

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ – ОСНОВА РЕФОРМУВАННЯ СУДНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Сімутенков І. В., Харитонов Ю. М., Драган С. В.

ВСТУП

На теперішній час суднобудівна промисловість України потребує невідкладних заходів щодо її реформування. Це пояснюється фізичним та моральним зносом основних фондів суднобудівних підприємств, дефіцитом ресурсів, порушеною системою наукового та кадрового забезпечення, тощо^{1,2,3}.

Проводячи розбудову вітчизняної суднобудівної промисловості, яка має забезпечувати стратегічні цілі розвитку держави слід враховувати сучасний стан підприємств та організацій суднобудівного кластеру України, існуючий досвід передових суднобудівних країн, науково-прикладні досягнення в різних галузях господарювання та основні тренди подальшого розвитку світового суднобудування.

Серед значної кількості завдань, які потребують свого вирішення одним з ключових слід вважати впровадження в суднобудівну галузь України елементів технологічної платформи Shipbuilding 4.0, яка передбачає реалізацію життєвого циклу (PLM) судна на базі цифрових технологій. Характерними ознаками технологічної платформи є: 3D-друк, сканування, моделювання; «хмарні» технології; цифрові платформи управління та організації виробництва; моделювання та числові експерименти; технології отримання та безпосередньо нові матеріали; роботизація процесів; віртуальна та доповнена реальності; Інтернет речей; кібербезпека; технологія блокчейн; технології роботи з великими даними; автономні транспортні елементи та системи: технології штучного інтелекту. Перехід до технологічної платформи Shipbuilding 4.0

¹ Стратегія розвитку суднобудівної промисловості України на період до 2030 року. URL:<https://www.youtube.com/watch?v=-68CjaTNRy4>.

² Аналіз стану суднобудування України у 2020 році від асоціації «Укрсудпром». URL:<https://maritimebusinessnews.com.ua/2021/08/19/213989/>.

³ Слободян С.О. Нормативно-правове забезпечення проєктів та програм впровадження технологічної платформи Shipbuilding 4.0/ С. О. Слободян, Ю.М. Харитонов// «Shipbuilding&Marine Infrastructure» – 2020. – № 2 (14). – С. 17–29. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/3445/Slobodian.pd>.

передбачає: експоненціальне зростання обчислювальної потужності машин, активний розвиток технологій аналізу великих даних, машинного навчання та штучного інтелекту, комп'ютерне проектування властивостей при створенні нових матеріалів, активний розвиток технологій розумних сенсорів, кіберфізичних систем та цифрових двійників; поширення віддалено керованих і автономних систем, глибоке проникнення багатофакторного прецизійного моделювання, генеративного проектування та адитивного виробництва у промисловості^{4,5,6,7,8}.

Як доводить досвід розвитку передових суднобудівних підприємств впровадження зазначених елементів технологічної платформи Shipbuilding 4.0 та новітніх інформаційних технологій (ІТ) може значною мірою допомогти українським суднобудівним підприємствам подолати прірву техніко-технологічного та організаційного відставання і вивести галузь з кризового стану.

1. Виникнення передумов проблеми та формулювання проблеми

Виконаний аналіз основних причин кризового стану суднобудівної галузі України визначив її суттєве організаційне та техніко-технологічне відставання від світового рівня. Основними передумовами виникнення проблеми слід вважати невдалі процеси приватизації суднобудівних та судноремонтних підприємств, відсутність скоординованої політики щодо розвитку суднобудування в Україні, відсутність відповідного нормативно-законодавчого забезпечення, тощо.

⁴ Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E.F.R., Ramos, L.F.P.: Past, present and future of industry 4.0—a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Product. Res.* 55(12), 3609–3629 (2017). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2017.1308576>.

⁵ Hribernik K., 2016. Industry 4.0 in the Maritime Sector, SEA, Tokio, Japan. URL: <https://www.lmlit.go.jp/common/001127983.pdf>.

⁶ Torres A. Identifying Challenges and success factors towards Implementing Industry 4.0 technologies in the Shipbuilding Industry. Delft University of Technology. 2018. 156 p. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A958e592d-0316-4ca8-9029-3c0961f63843>.

⁷ Bernard Ash. Digital shipyard sounds great but what is it? The technologies making it possible. DXC Technology Company. November 2018. 11 p. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-shipyard-sounds-great-what-technologies-making-bernard-ash>.

