного контролю геометрії та якості зовнішньої і внутрішньої поверхонь труб на пробах.

Гільзу з уведеним в неї оправленням необхідно подавати в стан без затримки. У випадку тривалої (більше 15 сек.) затримки закладати гільзу в стан забороняється.

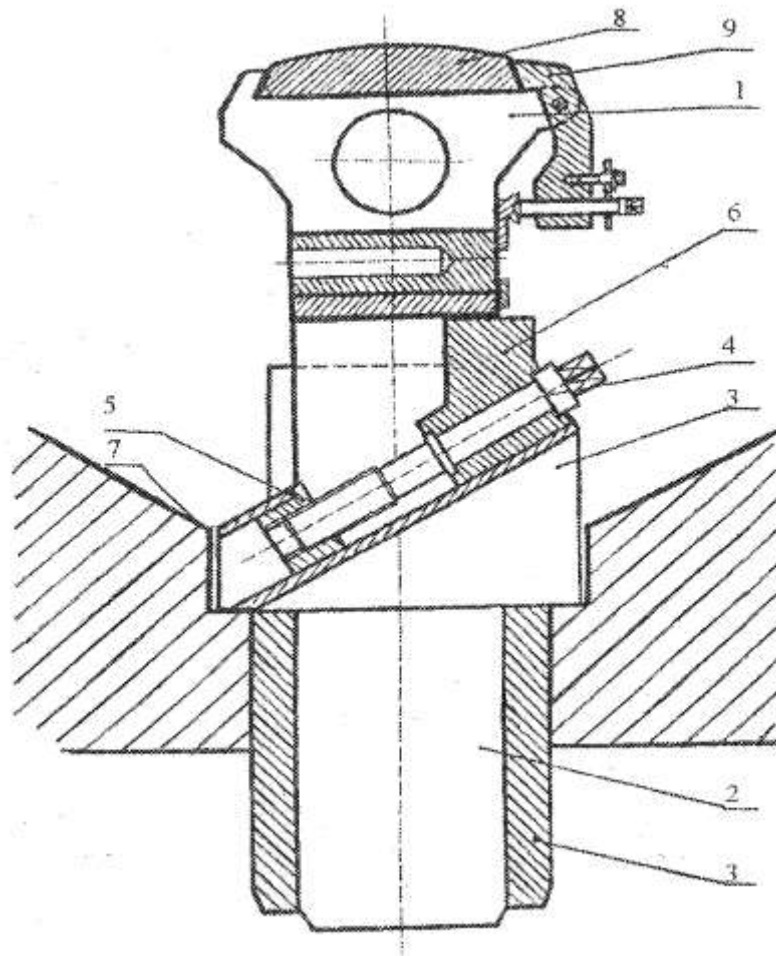


Рисунок 1.5 - Нижній натискний пристрій

1 - лінійкотримач; 2 - стійка; 3 - корпус; 4 - регулювальний гвинт; 5 - нерухома гайка; 6 - клин; 7 - посадкове місце станини; 8 - лінійка; 9 -затискач лінійки.

Подача гільз із оправленням у валки стану здійснюється за допомогою візка-товкача.

Після встановлення правильності налаштування стану по першим 2...3 трубам дозволяється розпочинати масову прокатку.

Майстер прокату особисто повинен контролювати фактичну товщину стійки та діаметр труб. У випадку невідповідності фактичних та розрахункових величин, майстер прокату вносить корективи в роботі АСУТП.

Подача гільзи з оправленням у валки розкатного стану має відбуватися плавно, без ударів. На робочій поверхні валків та оправлень не повинно бути наварювань металу, місцевого знефарблення та інших дефектів. Передній кінець оправлення не повинен бути розбитим або зім'ятим. Внутрішня поверхня провадок, вкладишів та роликів має бути чистою, без гострих крайок та наварювань металу.

Зовнішня поверхня труб після розкочування не повинна мати механічних ушкоджень від прокатного інструмента. Після розкочування гільзи, трубу з оправленням без затримок передають на оправковидобувач.

Таблиця 1.9

### Технічна характеристика оправковидобувача

Маса оправлення, макс	2200 кг
Діаметр труб	70... 203 мм
Товщина стінки труб	7...50 мм
Довжина труб	4...9 м
Найбільша маса труб	1300 кг
Максимальне зусилля	28000 кгс
Зусилля добування при усталеному русі	10000 кгс
Швидкість добування	1...2,5 м/сек
Передзахватна швидкість	1...1,2 м/сек.
Продуктивність	240 шт/година.
Потужність електродвигуна	180 кВт

Забороняється повторно здійснювати добування оправлень з остиглих або недорозкатаних труб. Труби з загорненими оправленнями скидають до кишені, роблячи при цьому маркування крейдою із зазначенням розміру труби, марки сталі та зміни прокату.

Останню трубу вальцювальник калібрувального стану позначає крейдою для розділення плавки або замовлення на охолоджувальному столі.

Після оправок видобувача всі труби невідкладно направляють у піч проміжного нагрівання з крокуючими балками, або на калібрувальний стан.

Налаштування калібру валків на заданий розмір труб може здійснюватись за допомогою АСУТП на ручному індивідуальному (для кожного валка) режимі, на ручному спільному (для всіх трьох валків) режимі, на автоматичному режимі.

Налаштування калібру розкатного стану шляхом переміщення правого або лівого валків (а також одночасно двома) використовується при прокатці тонкостінних підшипникових труб з  $D/S \geq 10 \dots 12$ , передільних труб з відношенням  $D/S$  до 14.

Величина регулювання товщини стінки труб обирається залежно від типорозміру труб, що прокатуються, і встановлюється відповідно до таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

### Величини регулювання товщини стінки труб

Марка стали	Відношення $D/S$	Величина переміщення валка, мм	Стовщення стінки заднього кінця труби, мм	Спосіб регулювання
ШХ15	10	1,5	0,5	Розведення одного валка (правого або лівого)
ШХ15Ш	11	1,2	0,4	
ШХ15СГ	12	1	0,3	
ШХ15, вуглецеві та леговані	13...14	1,5...2,0	0,9...1,3	Одночасно двома валками
Труби з товщиною стінки 6...7 мм	10...12	1,8...2,0	1,0...1,3	Одночасно двома валками

При прокатці тонкостінних труб ( $D/S=15 \dots 30$ ) застосовують обмежувальні лінійки калібру стану. Лінійки кріпляться в лінійкотримачах і розміщуються в мівалкових зазорах калібру стану за допомогою спеціальних натискних пристроїв. Налаштування стану на заданий розмір труб здійснюються в наступний спосіб:

а) перед початком прокату підбираються необхідні за шириною лінійки для даного розміру труб (ширина лінійки дорівнює  $D_t/2$ ).

Приклад: для труб діаметром 159 мм ширина лінійки - 80 мм, для труб 168 мм - 84 мм.

б) валки розводяться на максимальну величину, і до натискних пристроїв лінійок кріпляться лінійкотримачі з лінійками.

в) в утворений валками й лінійками калібр вальцювальник встановлює спеціальний шаблон, до якого поступово спочатку підводить лінійки, потім валки.

г) після настроювання калібру в прокат задається перша тестова труба. Вальцювальник за допомогою кронциркуля перевіряє її діаметр. Якщо діаметр відповідає заданому, від труби на пилці відбирають пробу. У разі невідповідності діаметра заданому, вальцювальник за допомогою натискних пристроїв коректує положення лінійок.

д) в прокат задають другу трубу, перевіряють зовнішній діаметр і у разі, якщо він відповідає заданому, на пилці відбирають пробу від труби з переднього та заднього кінців. По замоченій у воді пробі перевіряють геометричні розміри (діаметр і товщина стінки).

е) в прокат задають третю трубу, від неї відбирають проби. Якщо геометричні розміри труби не відповідають заданим - операції настроювання повторюють знову і т.д. Якщо геометричні розміри труби відповідають заданим – переходять до масового прокату труб.

Після настроювання валків стана, допоміжного устаткування та установки інструмента необхідно перевірити міцність кріплення робочої кліті, проводок кришок, ринв та вкладишів і лише після цього здійснювати запуск стану.

### 1.2.7. Нагрівання труб у печі із крокуючими балками

Піч із крокуючими балками призначена для підігріву й вирівнювання температури прокачених труб перед завданням їх у калібрований стан. Піч є одноступенною методичною безперервної дії. По ширині піч розділена на дві зони

регулювання температури. Посад і видача труб виконуються пічними рольгангами.

Кантування труб від рольганга посаду до рольганга видачі по довжині печі виконується за допомогою рухливих крокуючих балок автоматично й дистанційно.

Опалення печі виконується природним газом за допомогою комбінованих пальників низького тиску в кількості 14 шт.

При роботі печі тепловий режим ведеться строго за графіком теплового режиму відповідно до марки сталі й розмірів труб, що задаються.

Посад труб у піч, що надійшли з розкатного стану, здійснюється в гарячому стані. Темп посаду залежить від темпу роботи прокату, якщо це узгоджується із графіком нагрівання.

Посад труб у піч здійснює оператор пульта керування добувача опра-вленень, що зобов'язаний стежити, щоб у піч не попадали криві труби й труби з опра-вленнями.

Максимальна продуктивність печі при тривалості циклу крокування рухливих балок 13,6 сек. і максимальній затримці труб перед піччю протягом 2 сек. становить 230 шт/годину.

У випадку порушення ритмічності роботи допускається перехід на дистанційне керування механізмом крокування рухливих балок.

При простоях калібрувального стану до 20 хв. температуру печі тримати на нижній межі. При простоях більше 20 хв. видати труби (особливо стосується марки сталі ШХ15) з печі й без деформації на каліброваному стані (з розведеними валками) передати на холодильник. Контролер ВТК на холодильнику крейдою наносить три поперечні смуги на передніх кінцях труб. Подальше використання цих труб визначається старшими майстрами прокату й ВТК.

При завантаженні в піч труб зі стінкою 26 мм і більше між циклами крокування за допомогою реле часу встановити витримку.

Таблиця 1.11

## Темп прокату

Товщина стінки труб	Витримка	Темп прокату
26...28 мм	9 сек.	130 шт/година.
28...30 мм	14 сек.	106 шт/година.
30...32 мм	20 сек.	92 шт/година.
більше 32 мм	25 сек.	62 шт/година.

При виході труб з печі здійснюється постійний контроль температури. Температура труб, що виходять із печі, повинна бути на 70...100°C вище температури труб після калібрування.

Температура труб після калібрувального стану для підшипникових марок сталей повинна бути в межах 870...910°C.

При прокатці підшипникових труб оператор охолоджувальних столів включає максимальну швидкість, при цьому час охолодження труб під вентиляторами (від калібрувального стану до контрольного пірометра) повинен бути в межах 3...4 хв (180...240 с).

Швидкість охолодження труб - не нижче 50°C/хв.

При збільшенні температури після вентиляторів вище  $630 \pm 10^\circ\text{C}$ , нагрівальник ПКБ повинен вжити заходів по дотриманню темпу видачі труб, з печі й охолодженню їхніми вентиляторами й водою після каліброваного.

Труби з товщиною стінки 12 мм і більше повинні додатково проохолоджуватися на розпилювальній установці, з товщиною стінки менш 12 мм - тільки під вентиляторами.

Всі виявлені несправності нагрівальник повинен відзначати в книзі рапортів і з першою нагодою усунути їх.

## 1.2.8. Калібрування труб.

З підігрівальної печі, а, при роботі без печі - після добування оправлення, труби без затримок передаються на тривалковий калібрувальний стан.

Тип кліті - тривалкова, зі станиною відкритого типу й барабанною системою зміни кутів подачі

Таблиця 1.12

### Технічна характеристика калібрувального стану

Діаметр труб, що прокатуються	76...203 мм
Діаметр робочих валків	335... 375 мм
Швидкість обертання валків про/хв. (про/сек.)	150.....300 (2,5..5)
Зміна кута подачі	0...14 град.
Кут розкочування	4 град.
Найбільший крутний момент, що допускається	2 т*м
Найбільший радіальний тиск на валок, що допускається	40 т
Швидкість переміщення робочого валка	1,65 мм/сек.
Діаметр барабана	700 мм
Потужність електродвигуна	480 кВт

Настроювання валків вважається правильним, якщо труби виходять прямими й зовнішнім діаметром знаходяться у припустимих межах, на поверхні труб відсутні затиски, гранування, ризики й порізи.

Масову прокатку труб варто починати тільки після переконання в привілі настроювання по пробах на перших 2...3 трубах.

Кути подачі, що рекомендують, залежно від сортаменту труб, що прокочують, і швидкість обертання валків зазначені в таблиці 1.13.

Таблиця 1.13

### Кути подачі й швидкість обертання валків

Діаметр труб	Кут подачі	Швидкість обертання валків	
		про/хв.	про/сек.
до 100 мм	8°30'...9С	240... 250	4...4...4,17
100..130мм	8°30'...9°	200... 230	3,33...3,8
130... 160 мм	9...9...930'	170... 190	2,83...3,17
160... 203 мм	9°30'...10	150.....170	2,5...2,83

Після настроювання й установки кліті на робоче місце (якщо перевалка виконувалася на стенді) і приєднання всіх комунікацій, кліть готова до роботи.

### 1.2.9. Охолодження труб

Всі труби після калібрувального стана направляють на охолоджувальний стіл. Труби зі сталі ШХ15 проохолоджують під вентиляторами, а з товщиною стінки 12 мм і більше додатково проохолоджують у розпилювальній установці.

Подача води в охолоджувальних пристроях для забезпечення мінімального жолоблення труб повинна бути рівномірною по окружності. Температура підшипникових труб після каліброваного стану 870°...910°С, після охолодження вентиляторами - не вище 630°С.

Швидкість охолоджувальних столів повинна бути максимальною для забезпечення часу охолодження труб у межах 3...4 хвилин і загальної швидкості охолодження не менш 50°С на хвилину.

Труби, що не вимагають термічної обробки, направляють для виправлення на правильний стан і далі на обрізку кінців.

На трубах зі сталі 30ХГС, 38ХНМА, 30ХГСНА, 35ХГСА, 45Х1 й інших, тобто легованих марок сталі, після проходження охолоджувальних столів, щоб уникнути утворення тріщин на трубах проводиться операція виправлення на правильному стані в теплому стані в потоці без затримки.

Труби, що піддаються термообробці, направляють у термовідділ, де вони надходять у печі або на проміжний склад.

Кожен пакет труб забезпечується дерев'яною биркою, на якій контролером ВТК указується дата й зміна прокату, марка сталі, розмір труб, номер плавки, постачальник (виготовлювач) заготовки, кількість штук у пакеті, номер замовлення (або вид передільної труби), стандарт або технічні умови.

На охолоджувальному столі кожну трубу зі сталі ШХ15Ш контролер ВТК маркірує крейдою (марка сталі, плавка), виписує бирку, строго звіряючи кількість штук з посадом.

Всі дані по трубах ШХ15Ш заносяться контролером ВТК охолоджувальних столів в «Відомість супроводу», що передається контролерові ВТК на термовідділі.

### 1.2.10. Контроль якості труб

У процесі виробництва труб майстер прокату та бригадир ВТК періодично роблять контроль геометричних розмірів й якості поверхні труб на відповідність вимогам стандартів і технічних умов або вимог замовлення, за якими ці труби виготовляються.

Контроль якості труб провадять по пробах, що відрізають від переднього й заднього кінця труб й охолоджених у воді.

При виготовленні труб розмірами 159x7...12 мм й 168x7...12 мм й ін. (з відношенням діаметра до товщини стінки  $D/S=15...30$ ) довжина проб, що відбирають, від переднього й заднього кінця труби наведена в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14

#### Довжини проб, що відбирають, на ВТК

Розмір труб, мм		Довжина проби		
Діаметр, Д	Товщина стінки, S	с переднього кінця, мм	с заднього кінця, мм	Усього, мм
159	7...8	250	400	650
	9...10	250	350	600
	11...12...12	200	300	500
168	7...8	250	400	650
	9...10	250	350	600
	11...12	200	300	500

Після охолодження у воді патрубку ретельно оглядають по зовнішній і внутрішній поверхні (при необхідності їх піддають травленню в травильному відділенні) і піддають вимірам.

