

УДК 629.128:67.02:651.011.42
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.4\(493\).20](https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).20)

CONCEPTUAL BASIS OF CREATING A FUNCTIONAL MODEL OF A COMPLEX OF HULL TYPES PRODUCTION OF THE SHIPBUILDING YARD

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ КОМПЛЕКСУ КОРПУСНИХ ВИДІВ ВИРОБНИЦТВА СУДНОБУДІВНОЇ ВЕРФІ

Ivan V. Simutienkov
simutenkovivan@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2896-2637
Stanislav V. Dragan
stanyslav.dragan@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0001-8634-782X

І. В. Сімутєнков,
канд. техн. наук, докторант
С. В. Драган,
канд. техн. наук, професор

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The paper presents the results of research on technology and production organization in the main workshops of the hull group at the LLC "Ocean Shipyard" during 2020–2021. The features of the research objects are the presence at the enterprise of powerful, unique for modern Ukraine, technological and lifting and transport equipment, which allows the production of more than 20 thousand tons of metal structures per year. The average monthly productivity of the enterprise at the time of research was 1.5 thousand tons of metal structures.

Effective management of a shipbuilding yard is impossible without the use of automation systems. The developed model of the complex of hull types of production of a shipbuilding yard for the manufacture of sections of a wide range and purpose allows to quickly forecast the indicators of a new order based on only one general parameter – the contract weight of the metal structure, already known at the stage of signing the contract. The model is based on a set of empirical dependencies of quantitative technological indicators for constructions of various types on the contract weight of previously executed orders, a calculation base obtained from actual data, which allows to determine the labor intensity of each of the technological operations of a production complex, an experimentally determined relative distribution of the number of sections in orders, a solver for base of the table processor. The development of a functional model is the first stage of creating an improved decision support system for shipyard management and can be used as a component of the future interactive information model of a shipbuilding enterprise (digital shipyard). The use of the "digital shipyard" as the basis of the decision-making system by the management of "Ocean Shipyard" is one of the strategic directions of the company's long-term development program.

Purpose is to develop a functional model of the shipyard's hull processing, assembly-welding, and insulation-masonry production complex as the basis of the decision-making system.

Method is statistical data analysis, computer modeling of objects and processes.

Results – a functional model of the production complex of the shipbuilding enterprise was developed for the production of sections of a wide range (beams, flat, semi-volumetric and volumetric sections) and purpose (construction, shipbuilding, hydrotechnical).

Scientific novelty – it was determined that structures of different purposes but of the same structural and technological type have close specific technological indicators, and accordingly can be approximated by single mathematical dependencies.

Practical importance – possible areas of application of the model, starting with the design of the process (technology) of manufacturing the object and operational management of production (implementation of a portfolio of orders) and ending with strategic planning of production.

Key words: functional model; hull-preparation; assembly-welding and insulation-painting production; shipyard; labor intensity; decision-making system.

Анотація. В роботі наведені результати досліджень технології та організації виробництва в основних цехах корпусної групи на підприємстві ТОВ «Суднобудівний завод Океан» (СЗ «Океан») протягом 2020–2021 років. Особливостями об'єктів дослідження є наявність на підприємстві потужного, унікального для сучасної України

ни, технологічного та підйомно-транспортного обладнання, яке дозволяє виготовляти більш ніж 20 тис. т металоконструкцій на рік. Середньомісячна продуктивність підприємства під час виконання досліджень складала 1,5 тис. т металоконструкцій.

Ефективне управління суднобудівним підприємством неможливо без використання систем автоматизації. Розроблена модель комплексу корпусних видів виробництв суднобудівного підприємства по виготовленню секцій широкої номенклатури та призначення дозволяє оперативно прогнозувати показники нового замовлення виходячи лише з одного загального параметра – контрактної маси металоконструкції, вже відомої на етапі підписання контракту. Модель базується на сукупності емпіричних залежностей кількісних технологічних показників для конструкцій різних типів від контрактної маси раніше виконаних замовлень, розрахункової бази отриманої за фактичними даними, що дозволяє визначити трудомісткість виконання кожної з технологічних операцій комплексу виробництв, експериментально визначеного відносного розподілу кількості секцій у замовленнях, вирішувача на базі табличного процесора. Розробка функціональної моделі є першим етапом створення удосконаленої системи підтримки прийняття рішень менеджментом верфі та може бути використана як складова частина майбутньої інтерактивної інформаційної моделі суднобудівного підприємства (цифрової верфі). Використання «цифрової верфі» як основи системи прийняття рішень менеджментом «СЗ «Океан» є одним з стратегічних напрямків програми перспективного розвитку підприємства.

Мета – розробка функціональної моделі комплексу корпусообробного, складально-зварювального та ізоляційно-маларного виробництва верфі як основи системи прийняття рішень.

Методика – статистичний аналіз даних, комп'ютерне моделювання об'єктів виробництва та процесів.

Результати – розроблена функціональна модель комплексу виробництв суднобудівної верфі з виготовлення широкої номенклатури корпусних секцій, що відрізняються як конструкцією, так і призначенням. Функціональна модель передбачає використання кількісних технологічних показників по кожному виду виробництва на підставі аналізу конструкції, що виготовляється, операцій відповідних технологічних процесів та можливостей обладнання, яке при цьому використовується на підприємстві.

Наукова новизна – визначено, що зварні секції різного призначення, але однакового конструктивно-технологічного типу, мають близькі питомі технологічні показники і, відповідно, можуть бути апроксимовані єдиними математичними залежностями.