⁸ Парсяк В. Н. Аутсорсинг в судостроении – рост популярности / В. Н. Парсяк, Е. Ю. Жукова // «Shipbuilding&Marine Infrastructure» – 2016. – № 1-2 (5). – С. 23 – 27. URL: <http://smi.nuos.mk.ua/archive/2016/1-2/15.pdf>.

Завдання виводу суднобудівної галузі України з кризового стану та її перехід на сучасні технології суднобудування являє собою важливу науково-прикладну проблему, вирішення якої має державне значення.

Одними з основних елементів суднобудівної галузі вважаються суднобудівні та судноремонтні підприємства, ефективність функціонування яких забезпечує конкурентоздатність галузі в цілому. При розробці стратегії розвитку підприємства його менеджмент часто зосереджує увагу лише на можливостях основних фондів, від яких значною мірою залежить конкурентні переваги бізнес-суб'єкта. Так, від виробничих можливостей і спеціалізації підприємства залежить собівартість продукції та відповідне місце підприємства на ринку збуту. Такий підхід за умов існуючих трендів інтеграційних процесів в суднобудуванні виправданий при відносно малих обсягах виробництва та в умовах невеликої конкуренції, що характерні для локального ринку.

За умов практичної відсутності державних заказів на суднобудівну продукцію для подальшого розвитку, суттєвого зростання прибутковості, забезпечення довгострокових замовлень суднобудівним підприємствам України потрібен вихід на світовий ринок. Для цього необхідне кардинальне підвищення рівня конкурентоспроможності пов'язане як з необхідністю модернізації застарілого обладнання, так і з перетворенням систем організації та управління підприємством.

Слід відзначити, що оновлення систем та алгоритмів управління у відповідності з «кращими практиками» може коштувати значно дешевше, а дати навіть більший позитивний ефект, ніж найновіше обладнання, яке впроваджене при застарілій системи організації виробничих процесів. Крім того, при розробці стратегії оновлення необхідно врахувати довгострокові прогнози зміни зовнішньої кон'юнктури, глобальних викликів та «кращих практик». Для подолання глибокого техніко-технологічного та організаційного відставання слід вирішити складну задачу: забезпечити необхідний рівень перевищення інтенсивності динаміки покращень над інтенсивністю процесів «кращих практик» за умов обмеження ресурсу поточних можливостей.

Одним з ключових напрямків вирішення проблеми слід вважати впровадження в практику функціонування суднобудівних підприємств України новітніх інформаційних технологій.

В умовах цифровізації суднобудування вибір існуючих інформаційних технологій та відповідного програмного забезпечення являю собою актуальне науково-прикладне завдання.

2. Аналіз існуючих складових інформаційно-технологічного забезпечення суднобудування

Визначення шляхів вирішення проблеми підвищення рівня конкурентоспроможності суднобудівних підприємств України і досягнення ними рівня кращих світових практик шляхом цифровізації окремих етапів життєвого циклу побудови судна виконано на основі огляду та аналізу сучасних інформаційних технологій.

В основу проведених досліджень покладені методи та моделі системного аналізу стосовно комп'ютерного моделювання конструкцій, технології виготовлення виробів та організації виробництва у суднобудуванні.

Об'єктом дослідження є процеси, пов'язані з вибором та впровадженням інформаційних технологій для забезпечення функціонування та розвитку суднобудівного підприємства.

Предмет дослідження стали сучасні ІТ, які можуть бути використані для виходу з кризового стану та подальшого розвитку вітчизняного суднобудування.

Основні комплекси системи підприємства, які слід враховувати при формуванні композиції (пула) ІТ, в першу чергу зв'язані з його операційною діяльністю: циклом функціонування та підсистемами, що його забезпечують, організаційно-технічними напрямками розвитку підсистем та життєвим циклом (ЖЦ) продукту, з акцентом на виробництві⁹.

У загальному вигляді система функціонування промислового підприємства як бізнес суб'єкта, як правило, являє собою повторюваний цикл послідовних дій, націлених на отримання прибутку, а саме: пошук заказу та укладання контракту, планування та постачання ресурсів, планування, виготовлення та контроль якості продукції, підтримку та розвиток основних фондів¹⁰. При цьому кожен крок здійснюється відповідною підсистемою: стратегічного управління, інжинірингу, оперативного управління, організації робіт виробництва, техніко-технологічного забезпечення. Підсистеми в свою чергу розділяються за організаційно-технічними напрямками: персонал, ПЗ, процеси, які обслуговуються автоматизованими системами або модулями, та засобами їх підтримки: САПР

⁹ DNV-GL Technology outlook 2025. URL: <https://www.dnv.com/Publications/technology-outlook-2025-65020>.