Товщина стінки повинна вимірятися на контрольному патрубку не менш, ніж в 8 точках, рівновіддалених по периметру торця.

Зовнішній діаметр виміряється штангенциркулем не менше, ніж в 4 площинах поперечного перерізу труби.

За отриманими результатами вимірювання визначається максимальне й мінімальне значення фактичної товщини стінки ( $S_{min}$ ,  $S_{max}$ ) і зовнішнього ді-

аметра ( $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$ ), а також для підшипникових труб за цим даними розраховується середнє значення товщини стінки ( $S_{\text{серед.}}$ ) і зовнішнього діаметра ( $D_{\text{серед.}}$ ), де

$$S_{\text{серед.}} = (S_{\max} + S_{\min}) / 2;$$

$$D_{\text{серед.}} = (D_{\max} + D_{\min}) / 2$$

При контролі підшипникових труб відхилення від номіналу по зовнішньому діаметру не повинні перевищувати +0,5 мм, а різниця товщини стінки повинна бути в межах допуску на чистову трубу. Величина внутрішнього діаметра повинна бути в межах, обмежених прохідним і непрохідним штихмасом.

Фактичні геометричні розміри і якість поверхні труб повинні відповідати стандартам, технічним умовам та нормативним документам, за якими ці труби виготовляються.

Дозволяється приступати до масового прокату труб тільки після одержання проб, що задовольняють вимогам стандарту або ТУ, по яких ці труби виготовляються.

При виявленні видимих неозброєним оком дефектів на трубах майстер зміни зупиняє прокат, відбирає додаткові проби для встановлення характеру дефектів, причини їхнього утворення й вживає заходів до їхнього усунення.

Результати обмірювання всіх проб старшим вальцювальником розкатного стану заносяться в «Журнал відбору проб».

Характерні види дефектів труб, причини їхнього утворення й рекомендовані міри щодо усунення дефектів наведені в таблиці в додатку Д.

### 1.3 Теоретичні відомості про побудову СППР

#### 1.3.1. Сучасні системи підтримки прийняття рішень (СППР)

У даній роботі пропонується використати систему підтримки прийняття рішень (СППР) для оцінки функціонального стану особи, що приймає рішення (ОПР) при дослідженні складних, динамічних людино-машинних систем.

В області людино-машинних систем розроблене достатнє число методів і засобів контролю функціонального стану ОНР. Подібні системи базуються на використанні методів і засобів контролю, прогнозу й корекції стану ОНР. У цей час важко говорити про ефективність даних методів по наступних причинах:

- незважаючи на достатню кількість методик контролю функціонального стану, як правило, вони призначені для застосування не в реальному масштабі часу;
- ці методики не враховують системного характеру функціонального стану, що значно знижує їхню ефективність при практичному застосуванні.

Недоліки існуючих методів контролю не дозволяють розробити досить ефективні методи й засоби прогнозу й корекції емоційного стану ОНР. Як наслідок у теорії й практиці людино-машинних систем відсутні адекватні засоби керування функціональним станом ОНР. Існуючі підходи до контролю окремих аспектів (психофізіологічний, поведінковий, ергономічний, професійний і т.д.) не враховують системного характеру функціонального стану людини-оператора в умовах внутрішніх і зовнішніх факторів, що динамічно змінюються і базуються на аналізі параметрів однієї зі сфер емоційної діяльності.

У цьому зв'язку проектування СПНР при оцінці функціонального стану ОНР із позиції синергетичної концепції керування складними системами є актуальною. Дана концепція дозволяє врахувати індивідуальні особливості функціонування людини-оператора, виявлені в ході проведення експериментів, встановити причинно-наслідкові стосунки між інформативними показниками діяльності, поведінки, психофізіології й дати оцінку функціонального стану як системної організації, що динамічно змінюється залежно від характеру розв'язуваної задачі й зовнішнього середовища [9].

### 1.3.2. Принципи проектування СППР.

У рамках інформаційного підходу СППР відносять до класу автоматизованих інформаційних систем, основне призначення яких - поліпшити діяльність людини шляхом застосування інформаційних технологій.

Особливості інформаційного підходу відбиває концептуальна СППР представлена на рисунку 1.6. Основними компонентами цієї моделі є: інтерфейс «користувач - система», база даних і база моделей.

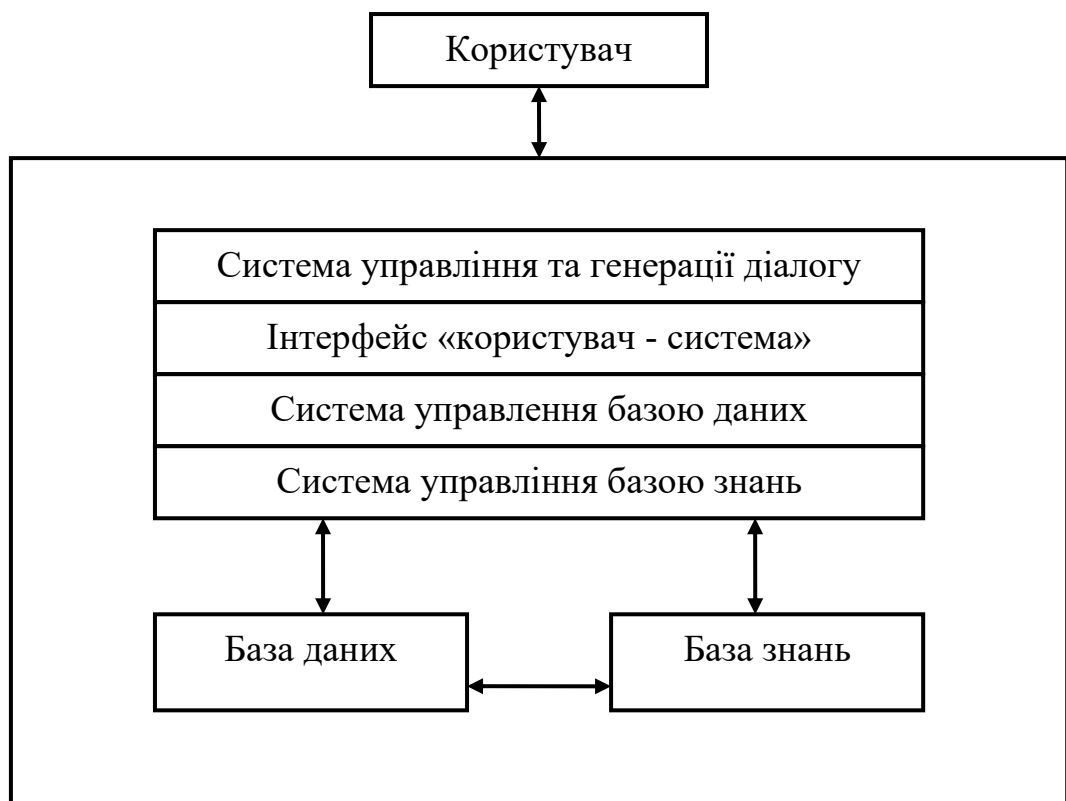


Рисунок 1.6 - Концептуальна модель СППР (інформаційний підхід)

Інтерфейс «користувач-система» забезпечує зв'язок користувача з кожною з баз і містить у собі програмні засоби для керування базою даних, керування базою моделей, керування й генерації діалогу. Інтерфейс «користувач-система» повинен мати характеристики, що дозволяють:

- керувати різноманітними стилями ведення діалогу;
- змінювати стиль діалогу на вибір користувача;
- надавати дані в різних формах і видах;

- забезпечувати гнучку підтримку користувача.

Роль системи підтримки прийняття рішень не в тому, щоб замінити людину, а в тому, щоб підвищити її ефективність. Ціль СППР полягає не в автоматизації процесу ухвалення рішення, а в здійсненні кооперації, взаємодії між системою й людиною в процесі прийняття рішень.

У цьому контексті реальні межі в підтримці рішення визначаються не стільки можливостями інформатики, скільки розумінням процесу прийняття рішень.

СППР повинна підтримувати інтуїцію, уміти розпізнавати двозначність і неповноту інформації, і мати засоби для їх подолання. Вони повинні бути дружніми для осіб, що приймають рішення, допомагаючи їм у концептуальному визначенні задач, пропонуючи звичні представлення результатів.

Необхідно відзначити, що СППР - це комп'ютеризовані помічники, що підтримують людини в перетворенні інформації в ефективні для керованої системи дії. Ці системи повинні мати такі якості, які роблять їх не тільки корисними, але й незамінними для осіб, що приймають рішення. Як і будь-які інформаційні системи, вони повинні забезпечувати специфічні потреби процесу прийняття рішень в інформації. Крім того, вона повинна адаптуватися до його стилю роботи, відбивати його стиль мислення. СППР повинна асистувати у всіх або більшості важливих аспектів діяльності осіб, що приймають рішення, які виконують безліч функцій.

Системи підтримки прийняття рішень повинні мати можливість адаптуватися до зміни обчислювальних моделей, спілкуватися з користувачем на специфічному для керованої області мові, представляти результати в такій формі, що сприяла б більш глибокому розумінню результатів.

Так само необхідно відзначити, що системи підтримки прийняття рішень повинні мати специфічні риси:

- можливість генерації варіантів рішень у спеціальних, несподіваних ситуаціях для осіб, що приймають рішення;

- можливість моделей, застосовуваних у системах, адаптуватися до конкретної, специфічної реальності в результаті діалогу з користувачем;
- можливість системи інтерактивного генерування моделей (поки досить простих).

Для визначення ефективності використання індивідуальної норми необхідне порівняння її із середньою професійною психофізіологічною нормою. Однак відсутні систематизовані дослідження постійного контингенту операторів протягом часу, достатнього для одержання індивідуалізованої бази психофізіологічних параметрів і для розрахунку з її значень індивідуальної норми. Слід також зазначити, що кількісне визначення відмінності середньої й індивідуальної норми психофізіологічних параметрів людини-оператора різних відповідальних професій дотепер не проведено. Зокрема, це пояснюється тим, що в цей час практично відсутні накопичені автоматизованими психофізіологічними комплексами індивідуалізовані бази даних [8].

### 1.3.3 Процес прийняття рішень із використанням СППР.

Процес ухвалення рішення розвивається по спіралі. Першою стадією є попереднє ухвалення рішення, що аналогічно процесу планування. Наступною стадією є превентивне вирішення проблем - це процес передбачення ситуацій збою. І останньою стадією є процес вирішення проблеми, що і дозволяє прийняти остаточне рішення.

Проблема - це розходження між тим, що повинне відбуватися, і тим, що відбувається насправді, тому вона повинна бути чітко сформульована.

Для вирішення проблеми може бути запропонований наступний підхід, основними етапами якого є:

- 1) формулювання проблеми;
- 2) аналіз дійсного стану справ;
- 3) формулювання мети;
- 4) аналіз можливих причин небажаної ситуації;

- 5) вибір основної причини критичної ситуації;
- 6) визначення альтернативних рішень;
- 7) аналіз альтернативних рішень;
- 8) ухвалення рішення;
- 9) складання плану дій.

При виборі остаточного рішення із множини альтернативних необхідно звернути увагу на психологічні аспекти ухвалення рішення, постаратися витягти користь для досягнення особистих цілей, використовуючи систематичний підхід, наголошуючи на конкретність й ясність поставлених цілей.

У цей час для ухвалення рішення використовується науковий підхід, що полягає в побудові математичної моделі керованої системи й наступному її аналізі.

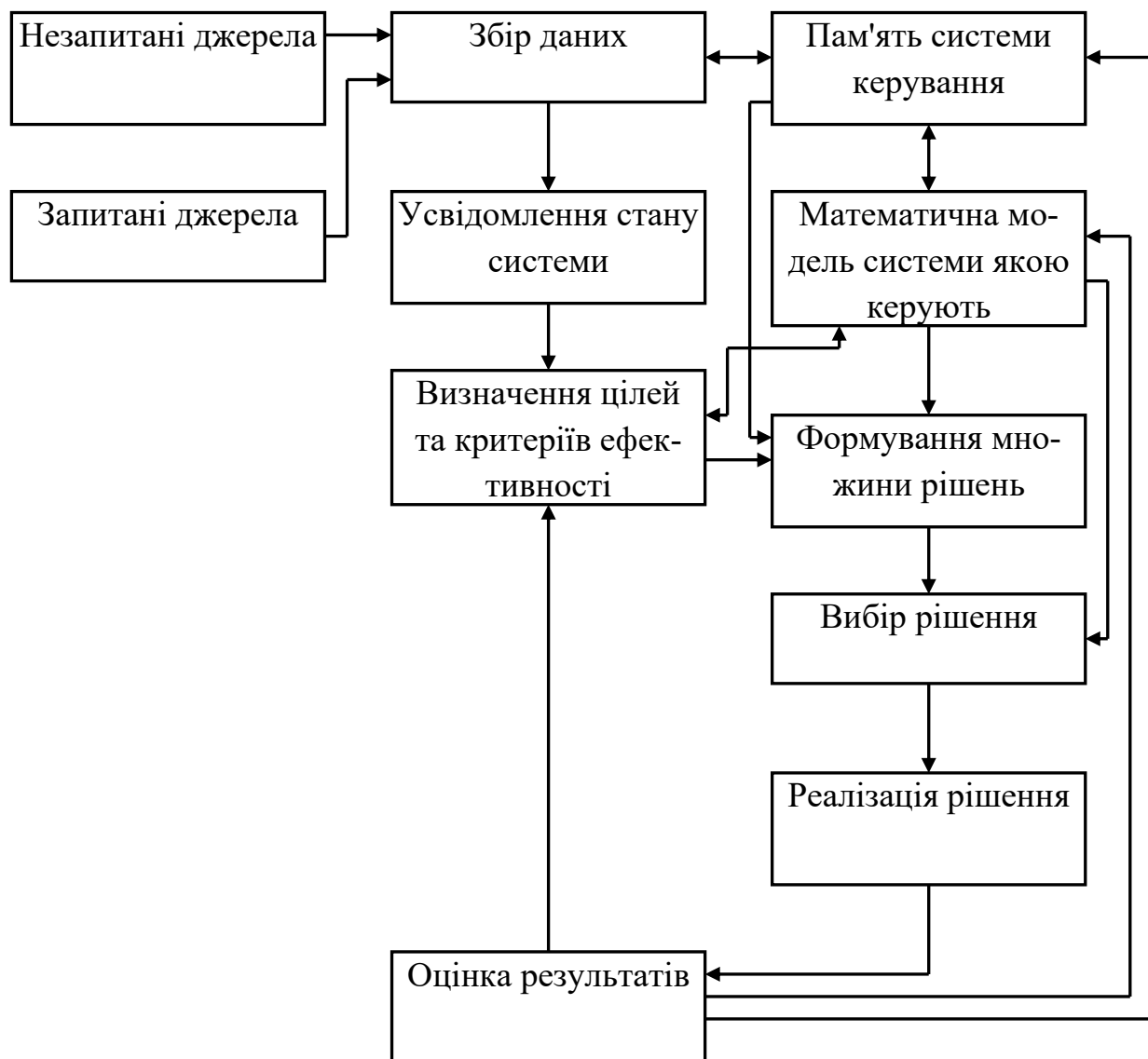


Рисунок 1.7 - Алгоритм ухвалення рішення

Сучасним науковим методом вивчення складних систем є системний аналіз, під яким розуміється всебічне, систематизоване, тобто побудоване на основі певного набору правил, вивчення складного об'єкта в цілому, разом з усією сукупністю його складних зовнішніх і внутрішніх зв'язків, проведене для з'ясування можливостей поліпшення функціонування цього об'єкта.