Практична значимість – можливість використання розробленої функціональної моделі, починаючи з проєктування технології виготовлення об'єкту та оперативного управління процесом реалізації портфеля замовлень і завершуючи стратегічним плануванням виробництва.

Ключові слова: функціональна модель; корпусно-заготівельне; складально-зварювальне; ізоляційно-маларне виробництво; верф; трудомісткість; система прийняття рішень.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Організація суднобудівного підприємства досить складна, однак тем не менш вона потребує чіткого управління та координації. На верфі у тому чи іншому співвідношенні присутні усі основні види діяльності: проєктний і технологічний інжиніринг, оперативне управління інформаційними, матеріальними потоками і людськими ресурсами та стратегічне планування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Ефективне управління будівництва судна неможливо без використання систем автоматизації на різних рівнях [1, с. 56]. Відомо про приклади успішного впровадження інтегрованих рішень щодо комплексної автоматизації діяльності суднобудівних верфей різного масштабу, однак будь-яке інтегроване рішення потребує тривалої адаптації під конкретне підприємство [2]. Не менш важливим також є необхідність перенавчання та навіть деякої зміни ментальності колективу, якому доведеться використовувати відповідну систему [3, с. 394]. Вказані обставини

обумовлюють високу вартість впровадження розроблених інтегрованих рішень у виробництво.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

На початковому етапі, ще до визначення необхідності впровадження інтегрованих рішень, доцільно мати модель, яка б увібрала у себе наявну статистичну інформацію та формалізовані дані щодо можливостей виробництва. Основою верфі є корпусно-заготівельне (корпусообробне), складально-зварювальне та ізоляційно-маларне виробництва, тому розробку моделі слід розпочинати з них.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка функціональної моделі комплексу корпусообробного, складально-зварювального та ізоляційно-маларного виробництва верфі як основи системи прийняття рішень.

Досягати вказану мету планується шляхом створення та поєднання у єдиній моделі наступних компонентів:

– сукупності емпіричних (апроксимаційних) залежностей кількісних технологічних показників

(площа прокату, кількість деталей, маса листів, довжина різів і т. ін.) для конструкцій різних типів від контрактної маси раніше виконаних замовлень. Ця сукупність дозволяє прогнозувати відповідні показники нового замовлення виходячи тільки з контрактної маси, відомої вже на початкових етапах;

– розрахункової бази, сформованої за наявними типовими укрупненими нормативами та отриманими за фактичними даними, що дозволяє визначити трудомісткість виконання кожної з технологічних операцій комплексу виробництва з виготовлення секцій з урахуванням прогнозованих кількісних показників та фактичних можливостей виробництва (кількість та продуктивність дільниць, працюючих незалежно);

– експериментально визначеного відносного розподілу кількості секцій у замовленнях за стандартним рядом вантажопідйомності мостових кранів;

– вирішувача на базі табличного процесора (електронних таблиць), розрахункове поле якого скомпоноване геометрично подібно до технологічних потоків реального виробництва.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі використані методи статистичного аналізу даних, комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів їх виготовлення у суднобудуванні.

Об'єктом дослідження є виробничі процеси виготовлення зварних металоконструкцій на прикладі суднобудівного заводу «Океан».

Предмет дослідження – процеси виготовлення металоконструкцій у корпусно-заготівельному, складально-зварювальному та ізоляційно-мулярному виробництвах суднобудівного підприємства.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Розробки, наведені у даній роботі містять результати досліджень, виконаних на підприємстві ТОВ «Суднобудівний завод Океан» (СЗ «Океан») [4] з 2020 по 2021 роки. СЗ «Океан» спеціалізується на виготовленні важких зварних металоконструкцій, переважно з листового сталевих прокату товщиною 5–200 мм (рис. 1).

Особливостями підприємства є наявність потужного, унікального для сучасної України, технологічного та підйомно-транспортного обладнання, яке дозволяє виготовляти більш ніж 20 тис. т металоконструкцій на рік.

Середньомісячна продуктивність підприємства під час виконання досліджень складала 1,5 тис. т металоконструкцій.

У дослідженні аналізу підлягали металоконструкції (секції) масою 2–45 т різного призначення, до яких входять секції мостів, компактні балочні конструкції, площинні секції з набором у двох напрямках, напівоб'ємні та об'ємні секції, у тому числі і суднові, та головного затвору сухого доку. Усі