¹⁰ Сімутенков І. В. Стратегія технічного розвитку складально-зварювального виробництва суднобудівного заводу «Океан» / І. В. Сімутенков, С. В. Драган, Д. С. Гладченко // «Shipbuilding&Marine Infrastructure» – 2021. – № 1. – С. 51 – 62. URL: <http://smi.nuos.mk.ua/archive/2021/1/7.pdf>.

(комбінація CAD, CAM, CAE, PDM), ERP, MES, DSS, PLM, AR, VR^{11,12,13}.

Результатом проектування у найновітніших САПР є інформаційна модель (ІМ) об'єкта. В такій моделі об'єкт розглядається як єдине ціле і всі елементи моделі зв'язані з базою даних, при цьому кожному з елементів привласнені певні атрибути. Коригування будь-якого атрибуту елемента тягне за собою автоматичні зміни характеристик усього об'єкту проектування.

Розробка ІМ може розглядатися як сучасний підхід до управління життєвим циклом (ЖЦ) об'єкту, який передбачає збір та комплексну обробку всієї проектної, конструкторської, технологічної, економічної та іншої інформації щодо об'єкта з усіма взаємозв'язками та залежностями – створення так званого цифрового двійника. Цифровий двійник являє собою цифрову копію реального об'єкту (системи) з вичерпним набором його властивостей і повністю відображає внутрішню структуру і закономірності взаємодії об'єкту із зовнішнім середовищем¹⁴. Під об'єктом розуміється судно, процеси його проектування, будівництва, виробничі потужності підприємства, тощо.

Вказані вище автоматизовані системи, розподілені за організаційно-технічними напрямками ПЗ і ПК та по підсистемах підприємства, формують пул ІТ.

До організаційно-технічного напрямку «процеси» належать: функціонування системи менеджменту якості (СМЯ), прогнозування ринків збуту та конкурентів, проектування, підтримки ЖЦ та цифрових двійників, створення та підтримки ІМ основних фондів, електронного документообігу на базі хмарних ресурсів, проектного

¹¹ O'Leary Enterprise Resource Planning Systems: Systems, Life Cycle, Electronic Commerce, and Risk / O'Leary, Daniel L. // Cambridge University Press. – 2000. – 232p. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805936>.

¹² Pearce, John A.; Robinson, Richard B. Formulation, implementation, and control of competitive strategy (4 ed.) // Irwin. p. 315. Retrieved 7 February 2017. URL: https://archive.org/details/formulationimple0000pear_k4c7.

¹³ Сараєв А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии // Труды Крымской Академии наук. – Симферополь: СОНАТ, 2006. – С. 47-59. URL: https://csi.ucoz.ru/SPPR/Statya_Saraev_Shcherbina.pdf.

¹⁴ R. Luming, Comparing BIM in Construction with 3D Modeling In Shipbuilding Industries: Is the Grass Greener on the Other Side? (R. Luming, V. Singh) // IFIP International Federation for Information Processing 2016 Published by Springer International Publishing Switzerland 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/301573972_Comparing_BIM_in_Construction_with_3D_Modeling_in_Shipbuilding_Industries_Is_the_Grass_Greener_on_the_Other_Side.

менеджменту та управління проектами, контроль технологічної дисципліни та організації виробництва, підтримки існуючих та впровадження нових технологій та виробництв.

При формуванні пулу ІТ враховуються особливості кожного з етапів ЖЦ судна, який набув нових якостей та формується навколо ІМ (рис. 1).

У ЖЦ розрізняють наступні основні етапи: проектування об'єкту та схвалення проекту, проектування процесу (технології) виробництва об'єкта – підготовка виробництва, оперативне управління (планування) виробництва, власне виготовлення, експлуатація та розвиток основних фондів, експлуатація та утилізація об'єкта. Кожному з етапів ЖЦ притаманні ключові ІТ, деякі з яких наведені на рис. 1 поруч з відповідним етапом ЖЦ.