Більш детальний системний аналіз складається з етапів постановки задачі, структуризації системи, побудови й дослідження моделі. Не всі перераховані етапи мають формальний апарат. Отже проаналізувавши бачимо, що на сучасному рівні системний аналіз не є строгим науковим методом. Деякі етапи й за-

дачі виконуються на змістовному рівні, на основі логіки, здорового глузду, інженерного досвіду й інтуїції.

У підході аналізу систем і дослідження операцій можна виділити наступні п'ять логічних елементів:

- мета або сукупність цілей;
- альтернативні засоби, за допомогою яких можна досягти мети;
- ресурси, необхідні при використанні кожної системи;
- математична модель при підході дослідження операцій або логічна модель при підході аналізу систем;
- критерій вибору альтернативи, що переважає.

Найбільш відомими підходами при прийнятті рішень є наступні:

- Емпіричний підхід, відповідно до якого рішення можуть існувати незалежно від конкретних ситуацій. Рішення, які були гарними, можуть бути погані в теперішньому часі. Даний підхід дозволяє вивчати методи прийняття рішень окремими особистостями, накопичувати певний досвід.

- Підхід з погляду поведінки людини. При прийнятті того або іншого рішення повинні воедино з'єднатися існуючі й розроблювальні теорії, методи й методика наук про поведінку, заснованих на здоровому глузді розуміння людей. Цей підхід концентрується на людському аспекті керування - прийняття рішень. Особа, що приймає рішення, повинне сполучати якості вченого й керівника й підтримувати рівновагу між ними за допомогою здорового глузду.

- Підхід з погляду соціальної системи. При керуванні необхідно знати не тільки індивідуальні аспекти, але й розуміти динаміку роботи групи, розглядаючи останню з позиції системного підходу, розглядаючи відносини й взаємні залежності різних підзадач у загальній задачі.

Існують два типи систем: закриті, які не пристосовуються й не взаємодіють із навколишнім середовищем, і відкриті, які постійно взаємодіють із навколишнім середовищем. Системи дозволяють зберегти загальну картину, взаємодію, але в той же час такий підхід не є всеосяжним методом об'єднання різних

частин у єдине ціле. Об'єднуючими факторами є розум, розважливість, а також майстерність.

- Підхід з погляду ухвалення рішення. Він, в основному, орієнтується на системи й дозволяє науково описати, розрахувати кожен фактор, яким можна керувати. Однак, існують рішення, які не можуть бути визначені якісно і які не можна викласти в термінах економічної цінності, наприклад, естетичні рішення.

- Математичний підхід, що дозволяє дати великий ефект. Математика є інструментом для керування, для прийняття рішень.

- Операційний підхід прагне оцінити управлінську операцію й використати будь-яку інформацію або теоретичні знання, які дадуть найкращі результати.

Задачу керування можна розрахувати в трьох аспектах: виробництво, людські відносини, адміністрація.

Одним з універсальних засобів рішення будь-яких проблем у цей час є математичні моделі. У дослідженні операцій моделі описують поведження систем, що включають у багатьох випадках у себе колективи людей, які поведуться певним раціональним чином і можуть бути адекватно описані. Критерій порівняння альтернатив, що зветься також критерієм оптимізації або цільовою функцією, розглядається як єдиний й очевидний.

При прийнятті рішень необхідно вирішити ту або іншу проблему. Всі існуючі проблеми підрозділяються на три класи:

- 1) добре структуровані або кількісно сформульовані проблеми, у яких отримують чисельні оцінки;
- 2) неструктуровані або якісно виражені проблеми, у яких кількісні залежності між ознаками й характеристиками досконало невідомі;
- 3) слабо структуровані або змішані проблеми, що містять як кількісні, так й якісні елементи, причому останні мають тенденцію до домінування.

#### 1.4 Теоретичні відомості про методи прийняття рішень

#### 1.4.1 Метод на основі нечітких відношень

Нечітким відношенням  $R$  на множині  $X$  називається нечітка підмножина декартового добутку  $X \times X$ , що характеризується функцією належності  $\mu_R: X \times X \rightarrow [0,1]$ .

Значення  $\mu_R(x, y)$  цієї функції ми розуміємо як міру або ступінь, з якою виконується відношення  $R$  між елементами  $x$  та  $y$ . У випадку нечіткого відношення  $R$  існують пари, для яких це відношення чітко виконується, існують пари, для яких це відношення не виконується, і деяка проміжна область, парам з якої призначається та чи інша ступінь належності залежно від ситуації [3].

Основою даного методу є алгоритм прийняття рішення за даними відношеннями переваги. Нехай задана множина альтернатив  $X$  і кожна альтернатива характеризується декількома ознаками з номерами  $j = 1 \dots m$ . Інформація про попарне порівняння альтернатив подана у вигляді відношень переваги  $R_j$ . Таким чином, ми маємо  $m$  відношень переваги на множині  $X$ . Задача полягає в тому, щоб за даною інформацією зробити раціональний вибір альтернатив з множини  $(X, R_1, \dots, R_m)$ .

Матриці відношень переваг заповнюються експертом, фахівцем своєї галузі, і мають досить суб'єктивний характер. Елементами матриць є значення функції належності  $\mu_R(x, y)$ , що характеризують ступінь переваги альтернативи  $x$  над альтернативою  $y$ . Якщо  $\mu_R(x, y) > 0$ , то мається на увазі, що  $x$  краще за  $y$ ; якщо ж  $\mu_R(x, y) = 0$ , то або перша альтернатива гірша за другу, або вони незрівняні. Також експертом задаються коефіцієнти  $\lambda_j$  відносної ваги цих відношень, тобто коефіцієнти переваг певних критеріїв, їх відносна важливість перед іншими ( $0 \leq \lambda_j \leq 1, \sum_j \lambda_j = 1$ ). Метою задачі є упорядкування сукупності альтернатив  $X$  для можливості прийняття найбільш ефективного рішення.

Тоді алгоритм прийняття рішення на основі відношень переваги полягає у наступному:

1. Будується нечітке відношення  $Q_1$  (переріз вихідних відношень):

$$\mu_{Q_1}(x, y) = \min\{\mu_{R_1}(x, y), \dots, \mu_{R_m}(x, y)\} \quad (1.1)$$

2. Будується нечітке відношення  $Q_1$  та  $Q_2$ , його належність  $Q_1^S$ :

$$\mu_{Q_1^S}(x, y) = \max\{0; \mu_{Q_1}(x, y) - \mu_{Q_1}(y, x)\} \quad (1.2)$$

3. Визначається нечітка підмножина недомінованих альтернатив на множині:

$$(X, \mu_{Q_1}): \mu_{Q_1}^{н.д.}(x) = 1 - \max_{y \in X} \mu_{Q_1^S}(y, x) \quad (1.3)$$

4. Будується нечітке відношення  $Q_2$  (згортка відношень):

$$\mu_{Q_2}(x, y) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \mu_{R_j}(x, y) \quad (1.4)$$

5. Будується відношення строгої переваги  $Q_2^S$ :

$$\mu_{Q_2^S}(x, y) = \max\{0; \mu_{Q_2}(x, y) - \mu_{Q_2}(y, x)\} \quad (1.5)$$

6. Визначається нечітка підмножина недомінованих альтернатив на множині  $(X, \mu_{Q_2})$ :

$$\mu_{Q_2}^{н.д.}(x) = 1 - \max_{y \in X} \mu_{Q_2^S}(y, x) \quad (1.6)$$

7. Знаходиться переріз множин  $\mu_{Q_1}^{н.д.}$  та  $\mu_{Q_2}^{н.д.}$ :

$$\mu^{н.д.}(x) = \min\{\mu_{Q_1}^{н.д.}(x), \mu_{Q_2}^{н.д.}(x)\} \quad (1.7)$$

8. Раціональним вважається вибір альтернатив із множини:

$$x^*: \mu^{н.д.}(x^*) = \max_{x \in X} \mu^{н.д.}(x) \quad (1.8)$$

#### 1.4.2 Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій – методологічна основа для вирішення завдань вибору альтернатив за допомогою їх багатокритеріального рейтингування. Метод створений американським ученим Т. Сааті і на даний момент великим між-дисциплінарним розділом науки, що має чіткі математичні і психологічні обґрунтування і численні додатки. Основне застосування методу – підтримка

прийняття рішень за допомогою ієрархічної композиції задачі та визначення пріоритетів альтернативних рішень.

В рамках методу аналізу ієрархій немає загальних правил для формування структури моделі прийняття рішення. Це є віддзеркаленням реальної ситуації прийняття рішення, оскільки завжди для однієї і тієї ж проблеми є цілий спектр думок. Метод дозволяє врахувати цю обставину за допомогою побудови додаткової моделі для узгодження різних думок, за допомогою визначення їх пріоритетів. Таким чином, метод враховує «людський чинник» при підготовці прийняття рішення. Це одна з найважливіших переваг даного методу між іншими методами прийняття рішень.

В основі методу лежить поняття ієрархії – система, що складається з підсистем, які функціонують як ціле на одному рівні і є складовими системи більш високого рівня, стаючи підсистемами цієї системи. При аналізі реальної системи число елементів і їх взаємозв'язків настільки велике, що перевищує здатність експертів сприймати інформацію в повному обсязі. В цьому випадку реальність підрозділяється на складові частини за допомогою ієрархії. Ієрархія є певним типом системи, заснованим на припущенні, що елементи системи можуть групуватися в окрему множину. Елементи кожної групи знаходяться під впливом елементів деякої цілком визначеної групи і, у свою чергу, впливають на елементи іншої групи, але елементи в кожній групі незалежні.

Формування структури моделі прийняття рішення в методі аналізу ієрархій достатньо трудомісткий процес. Проте у результаті вдається отримати детальне уявлення про те, як саме взаємодіють чинники, що впливають на пріоритети альтернативних рішень, і самі рішення. Як саме формуються рейтинги можливих рішень і рейтинги, що відображають важливість чинників. Процедури розрахунків рейтингів в методі аналізу ієрархій достатньо легкі, що вигідно відрізняє даний метод від інших методів прийняття рішень.

Схема застосування методу аналізу ієрархій абсолютно не залежить від сфери діяльності, в якій приймається рішення. Тому метод є універсальним, його застосування дозволяє організувати систему підтримки прийняття рішень.

Метод відбиває природний хід людського мислення. Він дає не лише спосіб виявлення найбільш прийняттого рішення, але й дозволяє кількісно виразити міру переваги за допомогою визначення пріоритетів. Це сприяє повному і адекватному виявленню переваг особи, що приймає рішення. Крім того, оцінка міри суперечності використаних даних дозволяє встановити міру довіри до отриманого результату.

Алгоритм методу:

1. *Побудова ієрархії.* Побудова ієрархії виходить з природної здібності людей думати логічно і творчо, визначати події і встановлювати відношення і спиратися, таким чином, на принцип ідентичності і декомпозиції. У найбільш елементарному вигляді ієрархія будується з вершини (цілей – з погляду управління), через проміжні рівні (критерії, від яких залежать наступні рівні) до найнижчого рівня (який зазвичай є переліком альтернатив).

2. *Послідовна (для кожного рівня ієрархії) оцінка важливості альтернатив за допомогою методу попарних порівнянь.* Після ієрархічного представлення проблеми встановлюються пріоритети критеріїв та оцінюється кожна з альтернатив за критерієм. В МАІ елементи задачі порівнюються попарно по відношенню до їх впливу на спільну для них властивість або мету. Результатом таких порівнянь є зворотно симетрична матриця, елементами  $a_{ij}$  якої є інтенсивність прояву елемента ієрархії  $i$  відносно елемента ієрархії  $j$ . Ця інтенсивність оцінюється за шкалою відносної важливості, що має наступний сенс:

Таблиця 1.15

### Шкала відносної важливості

Значення	Відносна важливість
1	рівна важливість
3	помірна перевага одного над іншим
5	істотна перевага одного над іншим
7	значна перевага одного над іншим
9	дуже сильна перевага одного над іншим
2, 4, 6, 8	відповідні проміжні значення

При заповненні матриці слід керуватися правилами:

- Правило 1: якщо  $a_{ij} = \alpha$ , то  $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$
- Правило 2: якщо думки такі, що  $A_i$  має однакову з  $A_j$  відносну важливість, то  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ ; зокрема  $a_{ii} = 1$  для всіх  $i$ .
- Правило 3: всі чарунки матриці заповнюються значеннями однієї і тієї ж шкали.

Порівняння починають з лівого елемента матриці. Визначається на скільки він важливіше чим другий. При порівнянні елемента із самим собою відношення дорівнює одиниці. Якщо перший елемент важливіший, ніж другий, то використовується ціле число з шкали, інакше використовується зворотна величина. У будь-якому випадку зворотні один до одного відношення заносяться в симетричні позиції матриці. Тому матриці завжди будуть позитивними і зворотно симетричними, для їх заповнення необхідно провести врахування лише  $\frac{n(n-1)}{2}$  думок, де  $n$  – загальне число порівнюваних елементів.

3. *Визначення локальних пріоритетів.* По заповнених матрицях парних порівнянь критеріїв при подальшій математичному обробці формуються вектори пріоритетів, що виражають відносну силу, величину, бажаність, «цінність» кожного окремого об'єкту. Вектор пріоритетів - нормалізований - головний власний вектор матриці. Такі вектори необхідно обчислити для кожної матриці, причому обчислення можна проводити різними способами, але у даній роботі використовується найбільш розповсюджений, на основі розрахунку геометричного середнього:

- Компонента власного вектора  $i$ -го рядка:

$$b_i = \sqrt[n]{a_{i1} \times a_{i2} \times a_{i3} \times \dots \times a_{in}}$$

- Вектор локальних пріоритетів:

$$\bar{X} = \left( \frac{b_1}{\sum b_i}, \frac{b_2}{\sum b_i}, \dots, \frac{b_n}{\sum b_i} \right) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

4. *Перевірка узгодженості пріоритетів.* Узгодженість локальних пріоритетів дає нам інформацію про ступень відхилення від узгодженості. Якщо такі відхилення перевищують певні норми, то експерту, що проводить судження, слід переглянути їх у матрицях порівнянь. Узгодженість перевіряється наступним чином:

- Підсумовується кожен стовпець суджень:  $A_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}, j = \overline{1, n}$ .
- Сума першого стовпця множиться на величину першої компоненти нормалізованого вектору пріоритетів, сума другого стовпця на другу компоненту і так далі:  $A_j \cdot x_i$ .
- Отримані числа підсумовуються:  $\lambda \sum_{i=1}^n A_i \cdot x_{i_{max}}$ .
- Індекс узгодженості:  $IУ = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ , де  $n$  – число порівнюваних елементів.
- Відношення узгодженості:  $ВУ = \frac{IВ}{ЧВУ}$ , де  $ЧВУ$  – число випадкової узгодженості. Випадкові узгодженості для матриць різного порядку вибираються з таблиці (табл.1.16.). Величина  $ВУ$  має бути порядку 10% або менше, аби бути прийнятною.

Таблиця 1.16

### Випадкова узгодженість матриць

Порядок матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадкова узгодженість (ЧВУ)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

5. *Синтез рішення задачі.* Пріоритети синтезуються, починаючи з другого рівня вниз. Локальні пріоритети перемножуються на пріоритет відповідного критерію на вищому рівні і підсумовуються по кожному елементу відповідно до критеріїв, на які впливає цей елемент. (Кожний елемент другого рівня помножується на одиницю, тобто на вагу єдиної цілі самого верхнього рівня.) Це дає складений, або глобальний пріоритет того елемента, який потім використовується для зважування локальних пріоритетів елементів, що порівнюються по відношенню до нього як до критерію і розташовані рівнем нижче. Процедура продовжується до самого нижнього рівня. Якщо отримані пріоритети  $k$ -го рівня, то пріоритети для елементів  $(k+1)$  рівня обчислюються за формулою:

$$x_j^{k+1} = \sum_{i=1}^n x_i^k b_{ij}, \quad (1.9)$$

де  $x_j^{k+1}$  - глобальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні;  $x_i^k$  - глобальний пріоритет  $i$ -го критерію на  $k$  рівні;  $b_{ij}$  - локальний пріоритет  $j$ -го критерію на  $(k+1)$  рівні за  $i$ -м критерієм  $k$ -го рівня.