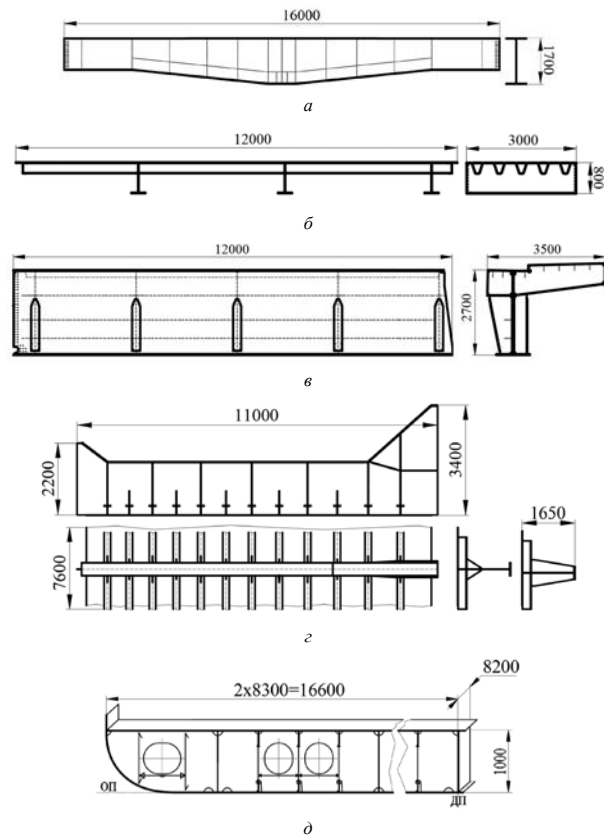


Рис. 1. Характерні приклади металоконструкцій, які виготовляються на СЗ «Океан»: а – балочного типу, товщина (s) полиць та стінок 12–32 мм; б – площинні секції з поєднованими ребрами жорсткості у вигляді штаб та/або гнутого коробчастого профілю та поперечними флорами таврового перерізу, s = 8–40 мм; в – напівоб'ємні секції мостів, s = 12–40 мм; з – напівоб'ємні секції гідротехнічних споруд, s = 8–80 мм; д – об'ємні суднові секції (днищові, бортові), s = 8–24 мм.

металоконструкції були розподілені за замовленнями, кожне з яких містило від 30 до 150 металоконструкцій різної маси (32 замовлення масою від 40 до 1400 т). Загальна маса вибраних виробів становила близько 30 тис. т., загальна кількість близько 1,5 тис. шт.

Аналіз результатів ранжирування металоконструкцій (рис. 2) показав, що найбільш чисельними (близько 85%) є секції масою менше 20 т. Такі секції можна транспортувати з використанням автомобільного транспорту звичайної вантажопідйомності (до 24 тон). Важкі секції, питома частка яких не перевищує 15%, потребують використання спецтранспорту.

У теперішній час транспортні операції в цехах корпусної групи СЗ «Океан» виконуються за допомогою кранового обладнання вантажопідйомністю 3,2–100 т, рольгангів, тракторів, рейкових візків та високоманевровими транспортерами на пневмоколесному шасі максимальною вантажопідйомністю 320 т з можливістю самостійного завантаження/розвантаження за рахунок зміни кліренсу.

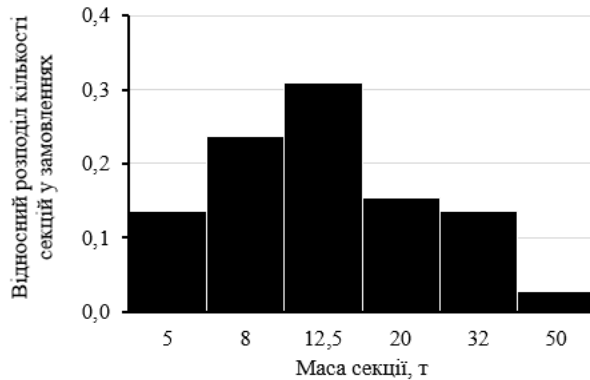


Рис. 2. Відносний розподіл кількості секцій у замовленнях за стандартним рядом вантажопідйомності мостових кранів

Виготовлення вказаних вище секцій на СЗ «Океан» передбачає виконання наступних технологічних операцій з використанням відповідного устаткування:

- виправлення, очищення, ґрунтування листового та штабового прокату на автоматичній потоковій лінії фірми «Фогель та Шеманн»;
- термічне різання листового прокату машинами з ЧПК: (плазмове при товщині листів 5–80 мм, газотермічне – при товщині 12–200 мм);

- ручне маркування;
- газотермічне різання крайок (фаски, ласки) за допомогою переносних машин;
- комплектування за допомогою кранового обладнання;
- складання-зварювання вузлів з використанням механізованого обладнання;
- складання-зварювання секцій на потоковій лінії ESAB-HEBE та окремих стендах з використанням автоматичного та механізованого зварювання. При цьому не менше 70% з'єднань виконується автоматами під флюсом;
- очищення, знепилювання, знежирення та фарбування;
- відвантаження замовнику.

За потреби, час від часу, виконуються також наступні операції:

- механізоване гнуття на пресах та вальцях. Наявні на підприємстві потужні вальці дозволяють виконувати гнуття та вальцювання листів шириною до 16 м та товщиною до 50 мм (при зменшенні ширини листа, що вальцюється, товщина може бути збільшена);
- свердління та інші види механічної обробки (різання, розробка крайок і т. ін.) на механізованому та автоматизованому обладнанні;