Проектування об'єкту є першим етапом ЖЦ, на якому генерується задум та проєктувальник проходить шлях від ідеї до пакету схваленої документації на виготовлення об'єкту. Якістю рішень, прийнятих під час проектування, визначається конкурентоспроможність майбутнього судна – вартість будівництва та експлуатації, а також економічні переваги користування.

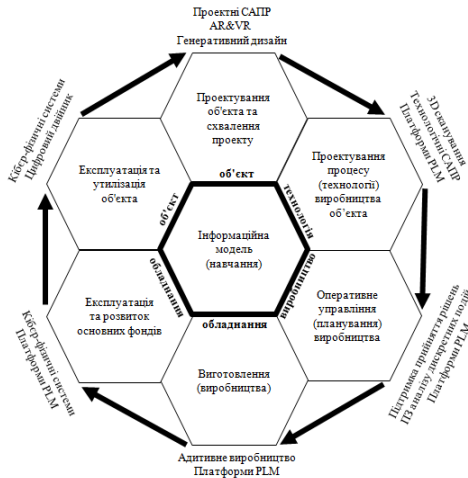


Рис. 1. Життєвий цикл судна, сформований навколо інформаційної моделі

Недостатня конкурентоспроможність суден впливає на конкурентоспроможність верфі, що їх будує, або обумовлює

відсутність замовлень, якщо проектування та будівництво виконуються однією і тією ж компанією. У зв'язку з цим у світовій практиці, для збереження або досягнення лідерських позицій у конкурентній боротьбі, значну увагу приділяють інвестуванню у наукові дослідження та інженерні розробки, у т. ч. спрямовані на підвищення технологічності або впровадження сучасних ІТ (САПР, ERP, PLM)¹⁵.

Як відомо¹⁶, наразі САПР є основним інструментом на етапі проектування, за допомогою якого автоматизується вирішення більшості проєктних завдань. У САПР останніх поколінь, у зв'язку з поступовим переходом до ІМ, переважне значення мають дані, а не графіка¹⁴. У більшості сучасних САПР використовують низхідне проектування, яке переважає над висхідним¹⁷. Використовують декілька підходів до моделювання:

з історією побудови (параметричне та асоціативне), якому притаманна мала гнучкість та інтуїтивність, висока автоматизація та керованість;

пряме моделювання, для якого характерні висока гнучкість та зручність використання, але недостатній рівень автоматизації;

синхронне або паралельне (гібридне), яке увібрало в себе більшість переваг прямого та параметричного підходів.

САПР повинна задовольняти ряду вимог, зокрема бути багатofункціональною та гнучкою для конфігурації робочих місць з різним функціоналом і спеціалізацією, бути простою в освоєнні, по можливості невибагливою до комп'ютерних ресурсів, мати широкі можливості обміну з іншими програмними продуктами, бути недорогою і таке інше¹⁰. Оскільки вимоги достатньо різноманітні, а їх кількість вкрай велика, то більшість сучасних САПР скомпоновані з окремих блоків – програмних модулів (плагінів) на інтеграційній платформі (табл. 1) або побудовані за модульним принципом (табл. 2).














¹⁵ Young Joo Soong Research on a simulation-based ship production support system for middle-sized shipbuilding companies / Inter JNavArchitOcEngng (2009) 1:70~77. URL: <http://dx.doi.org/10.3744/JNAOE.2009.1.2.070>.

¹⁶ Rosenberg, M. Bobryakov, S. Elsevier's dictionary of technical abbreviations in English and Russian. – Amsterdam: Elsevier, 2005. URL: <https://sciarium.com/file/17929/>.

¹⁷ Ступницький, В. В. Ефективність впровадження CALS-технологій на машинобудівних підприємствах. URL: http://vlp.com.ua/files/15_32.pdf.

Таблиця 1

**Приклад екосистеми САПР для суднобудування,
скомпонованої з плагінів на базі ПЗ Rhinoceros 3D¹⁸**














Базове ПЗ	Найменування та позначення плагіну		САПР	Функціонал	Орієнтовна вартість, \$тис.	Джерело інформації	
Rhinoceros  rhino3d.com	Orca3D		CAE	теорія корабля	2,8	orca3d.com	
	RhinoCFD			гідродинаміка	2,0	cham.co.uk/rhinoCFD	
	Scan&Solve			міцність	2,0	intact-solutions.com	
	Seanaptic		CAD	ККК (ПКД)	3,0	seanaptic.com	
	Express Marine				9,5	expressmarine3d.com	
	SD Nautilus		CAD	ККК (РКД)	не менше 4,5	savadesign.net	
	NotilusDrafting-Steeler	 			3,5	kulucka.io	
	Rhinopiping				Системи та трубопроводи (РКД)	1,2	tomkod.com
	Notilus Piping					1,9	kulucka.io
	Rhino Nest		CAM	Корпусообробка	1,2	tdmsolutions.com	
	RhinoCAM				0,6	mecsoft.com/rhinocam/	

Примітка: Вартість вказана для безстрокової ліцензії за одне робоче місце.