Коли обчислені всі пріоритети для елементів нижнього рівня (тобто для альтернатив) особа, що приймає рішення обирає альтернативу, базуючись на одержаних результатах.

#### 1.5 Висновки до розділу. Постановка задачі.

Проаналізувавши металургію, як основну галузь господарства України, можна зробити висновки про те, що на сьогоднішній день дуже стрімко зростає конкуренція в цьому напрямку. У зв'язку з цим виникає необхідність розробити ефективні методи покращення виробництва і його контролю.

В якості предмету дослідження в роботі розглядається система обробки замовлень на одному з лідерів металургійної промисловості України – Нижньодніпровському трубному заводі, що входить до концерну “Інтерпайп”.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка автоматизованої системи обробки замовлень трубної продукції на основі нечітких критеріїв з використанням відомих методів прийняття рішень в умовах невизначеності.

Кожне замовлення визначається великим переліком даних про нього. При цьому труби за одну й ту саму ціну можуть мати собівартість, яка значно відрізняється. Також замовлення трубної продукції суттєво різняться по виду металу, діаметру, операціям, що виконуються з трубою та додатковим вимогам.

Тож вкрай необхідно сортувати вхідний потік замовлень з метою їх фільтрації та ранжування за критеріями ефективності.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі:

- аналіз загального стану ВАТ “Інтерпайп-НТЗ” як об’єкта господарювання й визначення проблемної області;
- визначення критеріїв оцінки замовлень, що надходять на підприємство;
- ранжування потоку вхідних замовлень за відповідністю сформульованим критеріям привабливості;
- порівняння використаних методів та прийняття рішення про застосування їх в складі системи підтримки прийняття рішень;
- виявлення можливих шляхів подальшого розвитку запропонованої системи.

## 2. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Структура замовлення безшовних труб

В кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено модуль системи підтримки та прийняття рішення в умовах ТПЦ №3 НТЗ «Інтерпайп». Аналізуючи технологічний процес виготовлення труб, оптимізуємо метод прийому заказів з метою подальшого вирішення задачі прийняття рішень про формування оптимального плану виконання замовлень на прокатну продукцію.

З метою надання ясності процесу прийняття замовлень, їх було переведено до електронного вигляду. В ході вирішення нашої задачі використовувались функції Microsoft Excel, за допомогою яких було побудовано вибірку замовлень. Кожне замовлення має ряд певних критеріїв, що приведені до кожного замовлення на листі «Замовлення» зображена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

#### Поля прийому замовлення

№ замовлення	Матеріал	Діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Довжина труби		Об'єм виробництва		Терміновість	Ціна	Стандарт
				min	max	В тонах	В днях			

Замовлення на продукцію трубопрокатного цеха №3 приймається відділом маркетингу підприємства за формою, яка містить наступні поля (зведені у вигляді таблиці 2.1):

*Номер замовлення* - виставляється автоматично. Нумерація наскрізна протягом року. Існує також складений номер замовлень у вигляді комбінації року замовлення та власного номеру. Подібна нумерація ведеться від дати утворення Відкритого акціонерного товариства. В даній роботі розглядається окрема нумерація замовлень, в межах наданої інформації (на певну дату).

*Матеріал* – сталь, з якої виготовляють трубу. Як було зазначено в розділі 1.2, на підприємстві, що нами розглядається, сортамент включає труби з більш як сотні марок сталі. Втім, все це розмаїття можна поділити на три принципово різні категорії: звичайну вуглецеву сталь, леговану та європейську.

Звичайна вуглецева сталь, що використовується у багатьох виробництвах, є звичайною сполукою заліза та вуглецю. Вміст останнього, виражений у сотих долях відсотку, використовують як позначення марки сталі, наприклад сталь 10, 20, 35, 45 і так далі. В подальшому при роботі СППР буде використовуватись позначення “стандарт” для звичайних марок сталі, оскільки вони найбільш прості й дешеві у виробництві.

Леговані сталі у своєму складі крім вуглецю містять також інші хімічні елементи, що покращують твердість, пластичність, ковкість, витривалість готової продукції. Оскільки труби заводу “Інтерпайп-НТЗ” є товстостінними й використовуються для прокладання магістральних газо- та нафтогонів, такі міри зазвичай є нормою.

Таблиця 2.2

### Легуючі елементи та їх позначення

Хімічний елемент	Літера
азот (N)	А
ніобій (Nb)	Б
вольфрам (W)	В
марганець (Mn)	Г
мідь (Cu)	Д
селен (Se)	Е
кобальт (Co)	К
берилій (Be)	Л
молібден (Mo)	М
нікель (Ni)	Н
бор (B)	Р
кремній (Si)	С
титан (Ti)	Т
ванадій (V)	Ф
хром (Cr)	Х
алюміній (Al)	Ю

Серед легуючих елементів, які зазвичай використовуються у трубному виробництві, розповсюджені наступні, зведені у вигляді таблиці 2.2. Колонка “літера” містить елемент позначення, який використовується у записі марки сталі при наявності того чи іншого легуючого елементу.

Якщо вміст котрогось з домішків менший за 1%, його просто вказують літерою, якщо ж більший – позначають вміст відповідними цифрами після літери. Наприклад, 38X2H5M – це легована високоякісна сталь з підвищеним вмістом хрому, нікелю та молібдену. Вміст домішок є приблизно наступним: вуглецю – близько 0,38 %; хрому – близько 2 %; нікелю – близько 5 %; молібдену – близько 1 %. Серед замовлень, що розглядались, є труби з сталей 09Г2С, 20Х, 25ХГТ, 30ХГСА та 40Х. До легованих також відносяться марки сталі ШХ15, ШХ15(В), що зветься “підшипниковими”. В їх позначенні Ш позначає належність до підшипникових сталей, Х – наявність хрому, а число після літери – його вміст.

Так звані “європейські” марки сталі в нашому прикладі представлені єдиною маркою St.52.0 – високоякісною нелегованою сталлю з підвищеним вмістом вуглецю. Її відмінність полягає лише в тому, що процес виготовлення, розливки та прокатування сталі відповідає європейському стандарту якості. Останній є дещо жорсткішим за вітчизняні стандарти в частині вмісту шкідливих речовин – фосфору та сірки. Відтак, виготовляти і обробляти таку сталь дещо важче, ніж звичайні марки, використовувані для внутрішнього ринку.

*Діаметр* – зовнішній діаметр готової труби. Розмірність цього параметра вказується замовником, однак вона не повинна виходити за межі припустимих технічних вимог. Як зазначено в розділі 1.2, діаметр так само залежить від сортаменту труби, що виготовляється, а також від марки сталі. Для кожного стандарту труб існують свої обмеження. Так наприклад для ДСТУ 8732 зовнішній діаметр має знаходитись в межах від 83 мм до 203 мм. Прокатка труб різного діаметра передбачає переналаштування практично всього устаткування. Цей факт визначає те, що виготовлення труб різних діаметр вимагає різної тривалості технологічного процесу.

*Товщина стінки* – це різниця між зовнішнім і внутрішнім діаметрами труби. Вона обирається залежно від зазначеного в таблиці 1.10 типорозміру труб, що прокатуються, Товщина стінок так само залежить від стандарту: наприклад, за ДСТ 8731 - від 8 мм до 50 мм. Залежно від відношення зовнішнього діаметра (Д) до товщини стінки (S), труби бувають тонко- та товстостінними:

- тонкостінні -  $D/S$  від 12,5 до 40 і більше; діаметром 20 мм або менше, зі стінкою завтовшки 1,5 мм;

- товстостінні -  $D/S$  від менше, ніж 6 мм й до 12,5 мм.

Товстостінна труба використовується для передачі рідин і газів, тобто в будівництві трубопроводів різного призначення. Безшовні товстостінні труби широко використовуються також у теплоенергетичному комплексі, в будівництві, житлово-комунальному господарстві, в нафтогазовій промисловості, суднобудуванні тощо. Властивості різних марок сталі, що використовуються в виробництві товстостінних труб, дозволяють встановлювати даний вид труб для роботи в різних типах агресивного середовища (гаряча вода, гаряча пара, газ тощо). Крім того, труба товстостінна безшовна використовується в машинобудуванні, для виготовлення рольгангів, корпусів і роликів електромоторів, шахтного кріплення.

Тонкостінні труби використовуються для виготовлення різноманітних легких металоконструкцій зі сталевих тонкостінних труб. Такі труби добре працюють на вигин, а отже придатні і широко використовуються для виготовлення меблевої або електроосвітлювальної фурнітури.

*Довжина* – розмір замовленої труби (в метрах). Розглянуте нами підприємство виготовляє різні види труб, довжина яких може бути мірною (кратною мірній) або довільною (немірною). Довжина, так само, як і розглянуті вище критерії замовленої продукції, залежить від стандарту. Наприклад для ДСТ 800 вона варіюється від 2 м до 5 м, для ДСТ 8732 - від 4 м до 12,5 м.

Здійснюючи замовлення, замовник вказує *мін та мах довжину* бажаної труби. Залежно від цих показників визначається мірність. Вона може бути жорсткою, середньою або довільною. Що жорсткішою є мірність, то меншою є

припустима помилка при нарізуванні труб. Для виробника це становить певну складність, до того ж, не дає можливості довільної нарізки труб таким чином, щоб залишалося якомога менше обрізків.

*Об'єм виробництва* – вага замовленої продукції (в тонах) і термін виконання замовлення (в днях), з урахуванням продуктивності трубопрокатної установки «ТПА-200». Досліджуючи даний об'єкт, можна зробити висновок, що норма продуктивності дорівнює 58 тон на день.

Для кожного замовлення вказується толеранс (%), що визначає ступінь відхилення від ваги замовлення. Оскільки підприємство продає трубну продукцію певної марки та довжини на вагу, вкрай важко досягти абсолютної відповідності ваги замовленої продукції, адже для цього доведеться до міліметрів вимірювати й відрізати труби, намагаючись видати їх бажану вагу.

Цей показник задається безпосередньо замовником. Розрізняють жорсткий толеранс – припустимі відхилення лише у більший бік від замовленої ваги і не більше ніж на 5% (частіше – на 2%). Більш бажані для підприємства замовлення з так званим ліберальним толерансом на рівнях +/-5%, +10/-5% та +/-10%. Наприклад для замовлення №2 вагою 35 тонн толеранс становить +/-5%, тобто при відвантаженні замовлення може мати вагу в межах від 33,25 тонн до 36,75 тонн.

*Терміновість* – визначає кількість днів, упродовж яких необхідно виконати замовлення. Важливим аспектом є виконання замовлення в максимально наближені до кінцевого терміну терміни. Це пояснюється тим, що готова продукція у 90% випадків оплачується після її відвантаження за фактичною вагою. А тому, будь-яка продукція, що вже виготовлена, але ще не оплачена – це фінансові збитки підприємства.

Також з огляду на розміри виготовленої продукції, її складування та зберігання займає багато місця. Це завдає незручностей працівникам цеху і, зрештою, може призвести до ускладнення пересування цехом.

*Ціна* – сума грошей, яку замовник сплатить підприємству за точне, виконане у визначений термін замовлення. Ціна залежить не лише від об'єму замов-

лення, стандарту, довжини, діаметра та марки сталі, але також і від додаткових вимог до виготовлення труб (термообробка, захисне покриття, промасловка, маркування тощо).

За невиконане у визначений термін замовлення, або за виконане з відхиленнями в технології виробництва, на завод буде накладено штраф, що визначатиметься залежно від зазначених у замовленні критеріїв.

*Стандарт* – це основний критерій, що визначає відповідність готових труб вимогам виробництва. Для прокатки труб виділяють три основних види стандартів ДСТ, ТУ та Євро. Кожен з цих стандартів має свої характеристики і особливості.

**ДСТ** (Державний стандарт) — одна з основних категорій стандартів у СРСР, сьогодні міждержавний стандарт у СНД.

ДСТ 23270-89 - труби-заготовки для механічної обробки. Марки сталі: 10, 20, 35, 45, 30ХГСА, 30ХМА, 12ХН2, 38Х2МЮА, 10М2, 15Х, 20Х, 40Х, 15ХМ.

ДСТ 800-78 - труби підшипникові. Марки сталі: ШХ-15, ШХ-4, ШХ-15-Ш, ШХІЗ, ШХ-15СГ, ШХСГ-Ш.

ДСТ 8731-74, ДСТ 8732-78 - труби сталеві безшовні горячдеформовані. Марки сталі: 10,20, 35, 45, 55, 60,65,70, 20Х, 30Х, 40Х, 40ХН, 09М2С та інші.

ДСТ 8733-74, ДСТ 8734-75 Труби сталеві безшовні холоднодеформовані й теплодеформовані. Марки сталі: 10,20, 35, 45, 55, 60,65,70, 20Х, 30Х, 40Х, 40ХН, 09М2С и ін.

**ТУ** – стандарт, технічні характеристики та особливості виробництва якого визначаються у відповідності до стандартів заводу-виробника.

ТУ 14-3-1941-94 Труби сталеві безшовні холодноотягнуті особливо високої точності для корпусів заглибних електродвигунів і насосів. Марка сталі 35.

ТУ 14-3-1951-94 Труби сталеві безшовні холоднодеформовані. Марка сталі: 20, 35, 40, 45.

**Євро** – Європейські стандарти виготовлення труб.

DIN 2391 - Безшовні прецизійні сталеві труби з особливо точними розмірами. Марки сталі: St30Si, St30Ai, St35, St45, St52.

Також можливі варіанти, коли замовник може вказати декілька стандартів (ДСТ+ТУ). Тоді при виготовленні замовлення необхідно дотримуватися всіх вимог, яких вимагають дані стандарти, однак в спірному випадку право вибору залишається за заводом.

Виготовлення труб певного стандарту накладає на завод-виробник обмеження. Наприклад ДСТ 800 обмежує можливості виготовлення наступного сортаменту труб: зовнішній діаметр - від 80 мм до 183,1 мм; товщина стінки від 8 мм до 45 мм; довжина від 2 м до 5 м. Також стандарт обмежує для труби припустимі відхилення, хімічний склад сталі, механічні властивості, додаткові вимоги стосовно обробки труб, кінців тощо, а також вимоги до макро- та мікроструктури матеріалу.

Крім перелічених у таблиці 2.1 характеристик замовлення, кожен клієнт може зазначити так звані “додаткові умови”. Перелік додаткових умов наведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

#### Додаткові характеристики труб, що замовляються

Толеранс	Маркування	Кінці	Термообробка	Поверхня
Сертифікат якості	Упакування	Пакувальний аркуш	Покриття	Особливі вказівки

В договорах обов'язково прописується так званий *толеранс*. Суть цього поняття та вплив на зручність замовлення визначені вище.

*Маркування* на сталевих трубах застосовують у випадку, якщо діаметр труби є більшим за 159 мм і товщина стінки є не меншою за 3,5 мм (крім випадків, коли замовник сам не вимагає від виробника маркувати труби меншого діаметра - від 114 мм). Зазвичай маркування здійснюють у такі способи: незмивною фарбою, за допомогою електричного олівця або електрографом. Вибір способу залежить від діаметра труб і товщини їх стінок.

Маркування завжди містить розмір самої труби, марку застосовуваної сталі, а також товарний знак виробника.

*Кінці* труб обробляються за бажанням замовника. Можливий варіант захисних ковпаків на торець труби. Це робиться для безпечності транспортування та запобігання деформації й ушкоджень продукції. Обробка кінців труб на спеціальних апаратах для досягнення гладких кінців так само є персональним побажанням клієнта. Цей критерій характеризується залежно від подальшої експлуатації труби.