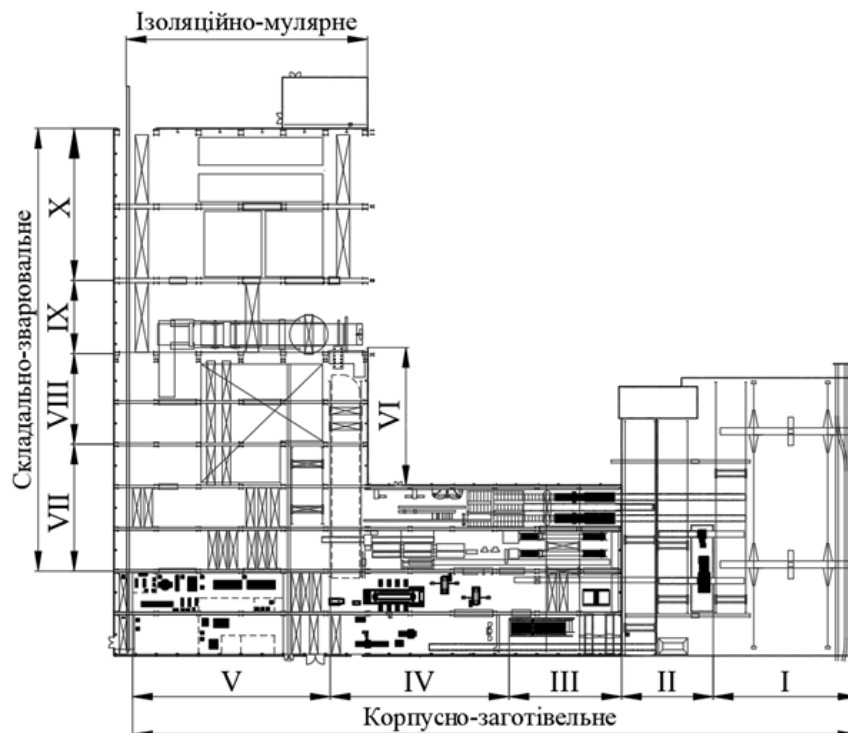


Рис. 3. Компонувальна схема розташування корпусних видів виробництва суднобудівної верфі: I – склад сталі, II – дільниця виправлення листового прокату, III – дільниця очищення і ґрунтування та термічного різання і маркування, IV – дільниця гнуття, V – дільниця механічної обробки, VI – дільниця комплектування, VII – дільниця виготовлення вузлів, VIII – дільниця виготовлення секцій, IX – лінія виготовлення плоских секцій, X – дільниця виготовлення об'ємних секцій та блоків з подальшим очищенням та фарбуванням.

– ручне розмічування, маркування, газотермічне різання деталей з профільного та фігурного прокату.

На всіх етапах технологічного циклу проводиться контроль якості.

Компонувальна схема розташування основних видів виробництва СЗ «Океан», з позначенням ділянок виконання відповідних технологічних операцій по виготовленню секцій, наведена на рис. 3.

Розроблювана функціональна модель комплексу корпусних видів виробництва суднобудівної верфі передбачає використання кількісних технологічних показників по кожному виду виробництва на підставі аналізу конструкції, що виготовляється, операцій відповідних технологічних процесів та можливостей обладнання, яке при цьому використовується на підприємстві.

Сукупність показників призначали орієнтуючись на стандартні показники, які використовують для

визначення трудомісткості виконання виробничих операцій.

Усі отримані при обробці проєктної документації значення технологічних показників для конструкцій різних типів апроксимували функціями в залежності від маси замовлення, вказаної у контракті. Це дає змогу прогнозувати відповідні показники нового замовлення виходячи лише з одного параметра – контрактної маси, яка вже відома на початкових етапах розробки моделі, а проєктна та технологічна документація ще відсутня.

Кількісні показники досліджуваних конструкцій у зв'язку з аналогічними конструктивно-технологічними та геометричними параметрами, а також за рахунок ідентичності обладнання, персоналу, та ступеня механізації є актуальними для суднобудування. Створення функціональної моделі комплексу корпусних видів виробництва суднобудівної верфі виконували враховуючи наведені технологічні операції.

Таблиця 1. Апроксимаційні залежності показників секцій за корпусообробним, складально-зварювальним та ізоляційно-мулярним виробництвами

№	Виробнича операція, кількісний показник		Одиниці виміру показника	Апроксимаційна залежність	Коефіцієнт детермінації R^2
Корпусообробне виробництво					
1	Правління, очищення, ґрунтування	Маса листового прокату ($G_{\text{л}}$)	т	$0,92G_{\text{к}} - 14,6$	0,96
2		Площа листового прокату ($S_{\text{л}}$)	м ²	$21,7G_{\text{л}}^{0,955}$	0,97
3		Кількість листів прокату ($N_{\text{л}}$)	шт	$2G_{\text{к}}^{0,7079}$	0,92
4		Маса профільного прокату ($G_{\text{п}}$)	т	$0,086G_{\text{к}} + 83$	0,94
5	Плазмове різання та маркування, комплектування	Сумарна довжина різу та холостого ходу ($L_{\text{пл}}$) ¹⁾	м	$0,021G_{\text{л}}^2 + 8,65G_{\text{л}} + 2295$	0,92
6		Кількість листів ($N_{\text{л пл}}$)	шт	$1,27G_{\text{л}}^{0,7755}$	0,94
7		Кількість деталей ($N_{\text{д пл}}$)	шт	$0,001G_{\text{л}}^2 + 1,072G_{\text{л}} + 849$	0,92
8		Довжина зачищення крайок після різання ($L_{\text{з пл}}$)	м	$0,021G_{\text{л}}^2 + 8,65G_{\text{л}} + 2295$	0,92
9		Кількість деталей масою понад 30 кг ²⁾	шт	$0,001G_{\text{л}}^2 + 0,48G_{\text{л}} + 495$	0,91
10	Газотермічне різання та маркування	Сумарна довжина різу та холостого ходу ($L_{\text{г}}$) ¹⁾	м	$0,197G_{\text{л}}^{1,2609}$	0,92
11		Кількість листів ($N_{\text{л г}}$)	шт	$0,05G_{\text{л}}^{0,8713}$	0,96
12		Кількість деталей ($N_{\text{д г}}$)	шт	$0,14G_{\text{л}} - 4,5$	0,92
13		Довжина зачищення крайок після різання ($L_{\text{з г}}$)	м	$0,197G_{\text{л}}^{1,2609}$	0,92
14		Кількість деталей масою понад 30 кг ²⁾	шт	$0,125G_{\text{л}}$	0,92
Складально-зварювальне виробництво					
15	Маса секції ($G_{\text{с}}$) у залежності від кубічного модуля секції $V_{\text{т}}$ розмірами $L \times B \times H$		т	$0,18V_{\text{т}} + 2,1$	0,92
16	Відносний розподіл секцій у замовленнях		%	див. рис. 1	-
17	Довжина зварних швів у секції ($L_{\text{зв}}$)		м	$29,5G_{\text{с}} - 38,9$	0,91
Ізоляційно-мулярне виробництво					
18	Площа секції ($S_{\text{ф}}$)		м ²	$14,2G_{\text{с}} + 9,1$	0,93