¹⁸ Robert McNeel&Associates. URL: <https://www.rhino3d.com>.

Таблиця 2

Сучасні САПР для суднобудування, побудовані з модулів

Рівень	Найменування та позначення		САПР	Орієнтовна вартість, \$ тис.	Джерело інформації
Універсальні	AutoCAD		CAD	0,5 – 5	autodesk.com
	RhinoCeros		CAD+ plug-ins	1,0	rhino3d.com
	Solid Works		CAD CAM CAE	7,5 – 45	solidworks.com
	Компас 3D			2,5 – 5	kompas.ru
	SolidEdge			від 2	solidedge.siemens.com
	T-flex			2 – 7	tflex.ru
	Siemens NX			CAD CAM CAE	10-50
	CATIAV5		3ds.com/catia		
	Autodesk Inventor		autodesk.com/inventor		
	Creo PTC		ptc.com/creo		
Суднобудівні	Ship constructor		CAD CAM CAE	50-100	sscorporate.com/shipconstructor
	Cadmatic				cadmatic.com
	AvevaMarine				aveva.com

Примітка: Вартість вказана для безстрокової ліцензії за одне робоче місце.

У зазначеній САПР існують більше тисячі плагінів для вирішення задач теорії корабля, міцності, конструкції корпусу корабля (ККК), систем та трубопроводів, розробки робочо-конструкторської (РКД) та проектно-конструкторської (ПКД) документації, підготовки виробництва, програмування, візуалізації, та багато інших¹⁹.

Вартість робочого місця з будь-якою спеціалізацією становить близько 3 – 4 тис. доларів, тому такі системи проектування є доступними для широкого кола користувачів.

САПР, скомпоновані на інтеграційній платформі, ефективно використовують для суден малого та середнього тоннажу з обмеженою кількістю деталей та зв'язків. Однак, такі системи можуть містити також плагіни, які реалізують сучасні ІТ (3D-сканування та реверсного інжинірингу, доповненої реальності, топологічної оптимізації, адитивного виробництва, роботизації, програмування та ін.)¹⁸, що дає можливість успішно застосовувати вказані САПР і в крупнотонажному суднобудуванні.

Модульний принцип закладено у більшості САПР (табл. 2), тому що вони створювались шляхом інтеграції декількох спеціалізованих рішень з метою автоматизації рутинних інженерних завдань²⁰. Як приклад, можна відзначити суто вітчизняну САПР ДЕЙМОС²¹, окремі модулі якої ще й досі використовують на Суднобудівному заводі «Океан»²². Ефективність модульного принципу побудови системи доведена при розв'язанні маркетингових задач, що дозволяє виробнику САПР більш гнучко формувати свою пропозицію під конкретного покупця, а покупцю – заощаджувати кошти. Вартість модульних САПР з універсальним функціоналом (Solid Works, Компас 3D), який задовольняє базові вимоги при проектуванні суден, становить не менше 5 тис. доларів, а за наявності багатьох спеціалізованих модулів, часто перевищує 50 – 100 тис. доларів. Також відомо про САПР, які створені спеціально для суднобудування

¹⁹ Apps for Rhino and Grasshopper. URL: <https://www.food4rhino.com>.

²⁰ Андрейчикова А. Ю. Анализ современных систем автоматизированного проектирования в машиностроении (обзор) // (А. Ю. Андрейчикова, А. Ф. Галь) Вісник НУК імені адмірала Макарова – 2013, № 1. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/visnuk_2013_1_5.

²¹ Дубів І. І. Система деталювання й моделювання корпусу судна ДЕЙМОС: основні принципи та загальна структура. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – В зб. «Труди УДМТУ», вип. 43. – С. 32-39. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/7643/1/5-2_17_2015.pdf.