За товщиною стінок сталеві безшовні труби діляться на тонкостінні та товстостінні, які піддаються *термообробці*, оскільки основним їх призначенням є транспортування рідин і газів під високим тиском.

*Поверхня* труби в процесі виготовлення не повинна мати жодних механічних ушкоджень. Але за бажанням клієнта продукція може пройти додаткову обробку поверхні аби остаточно виключити наявність залишків окалини або інших вад поверхні.

*Сертифікат якості* – безпосередня гарантія самого заводу. Сертифіковані труби мають відповідати більшій кількості вимог. Якщо ж замовник потребує не звичайний, а спеціальний сертифікат, це ще більше ускладнює виконання замовлення.

*Упакування* труб обмеженої ваги, у пластикові пакети, пакетами рівної ваги та довжини – все це завдає виробникові певні труднощі, відтак впливає на вартість замовлення.

За бажанням клієнта можна застосувати *пакувальний аркуш* для вантажу об'ємом одне транспортне місце. Стандартний пакувальний аркуш містить наступні дані: номер і дату документа реалізації; номер і дату заявки покупця, відповідно до якої здійснюється відвантаження; назву, адресу, телефони та ПІН постачальника (відправника вантажу) та покупця, (вантажоотримувача), а також список відвантажуваних товарів, їх найменування та кількість.

*Захисні покриття*, у свою чергу, підрозділяються за видом застосовуваного захисту. Для запобігання утворенню корозії на труби може бути нанесене додаткове стандартне покриття.

До слоту “*Особливі вказівки*” заносяться всі вимоги, що не ввійшли у перелічені вище, але є не менш важливими для замовника. Наявність особливих вказівок – ознака надмірної вибагливості клієнта. Зазвичай, саме вони значно підвищують собівартість продукції та зменшують зручність опрацювання замовлень.

## 2.2. Критерії обробки замовлень

Серед усіх полів, які входять до бланка замовлення, необхідно, насамперед, виділити ті, які мають найсуттєвіше значення для відповіді на питання, чи є дане замовлення ефективним і наскільки терміново слід починати його виконання. Серед критеріїв оцінки замовлень можна виділити ряд нечітких та кілька дискретних.

Насамперед, оскільки металургійне підприємство “Інтерпайп-НТЗ” є комерційним і проводить свою діяльність з метою отримання прибутку, необхідно звернути увагу на критерій “Ціна”. Оскільки, ціна погонного метра труб суттєво відрізняється для різних стандартів, діаметрів, виконань та марки сталі, пропонується даний критерій в роботі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень розглядати як нечіткий.

Для оцінки ціни тони готової продукції було запропоновано три терміни : “висока”, “середня” та “низька”. Розглянувши перелік замовлень за певний період (дані, отримані під час проходження літньої практики), маємо наступні показники замовлень: максимальна ціна – 26000 грн/т, мінімальна ціна – 7780 грн/т, медіана (серединне значення) – 9620 грн/т, середнє арифметичне – 10271 грн/т.

Отримані дані свідчать, що дешеві замовлення зустрічаються набагато частіше й різниця ціни у так званому “низькому” ціновому сегменті найнижча. Виходячи з цього, функції належності для нечітких множин лінгвістичної змінної “ціна металу” набуває вигляду діаграми на рисунку 2.1.

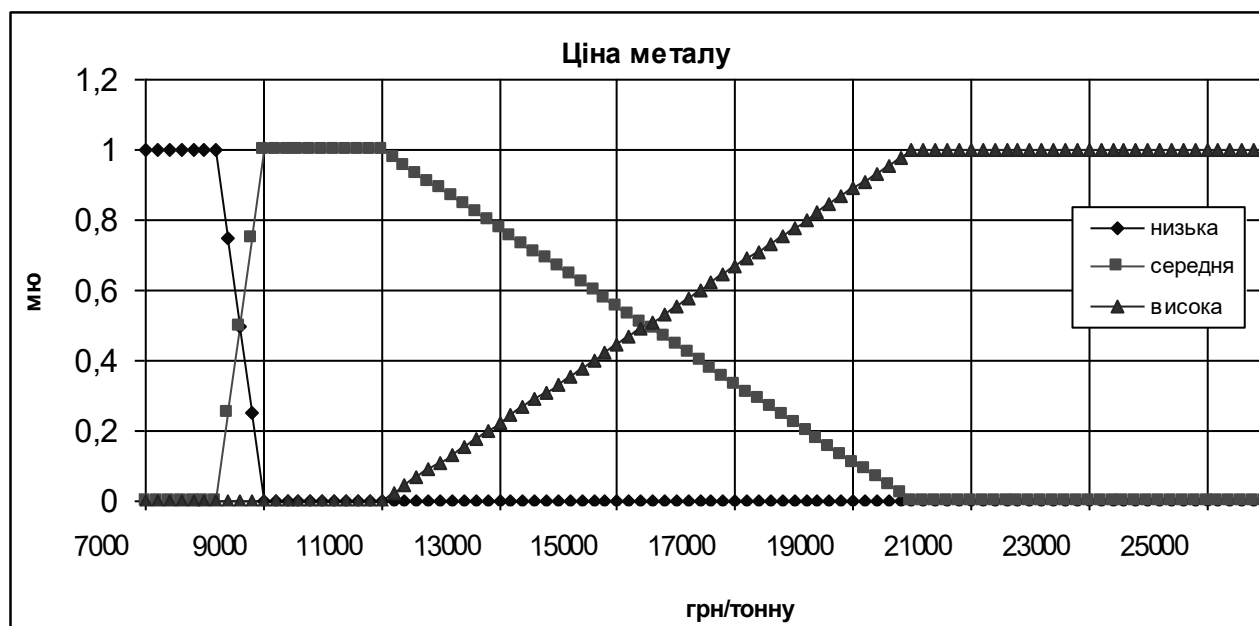


Рисунок 2.1 - Нечіткі множини для лінгвістичної змінної критерію “ціна”

При розподілі, наведеному на рис. 2.1, однакова кількість замовлень будуть кваліфікуватися як ті що мають низьку, середню та високу ціну металу.

Наступний нечіткий критерій, який має неабияку вагу для роботи підприємства і напряду витікає із форми замовлення в таблиці 2.1, це “Обсяг замовлення”. Як було показано в першому розділі, підприємству вкрай вигідно виконувати великі замовлення однотипної продукції без складних переналаштувань прокатного стану та допоміжного обладнання, які віднімають час і збільшують собівартість продукції.

Проаналізувавши вихідні дані (вищезгаданий перелік замовлень за 2 місяці минулого року, загалом 216 замовлень), було з’ясовано, що показники замовлень з точки зору розміру наступні: максимальне замовлення – 120 тон, мінімальне замовлення – 2 тони, медіана – 10 тон, середнє арифметичне – 16,12 тони. Таким чином, маємо дуже широкий розкид замовлень по розміру з явною перевагою невеликих замовлень.

Було прийнято рішення для оцінки лінгвістичної змінної “розмір замовлення” використовувати три терми: “малий”, “середній” та “високий”, а функції належності нечітких множин для цих термів обрати у вигляді трапецеїдальних функції, як показано на рис. 2.2.

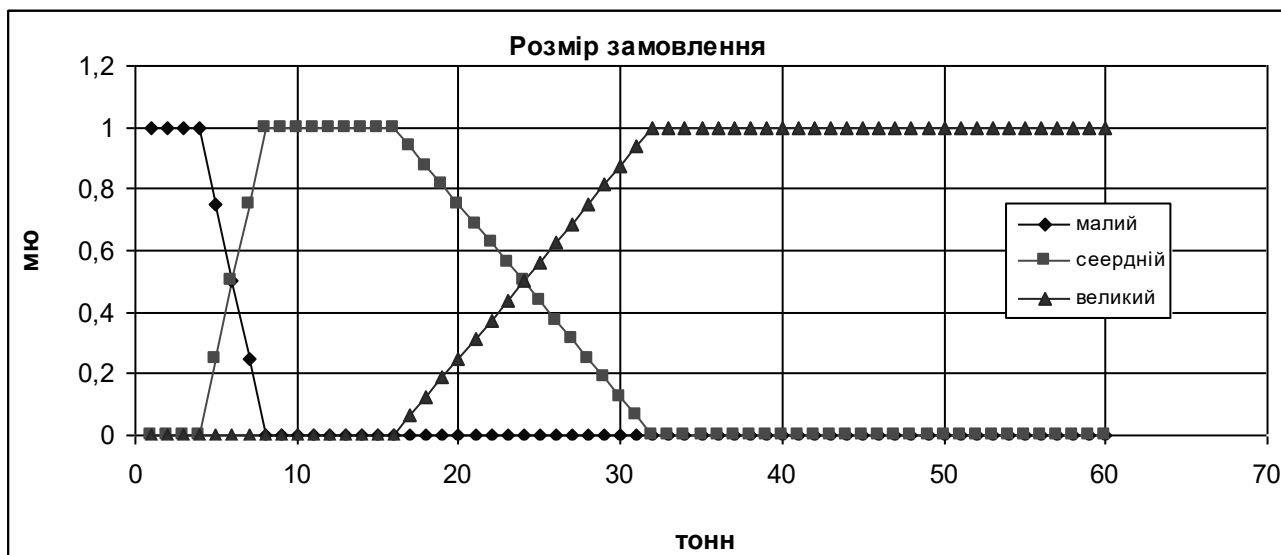


Рисунок 2.2 - Нечіткі множини для лінгвістичної змінної “Розмір замовлення”

Ще одним важливим нечітким критерієм, що обов’язково має розглядатися при прийомі та обробці замовлень на трубну продукцію, є терміновість замовлення. Для стабільної ритмічної роботи підприємства бажано, аби замовлення не були терміновими, але водночас і не мали надто відкладений характер. Термінові замовлення незручні тим, що змушують переналаштовувати обладнання та змінювати план роботи. Відкладені замовлення, як уже зазначалося раніше, незручні тим, що виготовлена продукція буде сплачена через якийсь час.

Проаналізувавши 216 замовлень вихідних даних, було з’ясовано, що показники замовлень з точки зору терміновості наступні: найбільший термін виконання – 70 діб, найменший термін виконання замовлення – 4 дні, медіана термінів – 30 діб, середнє арифметичне – 32,8 доби. Таким чином, маємо широкий розкид замовлень за терміновістю майже рівномірно розподілених від вкрай термінових до максимально нетермінових.

Для нечіткої оцінки критерію терміновості замовлення пропонується використовувати три терми: “термінове”, “нормальне” та “відкладене”.

Функції належності нечітких множин для цих термів обрати у вигляді трапецеїдальних функції, як показано на рис. 2.3.

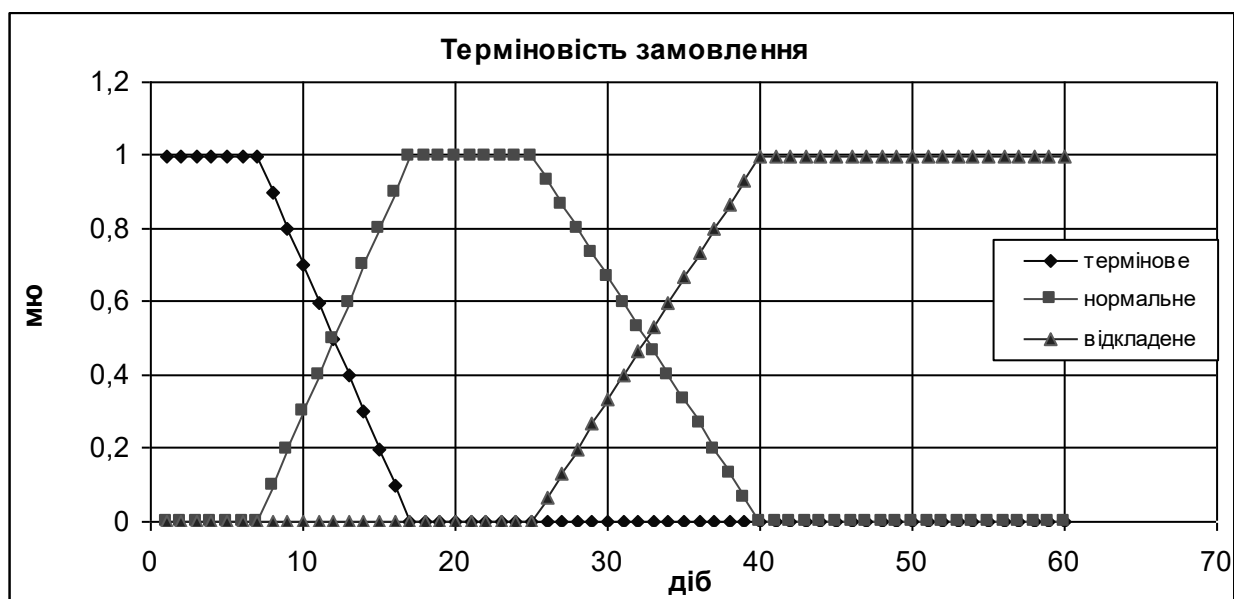


Рисунок 2.3 - Нечіткі множини для лінгвістичної змінної “Терміновість замовлення”

Ще одним важливим з точки зору ранжування та оцінювання перспектив виконання замовлень критерієм є мірність замовлення. Як було пояснено раніше, деякі замовлення ставляться з жорсткою вимогою, наприклад, труба повинна мати довжину 5 метрів. Виконання такого замовлення призводить до певних витрат металу через необхідність суворого дотримання мірності.

Інші ж замовлення можуть містити діапазон бажаної довжини. Найчастіше пропонується виготовлення труби з довжиною від 2 до 5 та від 4 до 9 метрів. При виготовленні труб за подібними замовленнями відходів виробництва майже не залишається, оскільки будь-яка труба довжиною у вказаних межах задовольняє замовленню.

Для оцінки жорсткості вимоги мірності в замовленні використовується лінгвістична змінна “мірність замовлення”, для якої було обрано три терми: “жорстка”, “середня” та “довільна”. В якості значення критерію обрано відношення максимальної припустимої довжини труби до мінімальної. Аналізуючи вихідні дані, можна побачити, що максимум цього відношення серед розглянутих 216 замовлень дорівнює 3, мінімум – 1. при цьому медіана та математичне очікування майже ідентичні – відповідно 1,8 та 1,85.

Враховуючи перераховане, приймаємо наступні функції належності для оцінки мірності замовлення, наведені на рис. 2.4.

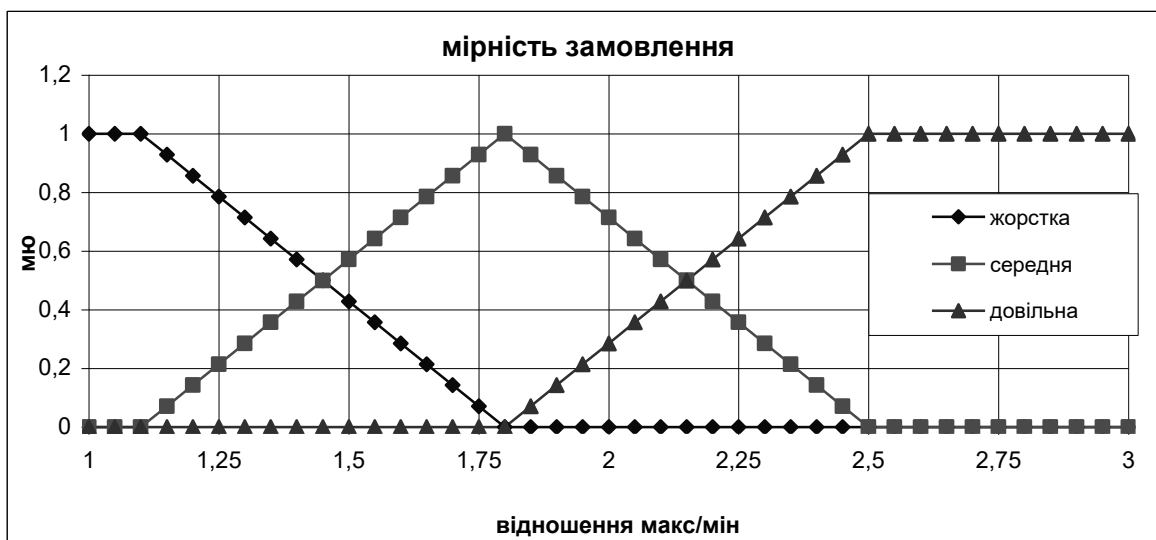


Рисунок 2.4 - Нечіткі множини для лінгвістичної змінної “Мірність замовлення”

Як було сказано раніше, в замовлення включається кілька додаткових вимог, наведені у таблиці 2.3. Всі ці характеристики, якщо вони присутні й відрізняються від стандартного ходу виконання замовлення, ускладнюють процес виготовлення труб при одній і тій самій кінцевій ціні готової продукції. Наприклад, чим жорсткіший толеранс, більше особливих вимог чи специфікацій, тим більше задіюється в ході виконання замовлення персоналу, тим більше виконується робіт і тим більша відповідальність за кінцевий результат.