¹⁾ Для економії швидкозношуваних та витратних частин машин з ЧПК різання усіх деталей виконується за один різ з мінімальною кількістю пробивок та холостих переходів.

²⁾ Кількість деталей масою менше 30 кг не перевищувала 1% від їх загальної кількості.

Функціональна модель передбачає використання сукупності розрахункових показників для аналізу конструктивно-технологічних характеристик зварних металоконструкцій у замовленні та технічних можливостей підприємства-виконавця при формуванні контрактної ціни та на наступних етапах. Обґрунтування об'єктивності показників та автоматизація їх визначення є актуальним завданням для суднобудування.

Показники, вибрані для оцінки металоконструкцій за видами корпусних виробництв, наведені в табл. 1, фактичні можливості корпусообробного виробництва – в табл. 2 і табл. 3.

Технологічні показники секцій призначали з оглядом на стандартні, які використовують для визначення трудомісткості виконання виробничих операцій згідно з типовими укрупненими нормативами,

Таблиця 2. Фактичні можливості корпусообробного виробництва

Операція		Найменування обладнання	Кількість одиниць обладнання що працює незалежно	Продуктивність виконання операції ¹⁾ згідно		Допустимий діапазон товщини прокату, мм
				типовим нормативам, год	паспорту обладнання, м/хв	
Виправлення	листового прокату ²⁾	Листопрямильна машина UBR 32×3200	1	$0,19N_d$	12	8 – 38
		Листопрямильна машина UBR 50×4500	1		-	16 – 50
Очищення, ґрунтування	листового прокату ²⁾	Автоматична поточна лінія «Фогель та Шеманн»	1	$0,41N_d$	$\frac{0,6-7,2}{2,1}$	4 – 50
Різання листового прокату машина з ЧПК	Плазмове	TELEREX TXB 10200	1	$0,05L_{пл} + 0,1 N_{д,пл}$	-	6 – 22
		ESAB Numorex NXB 4500	1		$7,138e^{-0,08s}$	6 – 22
		Numorex NXB 4500 – Radian (модернізована)	1		$6,493e^{-0,04s}$	6 – 80
	Газотермічне	Radian – 3200	1	$0,069L_r + 0,17 N_{д,r}$	$0,597e^{-0,01s}$	20 – 200
		переносна машина типу Смена-2М	5	$0,11L_{ф} + 0,17L_d$	0,2 – 0,45	12 – 30
Різання фасок, ласок	Механічне	переносна крайкосколовальна машина UZ50 Triumph	1	-	<1,2	7 – 80
Зачищення крайок		шліфмашина	4	$0,04 (L_{з,пл} + L_{з,r})$	-	-
Маркування		уручну після термічного різання	4	$0,04N_d$	-	-
Комплектування		уручну та за допомогою кранового обладнання	4	$0,06N_d$	-	-

¹⁾ Відповідно до середньозважених показників проєктів.

²⁾ Очищення до ступеня Sa2.5, нанесення шару ґрунту товщиною 15 мкм.

Таблиця 3. Фактичні можливості складально-зварювального та ізоляційно-мулярного виробництва

Операція		Найменування обладнання	Кількість одиниць обладнання що працює незалежно	Трудомісткість виконання операції згідно експериментальних даних або по типовим укрупненим нормативам, год	Допустимий діапазон товщини прокату, мм
Складання-зварювання	вузлів	механізоване обладнання	5	32G _c	-
	секцій	потокова лінія ESAB-HEBE	2		8 – 40
		на стендах у цеху ¹⁾	15		-
Очищення, знепилювання, знежирення та фарбування	компресор EKO 132 GD VST		2	6,6G _c або (0,1+0,025+0,022n) Sф, де n – кількість шарів ґрунту/фарби	-
	компресор DVK75		1		
	компресор Atlas Copco GA 55 – 8.5		1		

¹⁾ Автоматичне під флюсом автоматами тракторного типу та механізоване у захисних газах.

можливості технологічного устаткування – на підставі вивчення паспортних даних обладнання та фактичного парку його на СЗ «Океан».

Показники, наведені в табл. 1, визначали за кожним замовленням шляхом оброблення проектної документації, що надходила на підприємство, а також технологічної документації, яку розробляли на підприємстві під час підготовки виробництва.

У процесі виконання проекту (коли інформація по проекту ставала більш повною) визначені на попередніх етапах показники уточнювали за фактично отриманими обсягами матеріалів та документацією.