Легко зрозуміти, що далеко не всі додаткові вимоги мають однакову вагу й однаково негативно впливають на перспективу опрацювання того чи іншого замовлення. В табл. 2.4 наведено функції належності зведеного критерію “Простота замовлення”, який крім десяти додаткових умов спирається також на застосування стандартів для виготовлення продукції та марки сталі, з якої виготовляється продукція. Найпростіше виготовляти труби за ТУ, які розроблені самим заводом. Менш зручними є державні стандарти, в яких вимоги до готової продукції більш жорсткі. Найскладніші замовлення, які потребують відповідності європейським стандартам якості.

Таблиця 2.4

## Функції належності критеріїв додаткових вимог

№	Додаткові вимоги	Можливі варіанти та їх оцінки						
		+5/-0%	+0/-5%	+0/-2%	+/-2%	+5/-2%	+/-5%	+/-10%
1	Толеранс	+5/-0%	+0/-5%	+0/-2%	+/-2%	+5/-2%	+/-5%	+/-10%
	<i>Простота</i>	0,4	0,4	0,01	0,1	0,6	0,8	1
2	Маркування	Не потрібне	За стандартом					
	<i>Простота</i>	1	0,5					
3	Обробка кінців	Не потрібна	Пластмасові ковпачки		Гладкі			
	<i>Простота</i>	1	0,8		0,4			
4	Термічна обробка	Не потрібна	З прокатного нагріву	Стандартне виконання		За методикою заводу	Закалювання	
	<i>Простота</i>	1	0,4	0,7		0,8	0,5	
5	Обробка поверхні	Не потрібна	За стандартом					
	<i>Простота</i>	1	0,5					
6	Сертифікат якості	Немає	звичайний	спеціальний				
	<i>Простота</i>	1	0,7	0,2				
7	Упакування	Без вимог	довільними пакетами	насіпом	Однаковими пакетами		Однорідними пакетами	
	<i>Простота</i>	1	0,8	0,9	0,3		0,5	
8	Пакувальний лист	Не потрібен	стандартний	детальний				
	<i>Простота</i>	1	0,5	0,1				
9	Покриття	Відсутнє	За стандартом		Захисне			
	<i>Простота</i>	1	0,5		0,7			
10	Особливі вказівки	Немає	присутні					
	<i>Простота</i>	1	0,3					
11	Стандарт	ДСТ	ДСТ+ТУ	ТУ	Євро			
	<i>Простота</i>	0,5	0,75	1	0,1			
12	Сталь	стандартна	легована		Євро			
	<i>Простота</i>	1	0,7		0,25			

Те ж стосується й критерію “сталь” – якщо труби виготовляються зі звичайної вуглецевої сталі, вони не потребують переналаштування печі, просто прошиваються й потребують менших температур нагрівання й прокатки. Леговані сталі менш зручні в обробці й часто потребують спеціальних дій при нагріванні заготовок та прошивці (див. Технологію виготовлення). Ще складніше справа складається ПЗ обробкою легованих сталей за європейськими стандартами.

Перелічені 12 критеріїв з урахуванням їх пріоритетів згортаються в один зведений критерій – “простота замовлення”. Таким чином, рішення про ранжування замовлень в складі експертної системи підтримки прийняття рішень виконується за п’ятьма критеріями ефективності:

- розмір замовлення;
- ціна металу;
- простота виконання замовлення;
- мірність труб у замовленні;
- терміновість замовлення.

При цьому якщо для перших трьох критеріїв явно більш привабливими будуть замовлення з якомога більшими показниками, то мірність труб може варіюватися в широких межах (іноді довільна мірність також не є перевагою), а терміновість виконання замовлення носить швидше логічний характер. Тобто, якщо у заданий термін підприємство встигає виконати замовлення без суттєвих втрат, замовлення приймається і ранжується з усіма іншими. Інакше – замовлення вважається небажаним і клієнту або пропонується відмовитись від якихось певних вимог (переглянути замовлення), або воно відхиляється.

Більш докладно про використання критеріїв оцінки замовлень у складі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень – у наступному розділі.

### 2.3. Алгоритм роботи СППР

Метою інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень є оцінка замовлення в режимі його попереднього введення, тобто “на льоту” та видача рекомендації щодо включення його у виробничий план чи відхилення. Відповідність між полями бланку замовлення та критеріями, за якими воно оцінюється, наведена на рис. 2.5.

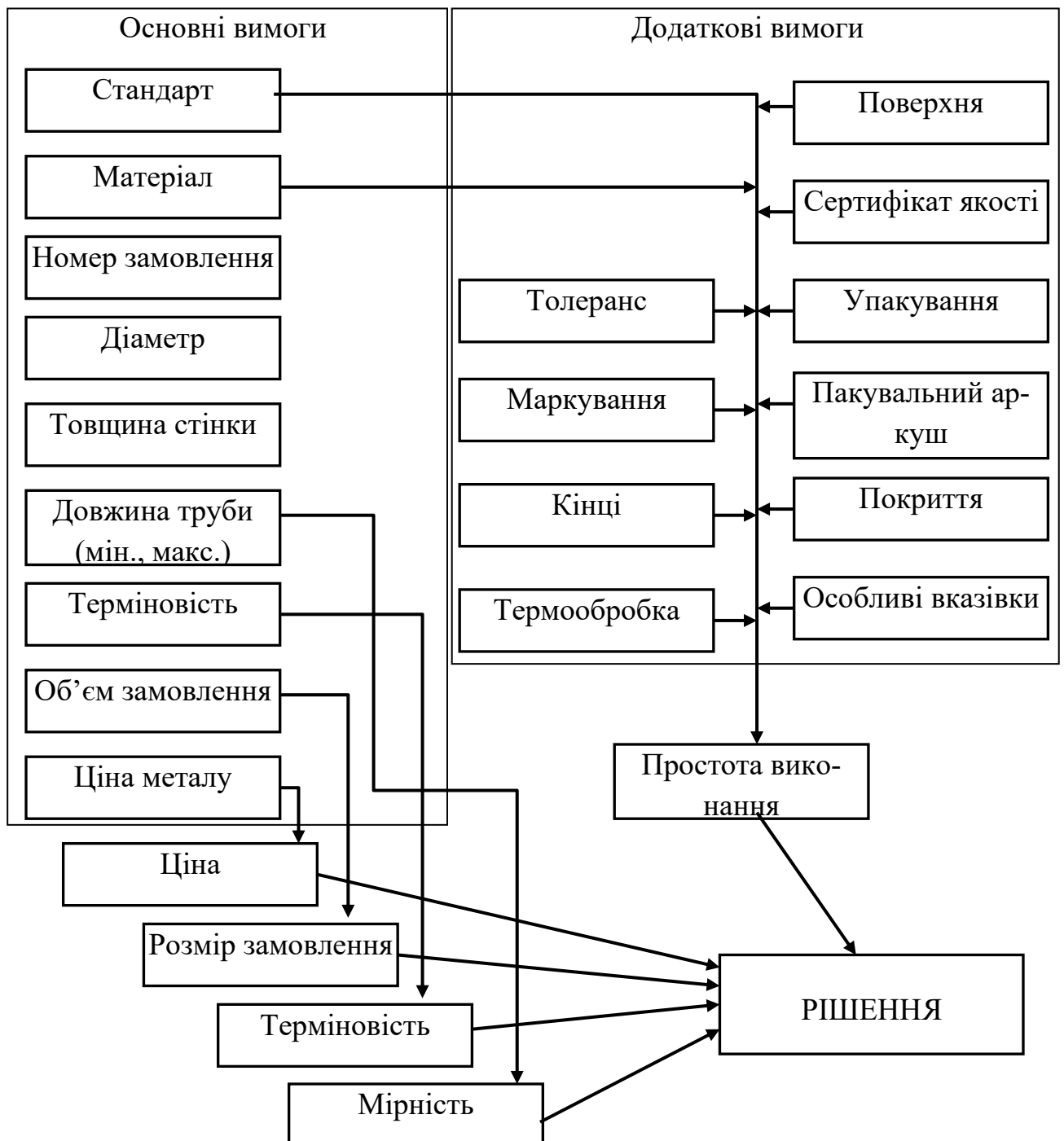


Рисунок 2.5 -Поля бланку замовлення та критерії оцінювання замовлень

Режим роботи “на льоту” передбачає, що тільки-но введене замовлення оцінюється за сформульованими вище критеріями і розташовується в план обробки замовлень, або ж відкидається.

План обробки замовлень з точки зору мінімізації переналаштувань будуватиметься наступним чином:

- 1) з усього масиву поточних замовлень, прийнятих до роботи, обирається найбільший масив з однаковою маркою сталі;
- 2) з певної сталі обираються всі замовлення, що потребують труби однакового діаметру. Перевага серед однакової кількості замовлень віддається діаметру, який більше замовляють чи такому, який кращий за ціною;
- 3) серед усіх замовлень з однаковим діаметром обирають ті, які збігаються за товщиною стінки. Перевагу знову ж таки мають замовлення більшого об'єму чи прибутковості.
- 4) Всередині обраних масивів замовлень відбувається впорядкування за датою виконання замовлення, переліком додаткових операцій та мірністю.

Прикладом побудови плану виконання замовлень може слугувати фрагмент робочого листа, представлений на рис. 2.6, де наведене впорядкування кількох замовлень.

№ замов.	Матеріал	Діаметр, мм	Товщина стінки, мм	довжина		Об'єм замовлення, т	Стандарт	Терміновість, діб	Ціна, грн./т		
				min	max						
92	35	89	20	7	7	65	ДСТ	24	8784		
79				7	7	30	ДСТ	27	7324		
37				4	9	10	ДСТ	40	7324		
94				4	9	5	ДСТ	24	7324		
105				17	4	9	5	ДСТ	30	7001	
48				16	4	9	5	ДСТ	50	7004	
85		83	18	17	1,265	1,265	65	ДСТ	24	8660	
81					1,265	1,265	12	ДСТ	7	7001	
46					4	9	6	ДСТ	50	7016	
45					13	4	9	7,5	ДСТ	50	7025
43						4	9	5	ДСТ	50	7324

\* \* \*

Рисунок 2.6 - Результат роботи програми - планувальника

Як видно з рис. 2.6, застосування системи планування дозволить нам вибрати і виготовити без особливих переналаштувань прокатного стану 225 тон

труб з сталі марки 35, виконавши перше переналаштування після 110 тон. За цей час будуть виконані чотири замовлення, серед яких є як жорсткі за мірністю, так і ні. Останній факт дозволить шляхом сортування труб виконувати кілька замовлень водночас.

Інший режим роботи запропонованої інтелектуальної системи – пакетна обробка замовлень з метою їх упорядкування (ранжування).

Виберемо 10 замовлень із 216, відомих з літньої практики. Виберемо їх таким чином, щоб якомога більша кількість параметрів у них відрізнялась. Наступні табл. 2.5 – 2.9 ілюструють оцінювання замовлень по різних критеріях.

Таблиця 2.5

### Оцінка замовлень за критерієм “Терміновість”

№ замовлення	Належність до нечіткої множини			Замовлення термінове на
	термінове	нормальне	відкладене	
1	0,7	0,3	0	0,85
2	0	0	1	0
3	0	0	1	0
4	0	1	0	0,5
5	0	0,6667	0,3333	0,3333
6	0	0,3333	0,6667	0,1667
7	0,5	0,5	0	0,75
8	0	0,6667	0,3333	0,3333
9	0,5	0,5	0	0,75
10	0,3	0,7	0	0,65

Таблиця 2.6

### Оцінка замовлень за критерієм “Ціна”

№ замовлення	Належність до нечіткої множини			Замовлення вигідне на
	низька	середня	висока	
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0,5
3	0,27	0,73	0	0,365
4	0,425	0,575	0	0,2875
5	0	0,8801	0,12	0,56
6	0	0,9757	0,0243	0,5122
7	0	0,9719	0,0281	0,514
8	0	1	0	0,5
9	0	0	1	1
10	0,58	0,42	0	0,21

Таблиця 2.7

**Оцінка замовлень за критерієм “Розмір замовлення”**

№ замовлення	Належність до нечіткої множини			Замовлення велике на
	малий	середній	великий	
1	0	0	1	1
2	0	0,75	0,25	0,625
3	0	1	0	0,5
4	0	0	1	1
5	0	0,4375	0,5625	0,7813
6	0,75	0,25	0	0,125
7	0,75	0,25	0	0,125
8	0	1	0	0,5
9	0	1	0	0,5
10	0	1	0	0,5

Таблиця 2.8

**Оцінка замовлень за критерієм “Мірність”**

№ замовлення	Належність до нечіткої множини			Замовлення незручне на
	жорстка	нормальна	довільна	
1	0	0,3571	0,6428	0,17857
2	0	0,3571	0,6428	0,17857
3	0	0,3571	0,6428	0,17857
4	1	0	0	1
5	1	0	0	1
6	0	1	0	0,5
7	0	1	0	0,5
8	0	0,3571	0,642857	0,17857
9	0	1	0	0,5
10	0	1	0	0,5

Таблиця 2.9

**Оцінка замовлень за критерієм “Простота”**

№ замовлення	Належність замовлення до критеріїв простоти												Замовлення просте на
	к1	к2	к3	к4	к5	к6	к7	к8	к9	к10	к11	к12	
1	0,01	0,5	1	1	1	0,7	0,8	1	1	1	0,5	1	0,7991
2	0,8	0,5	1	1	1	0,7	1	1	1	1	0,5	1	0,8796
3	0,8	0,5	1	1	1	0,7	1	1	1	1	0,5	1	0,8796
4	0,8	0,5	1	1	1	0,7	0,5	1	1	0,3	0,5	1	0,7651
5	0,8	0,5	1	1	1	0,7	0,8	1	1	0,3	0,5	1	0,7825
6	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0,3	0,5	0,7	0,7872
7	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	0,3	0,5	0,7	0,7872
8	0,4	0,5	1	1	1	0,7	0,8	0,5	1	0,3	1	0,7	0,7569
9	0,8	0,5	1	0,7	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,6988
10	0,8	0,5	1	0,7	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,6988

Як зазвичай, в методах, пов'язаних із застосуванням знань, необхідно порівняти критерії між собою, аби дати максимально точну оцінку кожному із замовлень.

Програма пропонує користувачеві (передбачається, що це працівник відділу маркетингу, який займається прийманням і уведенням замовлень) оцінити п'ять головних критеріїв за 12-бальною шкалою. Також, за бажанням, користувач може виставити пріоритети критеріїв нижчого порядку, що входять у зведений критерій “простота”.

В разі, якщо користувач відмовляється від цієї пропозиції, до його послуг експертне оцінювання критеріїв, що підставляється автоматично.