Усі отримані при обробці проектної документації статистичні дані для розрахунку технологічних показників апроксимували функціями в залежності від контрактної маси замовлення G_k (рис. 4). Це дає змогу прогнозувати показники нового замовлення виходячи лише з одного параметра – контрактної маси, яка вже відома на початкових етапах розробки моделі, а проектна та технологічна документація ще відсутня.

Вся сукупність показників та відповідні рівняння апроксимації наведені в табл. 1.

Тут слід відзначити, що в міру накопичення більшого об'єму статистичної інформації вказані математичні залежності можуть бути уточнені.

Встановлено, що конструкції різного призначення але однакового конструктивного типу мають близькі питомі технологічні показники і можуть бути

апроксимовані єдиними математичними залежностями. На наш погляд, це відповідає фундаментальним принципам проектування: однотипні конструкції повинні забезпечувати однаковий необхідний рівень міцності, надійності, працездатності.

Запропоновані апроксимаційні рівняння дозволяють також розраховувати, згідно з типовими укрупненими нормативами, трудомісткість виконання кожної з технологічних операцій для визначення ефективного завантаження технологічного обладнання за умови його незалежного використання на виробничих дільницях корпусообробного та складально-зварювального і ізоляційно-мулярного виробництв (див. табл. 2 та табл. 3 відповідно).

У функціональній моделі комплексу корпусних видів виробництва розрахункова трудомісткість виконання кожної з технологічних операцій автоматично розподіляється між дільницями та робочим місцями пропорційно виходячи з їх продуктивності (див. табл. 2) або визначається менеджером згідно з мережевим графіком.

Усі зазначені дії виконуються вирішувачем на базі табличного процесора, розрахункове поле якого скомпоноване геометрично подібно до технологічних потоків реального виробництва (рис. 5).

Транспортування деталей, вузлів, секцій виконується за допомогою кранового обладнання, транспортерів на пневмоколісному та рейковому шасі, рольгангів та т. ін. Готові конструкції, які після виготовлення

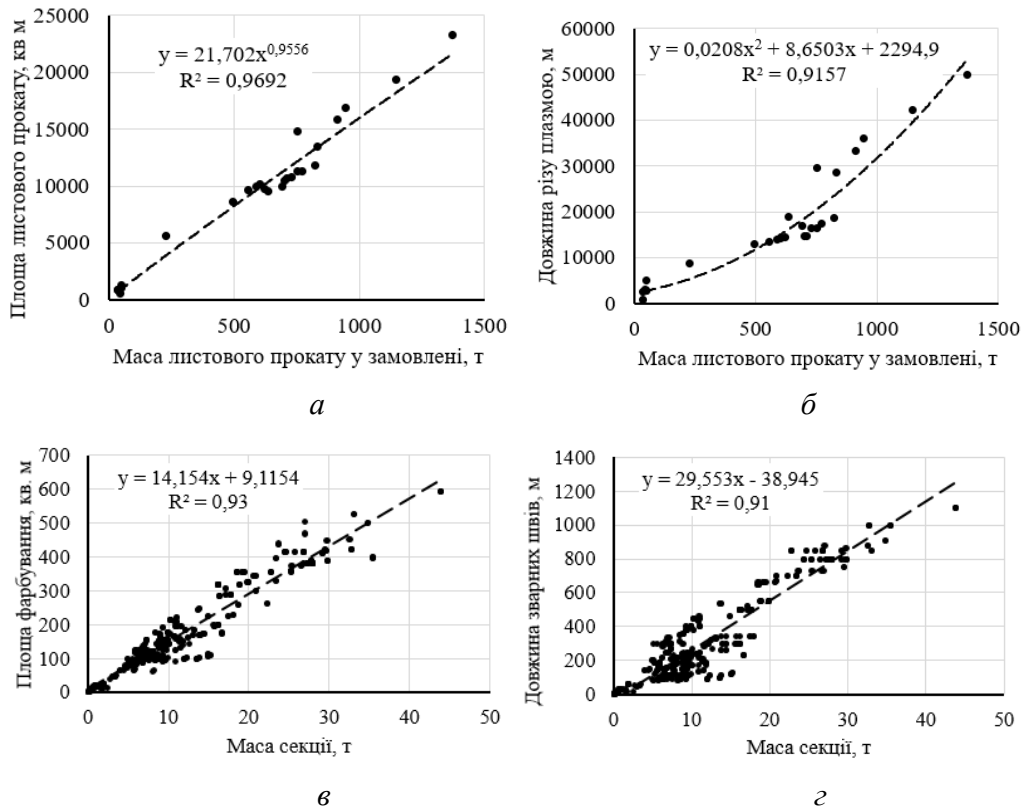


Рис. 4. Апроксимаційні залежності показників за корпусообробним, складально-зварювальним та ізоляційно-мулярним виробництвами: а – площа листового прокату; б – сумарна довжина різів та холостого ходу плазмовим різанням на машинах з ЧПК; в – довжина зварних швів у секції в залежності від її маси; г – площа фарбування секції в залежності від її маси