З опитування фахівців було з'ясовано, що найголовнішим критерієм при прийманні замовлень є ціна, далі в порядку убавання важливості – розмір замовлення, його терміновість, зручність та мірність.

Відповідно, у програму закладені наступні відносні оцінки: ціна – 5, розмір – 4, терміновість – 3, зручність – 2 та мірність – 1. З урахуванням таких оцінок для обраного прикладу з 10 замовлень були отримані наступні результати (ілюструються таблицею 2.10).

Таблиця 2.10

### Результат обробки пакету замовлень

№ замовлення	Терміновість	Ціна	Розмір	Простота	Мірність	Зведений критерій
1	0,85	0	1	0,7991	0,1786	0,59798
2	0	0,5	0,625	0,8797	0,1786	0,50538
3	0	0,365	0,5	0,8797	0,1786	0,42705
4	0,5	0,2875	1	0,7651	1	0,56452
5	0,3333	0,21	0,7813	0,7826	1	0,44934
6	0,1667	0,5122	0,125	0,7872	0,5	0,37568
7	0,75	0,5141	0,125	0,7872	0,5	0,49298
8	0,3333	0,5	0,5	0,757	0,1786	0,52236
9	0,75	1	0,5	0,6988	0,5	0,74318
10	0,65	0,56	0,5	0,6988	0,5	0,57651
Всого	3	5	4	2	1	15

Оскільки, основна задача ІС ППР в пакетному режимі роботи полягає в ранжуванні замовлень, відповідь видається у вигляді таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

### Ранжування пакету замовлень

Замовлення	з9	з1	з10	з4	з8	з2	з7	з5	з3	з6
оцінка	0,7432	0,598	0,5765	0,5645	0,5224	0,5054	0,493	0,4493	0,427	0,3757

З метою дослідження обраного підходу, в кваліфікаційній роботі бакалавра пропонується виконати порівняння отриманих результатів методом експертних оцінок в складі інтелектуальної системи з результатами, що отримані іншими методами експертного оцінювання, зокрема, методом нечітких відношень та методом аналізу ієрархій.

#### 2.4 Вибір найкращого замовлення методом ієрархії

Для вирішення поставленої задачі обраним методом, спочатку побудуємо ієрархію поставленої задачі, що зображена на рис. 2.7. Вона складається з трьох рівнів. На другому – критерії, за якими оцінюються замовлення, на останньому рівні знаходяться замовлення – альтернативи, котрі необхідно упорядкувати за пріоритетами.

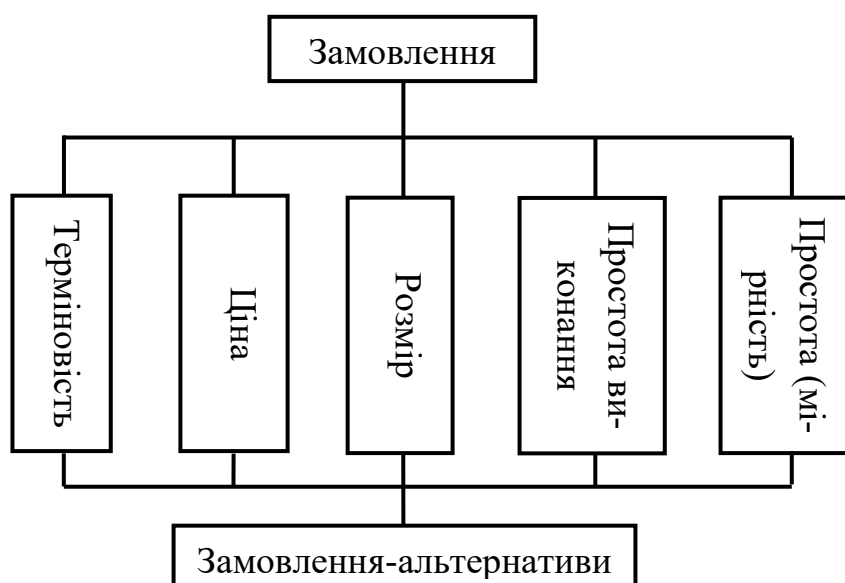


Рис. 2.7 - Ієрархія поставленої задачі

Після побудови ієрархії заповнюється матриця попарних порівнянь для критеріїв другого рівня:

Таблиця 2.12

### Порівняння критеріїв оцінювання замовлень

Замовлення	Терміновість	Ціна	Розмір	Зручність виконання	Простота (мірність)
Терміновість	1	1/4	1/2	1/3	4
Ціна	4	1	5	6	7
Розмір	2	1/5	1	1/2	4
Зручність виконання	3	1/6	2	1	2
Простота (мірність)	1/4	1/7	1/4	1/2	1
ІС	0,10842				
ОС	0,0968				

Для отримання результатів, що відповідають об'єктивній реальності, в методі аналізу ієрархій рекомендується перевіряти узгодженість заповнюваних матриць. Під узгодженістю матриці слід розуміти її чисельну узгодженість і транзитивність. На практиці досягти досконалої узгодженості доволі складно навіть за умови використання найточніших інструментів, а отже потрібен спосіб оцінки узгодженості. Результати перевірки – у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

### Пріоритети критеріїв оцінювання замовлень

Власний вектор	Вектор пріоритетів	Глоб. пріоритети
0,70	<b>0,10</b>	1,03
3,84	<b>0,55</b>	0,97
0,96	<b>0,14</b>	1,20
1,15	<b>0,16</b>	1,37
0,34	<b>0,05</b>	0,87
$\Sigma$	<b>1</b>	5,43

Таким чином,  $VU = 9,68\%$ , отже необхідна умова виконана, матриця є достатньо узгодженою. У випадку коли матриця неузгоджена, необхідно перевірити судження.

Після цього для кожної матриці за методикою описаною в розділі 1.4.2, розрахуємо локальні пріоритети і перевіримо їх узгодженість.

Вектор пріоритетів - нормалізований - головний власний вектор матриці. Такі вектори необхідно обчислити для кожної матриці.

У наступних таблицях (2.14 – 2.18) зведені експертні оцінки замовлень по кожному з включених у ієрархію критеріїв, оцінки їх індексів узгодженості та відношення узгодженості.

В таблиці 2.19 дано кінцеве рішення – ранжування розглянутих замовлень обраним методом.

Таблиця 2.14

## Розрахунки локальних пріоритетів за критерієм «Терміновість»

Терміновість	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310	Власне	Пріоритет	$A_i \cdot x_i$
31	1,00	9,00	9,00	5,00	7,00	6,00	2,00	9,00	0,33	3,00	3,54	0,21	1,19
32	0,11	1,00	1,00	0,20	0,25	0,20	0,14	1,00	0,11	0,17	0,28	0,02	0,80
33	0,11	1,00	1,00	0,20	0,25	0,20	0,14	1,00	0,11	0,17	0,28	0,02	0,80
34	0,20	5,00	5,00	1,00	4,00	2,00	0,20	5,00	0,14	0,25	1,04	0,06	1,44
35	0,14	4,00	4,00	0,25	1,00	0,33	0,14	4,00	0,11	0,17	0,54	0,03	1,21
36	0,17	5,00	5,00	0,50	3,00	1,00	0,17	5,00	0,13	0,20	0,82	0,05	1,40
37	0,50	7,00	7,00	5,00	7,00	6,00	1,00	7,00	0,25	2,00	2,66	0,16	1,34
38	0,11	1,00	1,00	0,20	0,25	0,20	0,14	1,00	0,11	0,17	0,28	0,02	0,80
39	3,00	9,00	9,00	7,00	9,00	8,00	4,00	9,00	1,00	5,00	5,42	0,32	0,80
310	0,33	6,00	6,00	4,00	6,00	5,00	0,50	6,00	0,20	1,00	1,97	0,12	1,42
Aj	5,68	48,00	48,00	23,35	37,75	28,93	8,44	48,00	2,50	12,12		1,00	11,19

IC	0,13274
OC	<b>0,08909</b>

Для даної матриці були обчислені необхідні вектори: вектор пріоритетів, нормалізований вектор, а також головний власний вектор матриці. Такі вектори необхідно обчислити для кожної матриці.

Таблиця 2.15

## Розрахунки локальних пріоритетів по критерію «Ціна»

Ціна	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310	Власне	Пріоритет	$A_i \cdot x_i$
31	1,00	0,17	0,14	0,20	0,17	0,20	0,20	1,00	0,25	0,33	0,28	0,02	0,85
32	6,00	1,00	0,33	3,00	1,00	3,00	1,00	6,00	3,00	5,00	2,09	0,15	1,12
33	7,00	3,00	1,00	4,00	3,00	4,00	4,00	7,00	5,00	7,00	3,98	0,28	0,86
34	5,00	0,33	0,25	1,00	0,33	1,00	0,50	5,00	2,00	5,00	1,13	0,08	1,22
35	6,00	1,00	0,33	3,00	1,00	3,00	1,00	6,00	3,00	5,00	2,09	0,15	1,12
36	5,00	0,33	0,25	1,00	0,33	1,00	0,50	5,00	2,00	5,00	1,13	0,08	1,22
37	5,00	1,00	0,25	2,00	1,00	2,00	1,00	5,00	3,00	6,00	1,84	0,13	1,17
38	1,00	0,17	0,14	0,20	0,17	0,20	0,20	1,00	0,25	0,33	0,28	0,02	0,85
39	4,00	0,33	0,20	0,50	0,33	0,50	0,33	4,00	1,00	5,00	0,83	0,06	1,16
310	3,00	0,20	0,14	0,20	0,20	0,20	0,17	3,00	0,20	1,00	0,38	0,03	1,08
Aj	43,00	7,53	3,05	15,10	7,53	15,10	8,90	43,00	19,70	39,67		1,00	10,66

IC	0,07285
OC	0,04889

Величина OC, що дорівнює 4,89% для даної матриці не перевищує 10% , а отже можна переходити до наступного критерію.

Таблиця 2.16

## Розрахунки локальних пріоритетів по критерію «Розмір»

Розмір	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310	Власне	Пріоритет	$A_i \cdot x_i$
31	1,00	5,00	8,00	1,00	9,00	1,00	6,00	5,00	1,00	5,00	2,97	0,19	0,97
32	0,20	1,00	6,00	0,20	8,00	0,20	3,00	1,00	0,20	1,00	0,86	0,06	1,33
33	0,13	0,17	1,00	0,13	3,00	0,13	5,00	0,17	0,13	0,17	0,33	0,02	1,12
34	1,00	5,00	8,00	1,00	9,00	1,00	6,00	5,00	1,00	5,00	2,97	0,19	0,97
35	0,11	0,13	0,33	0,11	1,00	0,11	0,20	0,13	0,11	0,13	0,17	0,01	0,76
36	1,00	5,00	8,00	1,00	9,00	1,00	6,00	5,00	1,00	5,00	2,97	0,19	0,97
37	0,17	0,33	0,20	0,17	5,00	0,17	1,00	0,33	0,17	0,33	0,35	0,02	0,90
38	0,20	1,00	6,00	0,20	8,00	0,20	3,00	1,00	0,20	1,00	0,86	0,06	1,33
39	1,00	5,00	8,00	1,00	9,00	1,00	6,00	5,00	1,00	5,00	2,97	0,19	0,97
310	0,20	1,00	6,00	0,20	8,00	0,20	3,00	1,00	0,20	1,00	0,86	0,06	1,33
$A_j$	5,00	23,63	51,53	5,00	69,00	5,00	39,20	23,63	5,00	23,63		1,00	10,65

ИС	0,07228
ОС	0,04851

Величина ОС, що дорівнює 4,85% для даної матриці не перевищує 10% , а отже можна переходити до наступного критерію.

Таблиця 2.17

## Розрахунки локальних пріоритетів по критерію «Зручність виконання»

Зручність виконання	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310	Власне	Пріоритет	$A_i \cdot x_i$
31	1,00	0,25	0,33	0,20	0,33	0,50	0,33	0,50	2,00	3,00	0,56	0,04	0,87
32	4,00	1,00	2,00	0,33	3,00	4,00	3,00	4,00	5,00	7,00	2,59	0,17	1,06
33	3,00	0,50	1,00	0,20	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	9,00	2,31	0,15	1,51
34	5,00	3,00	5,00	1,00	6,00	7,00	6,00	7,00	8,00	9,00	4,99	0,33	0,86
35	3,00	0,33	0,33	0,17	1,00	3,00	1,00	3,00	6,00	7,00	1,36	0,09	1,36
36	2,00	0,25	0,20	0,14	0,33	1,00	0,33	0,50	5,00	6,00	0,69	0,05	1,17
37	3,00	0,33	0,33	0,17	1,00	3,00	1,00	3,00	6,00	7,00	1,36	0,09	1,36
38	2,00	0,25	0,50	0,17	0,33	2,00	0,33	1,00	5,00	6,00	0,88	0,06	1,41
39	0,50	0,20	0,14	0,13	0,17	0,20	0,17	0,20	1,00	5,00	0,32	0,02	0,94
310	0,33	0,14	0,11	0,11	0,14	0,17	0,14	0,17	0,20	1,00	0,19	0,01	0,76
Aj	23,83	6,26	9,95	2,61	15,31	25,87	15,31	24,37	45,20	60,00		1,00	11,29

IC	0,14383
OC	0,09653

Величина OC, що дорівнює 9,65% для даної матриці не перевищує 10% , а отже можна переходити до наступного критерію.

Таблиця 2.18

## Розрахунки локальних пріоритетів за критерієм «Простота (мірність)»

Простота (мірність)	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310	Власне	Пріоритет	$A_i \cdot x_i$
31	1,00	2,00	2,00	1,00	0,20	0,13	0,20	1,00	0,13	0,20	0,47	0,03	1,08
32	0,50	1,00	0,25	0,50	0,17	0,11	0,17	0,50	0,11	0,17	0,27	0,02	0,83
33	0,50	4,00	1,00	0,50	3,00	0,25	3,00	0,50	0,25	3,00	0,98	0,06	1,06
34	1,00	2,00	2,00	1,00	0,20	0,13	0,20	1,00	0,13	0,20	0,47	0,03	1,08
35	5,00	6,00	0,33	5,00	1,00	0,20	1,00	5,00	0,20	1,00	1,26	0,08	1,39
36	8,00	9,00	4,00	8,00	5,00	1,00	5,00	8,00	1,00	5,00	4,33	0,29	0,95
37	5,00	6,00	0,33	5,00	1,00	0,20	1,00	5,00	0,17	1,00	1,24	0,08	1,45
38	1,00	2,00	2,00	1,00	0,20	0,13	0,20	1,00	0,13	0,20	0,47	0,03	1,08
39	8,00	9,00	4,00	8,00	5,00	1,00	6,00	8,00	1,00	5,00	4,41	0,29	0,96
310	5,00	6,00	0,33	5,00	1,00	0,20	1,00	5,00	0,20	1,00	1,26	0,08	1,39
A <sub>j</sub>	35,00	47,00	16,25	35,00	16,77	3,34	17,77	35,00	3,30	16,77		1,00	11,28
ИС	0,14199												
ОС	0,0953												

Величина ОС, що дорівнює 9,53% для даної матриці також не перевищує 10%.

Як свідчить розрахунок, по всіх критеріях розглянуті альтернативи співвіднесені вірно.