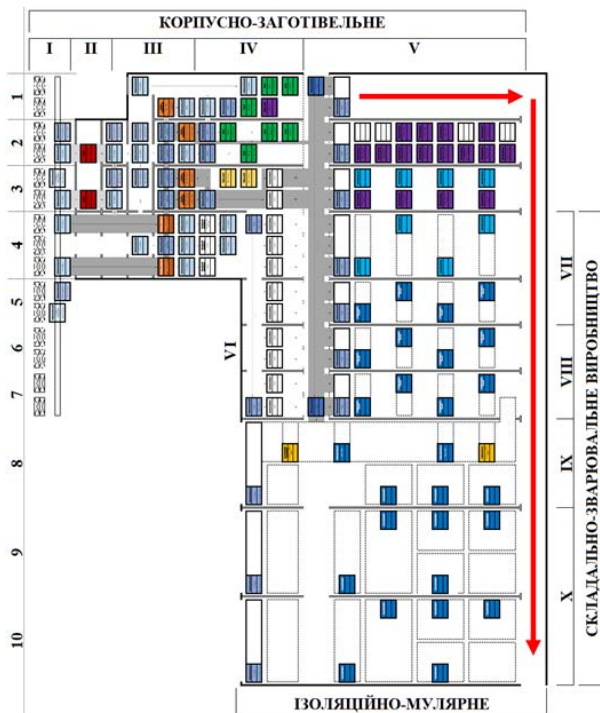


Рис. 5. Блок-схема виробництва у табличному процесорі (стрілками позначено напрямки виробничого потоку)

не підлягають подальшому насиченню або укрупненню, відвантажуються замовнику.

Час транспортування між дільницями визначається з використанням компоувальної схеми комплексу (див. рис. 3) шляхом додавання до розрахованого часу операцій завантаження та вивантаження деталей, вузлів та готових секцій (стропування, підйому та опускання вантажу цеховим мостовим краном) часу перевезення (переміщення деталей за допомогою рольгангу, вузлів та секцій краном або іншим транспортним засобом, розрахованих у залежності від довжини шляху транспортування).

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Функціональна модель комплексу корпусообробних виробництв верфі може бути використана як на доконтрактному етапі роботи з Замовником для більш точного визначення ресурсів, необхідних для виконання замовлення (з метою прогнозування його вартості), так і на початкових етапах виконання замовлення, коли ще відсутня (або не в повному обсязі надана) проектна документація і не розроблена належним чином технологічна документація для підготовки виробництва.

Позитивний ефект від використання моделі можна отримати при оперативному управлінні

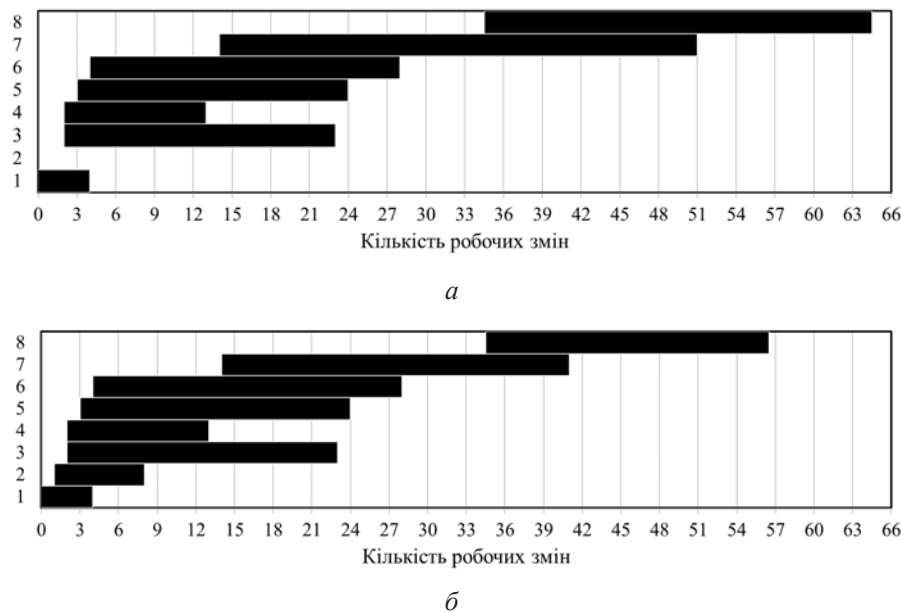


Рис. 6. Визначення ефекту від використання попередньо обробленого оброблення листового прокату: а – без оброблення; б – з обробленням

виробництвом, аналізі суміщення (одночасного виконання) декількох замовлень (реалізація портфеля замовлень). Також модель може бути використана під час прийняття рішень щодо доцільності проведення модернізації існуючого виробництва шляхом впровадження нових організаційно-технологічних заходів: методів обробки металу, наприклад плазмове розроблення крайок під зварювання замість газотермічного, модернізація машин термічного різання та іншого устаткування або зміна схеми організації даного виду корпусного виробництва.

Наочність функціонування розробленої моделі ілюструють результати її тестування – кількісне порівняння результатів використання деталей у зварній металоконструкції без попереднього та з попереднім обробленням листового прокату (рис. 6).

По осі ординат цифрами позначені наступні операції: 1 – виправлення; 2 – очищення, ґрунтування; 3 – плазмове різання, маркування; 4 – газотермічне різання, маркування; 5 – різання крайок (фаски, ласки); 6 – зачищення крайок, комплектування; 7 – складання, зварювання, зачищення, виправлення, УЗК; 8 – очищення, знепилювання, знежирення, фарбування.