Отримавши значення глобальних пріоритетів замовлень, можемо скласти план підприємства щодо послідовності виконання замовлень, що наведений в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19

**Результати ранжування альтернатив за обраними критеріями**

Критерії	Глоб. пріор.	Локальний пріоритет альтернативи за критерієм									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	310
Терміновість	0,10	0,21	0,02	0,02	0,06	0,03	0,05	0,16	0,02	0,32	0,12
Ціна	0,55	0,02	0,15	0,28	0,08	0,15	0,08	0,13	0,02	0,06	0,03
Розмір	0,14	0,19	0,06	0,02	0,19	0,01	0,19	0,02	0,06	0,19	0,06
Зручність виконання	0,16	0,04	0,17	0,15	0,33	0,09	0,05	0,09	0,06	0,02	0,01
Простота (мірність)	0,05	0,03	0,02	0,06	0,03	0,08	0,29	0,08	0,03	0,29	0,08
Зведена оцінка		0,12025	0,06591	0,09708	0,04053	0,03122	0,1087	0,13246	0,10548	0,18858	0,1098
Місце (ранг) замовлення		3	8	7	9	10	5	2	6	1	4

## 2.5 Вибір найкращого замовлення методом нечітких відношень

На початку експертом будуються п'ять матриць відношень переваги та визначаються відносні пріоритети критеріїв, за якими проводилось попарне порівняння. Критеріям були виставлені абсолютні оцінки за 10-бальною шкалою, які потім були переведені у відносні ваги критеріїв.

Для розрахунку ефективності виконання замовлень була застосована схема, описана в розділі 1.4.1. Ваги критеріїв наведені у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20

### Пріоритети критеріїв

Замовлення	Оцінка пріоритету	Пріоритети
Терміновість	6	0,1714
Ціна	10	0,2857
Розмір	8	0,2286
Зручність виконання	5	0,1429
Простота (мірність)	4	0,1143
СУМА	35	1

Сума всіх пріоритетів дорівнює 1, що відповідає вимогам даного методу. Далі будуюмо матриці відношень за всіма критеріями, результати обчислень наведені нижче в таблицях.

Таблиця 2.21

### Матриці відношень за критеріями «Терміновість»

Терміновість	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310
31	1	0,85	0,852	0,433	0,723	0,541	0,1667	0,861	0	0,317
32	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
33	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
34	0	0,4133	0,4133	1	0,2974	0,121	0	0,4133	0	0
35	0	0,1665	0,1665	0	1	0	0	0,1665	0	0
36	0	0,3122	0,3122	0	0,4492	1	0	0,3122	0	0
37	0	0,7461	0,7461	0,3258	0,5971	0,4251	1	0,7461	0	0,113
38	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
39	0,254	0,9266	0,9266	0,5774	0,8443	0,6774	0,251	0,8972	1	0,3541
310	0	0,6371	0,6371	0,2661	0,4987	0,321	0	0,6428	0	1



Таблиця 2.25

## Матриці відношень за критеріями «Простота»

Простота	31	32	33	34	35	36	37	38	39	310
31	1	0,1786	0,086	1	0,3792	0	0,3792	1	0	0,3792
32	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0,17	1	0	0	0	0	0	0	0
34	1	0,1786	0,086	1	0,3792	0	0,3792	1	0	0,3792
35	0	0,5	0,3392	0,3792	1	0	1	0,3792	0	1
36	0,8314	0,962	0,8241	0,8314	0,5	1	0,5	0,8314	1	0,5
37	0	0,5	0,3392	0,3792	1	0	1	0,3792	0	1
38	1	0,1786	0,086	1	0	0	0,3792	1	0	0
39	0,8314	0,962	0,8241	0,8314	0,5	1	0,5	0,8314	1	0,5
310	0	0,5	0,3392	0,3792	1	0	1	0,3792	0	1

Виконується безпосередньо алгоритм прийняття рішення на основі відношень переваги. За допомогою формул (1.1), (1.2), (1.4) та (1.5) вибудовується нечітке відношення  $Q1$  та  $Q2$ , а також будується відношення строгої переваги  $Q1$  та  $Q2$ , результати обчислення наведені нижче у таблиці 2.28.

Таблиця 2.26

Нечітка підмножина недомінуючих альтернатив ( $x, \mu Q1$ )

Підмножина недомінуючих альтернатив на $Q1$									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	310
1	1	1	1	1	1	1	0,8004	1	0,8056

Таблиця 2.27

Нечітка підмножина недомінуючих альтернатив ( $x, \mu Q2$ )

Підмножина недомінуючих альтернатив на $Q2$									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	310
0,7151	0,6663	0,5997	0,8835	0,5853	0,9021	0,8099	0,4777	1	0,6608

Таблиця 2.28

Переріз множин  $\mu Q1_{н.д}$  та  $\mu Q2_{н.д}$ .

Множина недомінуючих альтернатив									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	310
0,7151	0,6663	0,5997	0,8835	0,5853	0,9021	0,8099	0,4777	1	0,6608

Альтернативи упорядковуються за спаданням значень функції належності їх до множини недомінуючих альтернатив зображено в таблиці 2.29.

Таблиця 2.29

### Результат ранжування альтернатив

Замовлення	39	36	34	37	31	32	310	33	35	38
Належність	1	0,9021	0,8835	0,8099	0,7151	0,6663	0,6608	0,5997	0,5853	0,4777

## 2.6 Аналіз результатів

Після вирішення задачі трьома методами отримано оптимальні плани виконання замовлень, що різняться між собою наступним чином (таблиця 2.30)

Таблиця 2.30

### Зведення результатів розрахунків

№ Замовлення	Глобальний пріоритет по МАІ	№ Замовлення	Належність за нечіткими відношеннями	№ Замовлення	Пріоритети отримані через ІС
39	0,18858	39	1	39	0,7432
37	0,13246	36	0,9021	31	0,598
31	0,12025	34	0,8835	310	0,5765
310	0,1098	37	0,8099	34	0,5645
36	0,1087	31	0,7151	38	0,5224
38	0,10548	32	0,6663	32	0,5054
33	0,09708	310	0,6608	37	0,493
32	0,06591	33	0,5997	35	0,4493
34	0,04053	35	0,5853	33	0,427
35	0,03122	38	0,4777	36	0,3757

Всі методи однозначно визначають найкращу альтернативу - замовлення № 9. Але порядок усіх інших альтернатив може істотно відрізняється. Це можна пов'язати з певними чинниками.

По-перше, заповнюваність матриць за допомогою парних порівнянь. В методі аналізу ієрархій можна простежити більшу достовірність, оскільки у матрицях відображається не тільки ступень переваги альтернативи  $x$  над альтернативою  $y$ , але і зворотні величини – у скільки відносних разів альтернатива  $y$  гі-

рша за альтернативу  $x$ , тоді як у методі на основі нечітких відношень надається інформація лише про перевагу  $x$  над  $y$ , зворотній результат має оцінку 0.

По-друге, визначення пріоритетів критеріїв. У МАІ відносна вага критеріїв розраховується також із матриці попарних порівнянь, це дає змогу зменшити суб'єктивність думки експерта, який проводить аналіз ( на відміну від роботи інтелектуальної системи), а також перевірити необхідність перегляду власних оцінок при отриманні незадовільного показника узгодженості. У методі на основі нечітких відношень пріоритети критеріїв повністю залежать від думки експерта, що може негативно вплинути на результат прийняття рішення через наявність людського чинника.

По-третє, обрані критерії для аналізу інтелектуальної системи також сто відсотково не враховують всіх вимог до виготовлення замовлення. До того ж апріорна інформація аналізується тільки з точки зору експерта, що може мати хибні уявлення про те на скільки важливіший один аспект виробництва над іншим.

Але не зважаючи на це всі методи забезпечують достатній рівень достовірності, і при вирішенні задач в умовах багатокритеріальності, орган, що приймає рішення, може скористуватися будь яким із них, зумовлюючи свій вибір зручністю та легкістю розрахунків, надійністю або іншими суб'єктивними чинниками.

## ВИСНОВКИ

Об'єктом дослідження в роботі є процес виробництва безшовних труб трубопрокатного цеху №3 в умовах Відкритого акціонерного товариства “Інтерпайп-НТЗ”.

Предметом дослідження – система підтримки та прийняття рішень, яка має застосовуватись в процесі обробки замовлень, впорядковуючи їх за відповідністю критеріям виробництва.

Ціль роботи бакалавра полягає в розробці автоматизованої системи обробки замовлень трубної продукції на основі нечітких критеріїв з використанням відомих методів прийняття рішень в умовах невизначеності.

В результаті аналізу обраного підприємства, для досягнення поставлених цілей були сформовані та вирішені наступні задачі:

- аналіз загального стану ВАТ “Інтерпайп-НТЗ” як об'єкта господарювання й визначення проблемної області;
- визначення критеріїв оцінки замовлень, що надходять на підприємство;
- ранжування потоку вхідних замовлень за відповідністю сформульованим критеріям привабливості;
- порівняння використаних методів та прийняття рішення про застосування їх в складі системи підтримки прийняття рішень;
- виявлення можливих шляхів подальшого розвитку запропонованої системи.

Проаналізувавши процес прийняття замовлень, можна зробити висновок, що головним аспектом для заводу-виробника являється ціна. Але для утримання високого рівня конкурентоспроможності важливим є також врахування і виконання всіх вимог клієнта. Для того, щоб забезпечити найбільш оптимальний план виробництва, виключивши з процесу довготривалі пере налаштування та простої обладнання, біла розроблена інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

Одним з основних особливостей даної системи являється її здатність обробляти замовлення за реальний проміжок часу. Також можливість змінювати пріоритети важливості критеріїв дає змогу підлаштовувати систему під кожне замовлення індивідуально.

Для перевірки правильності роботи обраного підходу результати роботи системи було порівняно з результатами, отриманими іншими двома методами розв'язання проблеми. Зіставляючи результати бачимо, що вихідні дані всіх трьох методів вирішення проблеми дуже схожі. Отже, можемо зробити висновок, що розроблена інтелектуальна СППР в повній мірі задовольняє первинну поставлену ціль бакалаврської роботи. Вона дозволяє не тільки виконувати обробку та ранжування вхідних замовлень, а й здатна певною мірою знизити собівартість готової продукції за рахунок уникнення простоїв та зайвого переналаштування.

Система обробки замовлень здійснюється на листках книги Microsoft Excel, що дозволяє користувачеві-непрограмістові з легкістю користуватись не тільки результатами даної роботи, але й корегувати модуль обробки апріорної інформації до конкретного виду замовлення.

Практична цінність даної роботи полягає в створенні системи підтримки та прийняття рішень процесу обробки замовлень, яка дозволяє обирати порядок виконання замовлень, або взагалі їх відхилення з урахуванням вигоди індивідуально кожного замовлення для підприємства.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Філоненко, К. Г., & Вислоух, С. П. (2018). Підвищення ефективності виробничих процесів засобами імітаційного моделювання. У *XIV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів – ефективність інженерних рішень у приладобудуванні* (с. 148–151). Київ: КПІ. [ela.kpi.ua+1ela.kpi.ua+1](#)
2. Wikipedia contributors. (2025, травень). Metal casting simulation. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Отримано [05.05.2025], з [https://en.wikipedia.org/wiki/Metal\\_casting\\_simulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Metal_casting_simulation) [en.wikipedia.org](#)
3. Доній, О. М., Кулініч, А. А., & Котляр, С. М. (2016). *Моделювання та оптимізація технологічних систем* [Електронні метод. вказівки]. Київ: НТУУ «КПІ». 71 с. [ela.kpi.ua+1ela.kpi.ua+1](#)
4. Ковалевський, С. В. (2024). Оптимізація технологічних систем на основі потокового моделювання. *НТКП ВНТУ. Факультет машинобудування та транспорту*. [inns.com.ua+1ir.lib.vntu.edu.ua+11ela.kpi.ua+11](#)
5. Філоненко, К. Г., & Вислоух, С. П. (2018). Підвищення ефективності виробничих процесів засобами імітаційного моделювання. У *XIV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів – ефективність інженерних рішень у приладобудуванні* (с. 148–151). Київ: КПІ. [ela.kpi.ua+1ela.kpi.ua+1](#)
6. Білонога, Ю. Л., & Білонога, Д. М. (2003). Моделювання та оптимізація виробничих процесів. *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*, (480), 3–6. [ena.lpnu.ua](#)
7. Navarra, A., Grammatikopoulos, T., & Waters, K. (2017). Incorporation of geometallurgical modelling into long-term production planning. *arXiv preprint arXiv:1704.06533*. [arxiv.org](#)
8. Ghahramani, M., Qiao, Y., Zhou, M. Z., O'Hagan, A., & Sweeney, J. (2020). AI-based modeling and data-driven evaluation for smart manufacturing processes. *arXiv preprint arXiv:2008.12987*. [arxiv.org](#)

9. Zhu, Q., Liu, Z., & Yan, J. (2020). Machine learning for metal additive manufacturing: Predicting temperature and melt pool fluid dynamics using physics-informed neural networks. *arXiv preprint arXiv:2008.13547*. [arxiv.org](https://arxiv.org)

10. Ус, С. А., & Коряшкіна, Л. С. (2018). Моделі й методи прийняття рішень.

11. Кваліфікаційна робота бакалавра [Електронний ресурс] : методичні рекомендації для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз / уклад.: Т. А. Желдак, Т. В. Хом'як, А. В. Малієнко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 32 с. url: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170863>

Латишева, О. В. (2024). Інструментарій моделювання бізнес-процесів для проєктів підвищення операційної ефективності на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України. *Матеріали XV Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні підходи до креативного управління економічними процесами»*, 109–111. [ena.lpnu.ua/en.nau.edu.ua](http://ena.lpnu.ua/en.nau.edu.ua)

13. Марки сталі [Електронний ресурс]: перелік марок сталі, що використовуються для виготовлення продукції на «НТЗ-Інтерпайп». Доступ на (05.05.2025) URL: <https://www.interpipesteel.biz/klientam/sortament>

14. Velli, M. C., Tsibidis, G. D., Mimidis, A., Skoulas, E., Pantazis, Y., & Stratakis, E. (2020). Predictive modeling approaches in laser-based material processing. *arXiv preprint arXiv:2006.07686*. [arxiv.org](https://arxiv.org)

15. Желдак, Т. А., Коряшкіна, Л. С., & Ус, С. А. (2020). Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень.

Коряшкіна, Л., Малієнко, А., Станіна, О., Шевченко, Ю., Кодола, Я. (2025). Системний аналіз та оптимальний вибір комплексу заходів для підвищення безпеки на підприємстві. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 72–80, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-2-7>



## ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу бакалавра  
студента групи 124-22ск-1  
спеціальності 124 Системний аналіз  
Захарчука Станіслава Миколайовича

Тема роботи: «Системний аналіз процесу гарячої прокатки безшовних труб з оптимізацією системи обробки замовлень»

Існуючий стан металургійних підприємств свідчить про вкрай низький рівень систем їх автоматизації, систем збору та обробки інформації. Актуальною бачиться програма всебічного проникнення інформаційного підходу як у виробничу сферу, так і у сферу обслуговування виробництва, зокрема, у частині приймання й обробки замовлень.

В даній кваліфікаційній роботі розроблено систему підтримки прийняття рішень, яка, аналізуючи замовлення, що надходить, оцінює його за сформульованими критеріями і приймає рішення про включення замовлення до плану робіт чи відхилення.

Крім того, розроблена система дозволяє виконувати пакетну обробку замовлень, ранжувати їх за критеріями користувача чи об'єктивними критеріями важливості для підприємства.

Результатом роботи програми є виробничий план, де замовлення впорядковуються за маркою сталі, діаметром труби, товщиною стінки. Пріоритети мають замовлення з більшою ціною труби та ті, що мають більший розмір. Водночас критерії “терміновість” та “мірність” можуть дуже негативно впливати на ефективність обробки замовлень.

Головний результат роботи – зниження собівартості готової продукції за рахунок зменшення переналаштувань прокатного стану й допоміжних механізмів під час обробки великої номенклатури замовлень.

Обрані об'єкт, предмет та методи дослідження відповідають спеціальності 124 Системний аналіз.

**Зауваження:** перший розділ перевантажений описом металургійних процесів і термінологією, які надалі не використовуються і обтяжують загальне сприйняття результатів дослідження.

Представлена робота заслуговує оцінки «відмінно (90 балів)», а її автор – присвоєння кваліфікації «бакалавр» з системного аналізу.

Науковий керівник

Проф. каф. САУ, д.т.н.

В.В. Слесарєв