Аналіз наведених результатів свідчить про те, що, незважаючи на деяке зниження трудомісткості виробничого циклу завдяки усуненню технологічних операцій попереднього оброблення прокату, виконання наступних операцій складання, зварювання, очищення і фарбування навпаки суттєво уповільнюється. Це пов'язане, в першу чергу, з необхідністю знімати прокатну окалину, що вкрай важко видаляється на кожному етапі технологічної обробки, особливо при

складанні, зварюванні та очищенні перед фарбуванням. Негативний вплив не в повній мірі видаленої прокатної окалини на якість зварювання тут не наведено, але він також присутній.

Одже, шляхом порівняння за допомогою розробленої функціональної моделі трудомісткості виробничих циклів підтверджено відомий позитивний вплив попереднього оброблення прокату.

Функціональну модель планується використовувати як частину майбутньої інтерактивної інформаційної моделі суднобудівного підприємства – «цифрової верфі», що базується на ідентичних за формою, структурою та кінематикою, 3D-моделей виробничих потужностей (основних фондів, обладнання, персоналу, та ін.), яка стане основою системи підтримки прийняття рішень менеджментом верфі.

На рис. 7 наведено приклад розробки детальної 3D-моделі дільниці виготовлення площинних секцій у складально-зварювальному цеху «СЗ «Океан», яка наочно демонструє зміст технологічних процесів та розташування робочих місць і дозволяє підвищити ефективність аналізу та планування виробничих ситуацій.

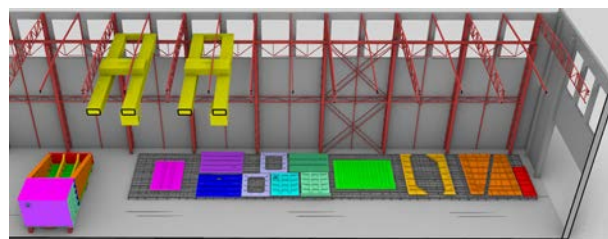


Рис. 7. Детальна геометрично-подібна 3D-модель організації виробництва секцій

Використання «цифрової верфі» як основи системи прийняття рішень менеджментом «СЗ «Океан» є одним з стратегічних напрямків програми перспективного розвитку підприємства.

ВИСНОВКИ

1. Розроблена функціональна модель комплексу корпусних видів виробництва суднобудівного підприємства по виготовленню секцій широкої номенклатури та призначення дозволяє прогнозувати показники нового замовлення виходячи лише з одного загального параметра – контрактної маси металоконструкції, відомої на етапі підписання контракту, а проєктна та технологічна документація ще відсутня.

2. Визначено що конструкції різного призначення але однакового конструктивно-технологічного типу мають близькі питомі проєктно – технологічні показники і можуть бути апроксимовані єдиними математичними залежностями, що відповідає фундаментальним принципам проєктування.

3. Дана функціональна модель може бути використана як складова частина майбутньої інтерактивної інформаційної моделі суднобудівного підприємства (цифрової верфі), що базується на ідентичних за формою, структурою та кінематикою, 3D-моделей виробничих потужностей (основних фондів, обладнання, персоналу та ін.), і буде покладена в основу системи підтримки прийняття рішень менеджментом верфі.

REFERENCES

- [1] Simutienkov, I. V., Dragan S. V., Hladchenko D. S., (2021). Stratehiya tekhnichnoho rozvytku skladal'no-zvaryuval'noho vyrobnytstva sudnobudivnoho zavodu «Okean». [Strategy of technical development of assembly and manufacture of the «Ocean» shipyard]. «Shipbuilding&Marine Infrastructure», no. 1, pp. 51–62. [in Ukrainian]
- [2] Hyundai Heavy Industries. World's largest shipbuilder creates first digital shipyard environment to improve productivity in Korea. Siemens Industry Software. Retrieved from: <http://siemens.com/plm>.
- [3] Simutienkov, I. V., Kharytonov Yu. M., Dragan S. V., (2022). Informatsiyi tekhnolohiyi – osnova reformuvannya sudnobudivnoyi haluzi Ukrayiny. [Information technologies are the basis of reforming the shipbuilding industry of Ukraine]. Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention: Scientific monograph. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2022. pp. 381–410. [in Ukrainian]
- [4] Ofitsiyyny sayt Sudnobudivnoho zavodu Okean. [Official website of the Ocean Shipyard]. Retrieved from: <https://ocean-shipyard.com/>.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Сімутєнков І. В. Стратегія технічного розвитку складально-зварювального виробництва суднобудівного заводу «Океан» / І. В. Сімутєнков, С. В. Драган, Д. С. Гладченко // «Shipbuilding&Marine Infrastructure» – 2021. – № 1. – С. 51–62.
- [2] Hyundai Heavy Industries. World's largest shipbuilder creates first digital shipyard environment to improve productivity in Korea. Siemens Industry Software. Вилучено із <http://siemens.com/plm>
- [3] Сімутєнков І. В. Інформаційні технології – основа реформування суднобудівної галузі України / І. В. Сімутєнков, Ю. М. Харитонов, С. В. Драган // Колективна монографія «Досягнення України та країн ЄС у сфері інновацій і винахідництва в галузі техніки» – 2022. «Izdevnieciba “Baltija Publishing”» С. 381–410.
- [4] Офіційний сайт Суднобудівного заводу Океан. Вилучено із <https://ocean-shipyard.com/>

© Сімутєнков І. В., Драган С. В.

Дата надходження статті до редакції: 16.10.2023

Дата затвердження статті до друку: 16.11.2023