²² Официальный сайт ООО Судостроительного завода Океан. URL: <https://ocean-shipyard.com/>.

(Tribon→AvevaMarine, Foran; Shipconstructor; Nupas – Cadmatic→Cadmatic) або адаптовані з універсальних (CATIA). Сучасні суднобудівні САПР містять інтегровані модулі, які відповідають за розв’язання завдань з теорії та будівельної механіки корабля, проєктування конструкції корпусу та насичення, планування виробництва та виготовлення деталей і конструкції в цілому²⁰.

За допомогою САПР проєктувальник отримує нормативно-довідкову інформацію, ІМ виробу, проводить інженерний та кошторисний аналіз. Збільшенню продуктивності проєктних робіт сприяє наслідування досвіду шляхом повторного використання попередніх вдалих рішень, але це дає суттєвий ефект лише у поєднанні з параметричним моделюванням, коли можливо досить гнучко змінювати геометрію. Крім цього, збільшенню продуктивності сприяє скорочення часу на пошук необхідної інформації, оперативне узгодження та коригування документації. За даними¹⁷ впровадження інтегрованих рішень, наприклад CALS (англ., Continuous Acquisition and Lifecycle Support) технологій, у зв’язці проєктант – верф дозволяє: 1) скоротити строки випуску РКД та експлуатаційної документації на 30-40%, 2) час будівництва – на 50%, 3) знизити кількість помилок та затрат на будівництво на 20-75%. Притому, є деякі не вирішені питання. Через відсутність у суднобудуванні єдиного загальноприйнятого стандарту стосовно обміну даними, верфі прагнуть використовувати, принаймні в межах однієї стадії проєктування, одну САПР для більшості завдань (дисциплін) або періодично конвертують результати роботи усіх підрозділів у єдиний файл або середовище¹⁴. Однак, такий підхід не можна вважати ефективним на наступних етапах: управління проєктом, ресурсами, інформацією. Прикладом вирішення аналогічної проблеми у будівництві є системи ВІМ, які розроблені на основі єдиного стандарту IFC²³. Тим не менш, порівняння сучасних суднобудівних САПР з системами ВІМ не виявило значних переваг останніх¹⁴. Навпаки, були виявлені їх недоліки у таких важливих функціях, як пошук колізій, візуалізації, створення кошторису та планування. Незважаючи на це, експерти ВІМ впевнені, що будівництву слід рівнятися на суднобудівні САПР (окрім пов’язаної з IFC інтеграції модулів)¹⁴.

Найбільш високий рівень інтеграції САПР надають платформи, в які вбудовані алгоритми «кращих практик». Прикладом може

²³ Building SMART – The International Home of BIM. URL: buildingsmart.org.

служувати бізнес-платформа 3DExperience від компанії Dassault Systèmes, яка об'єднує рішення з різних доменів: PLM-рішення ENOVIA, CAD-рішення CATIA, CAE-рішення SIMULIA та ін. Через платформу здійснюється доступ до величезної кількості додатків та сервісів для виконання завдань різного роду: проектування, управління проєктами, змінами, накопичення досвіду та ін. В основу платформи 3DExperience покладені передові принципи системної інженерії. Апробація платформи у суднобудуванні наразі виконується в рамках проєкту NAVAIS – нові передові та інноваційні судна з доданою вартістю²⁴. За результатами тестування проєктом NAVAIS встановлені наступні переваги використання платформи 3DExperience²⁴:

- скорочення термінів та витрат на проектування та виробництво;
- покращення ланцюжків постачання та ефективність конструкції;
- вибір найкращої технології виробництва на підставі результатів імітаційного моделювання конструкцій судна, вартості та тривалості робіт тощо;

оперативна перевірка варіантів спроектованого судна на відповідність цільовим характеристикам в різних умовах експлуатації і вибір оптимального варіанту.

Значна роль приділяється дослідженню технологічності, ефективності виготовлення (вартість, час виконання, кількість ресурсів) для судна, що проектується, та придатності самої моделі для виготовлення (сценарії, продуктивність, імітаційне моделювання для вибору найкращої технології виробництва). Декілька варіантів конструкції перевіряється на відповідність цільовим характеристикам (швидкість, рівень шуму, вібрації, частота обертання гвинта, витрати палива, і т. ін.) для різних експлуатаційних сценаріїв та стану моря. Результатом роботи інтегрованих САПР є не тільки спроектований об'єкт, але і модульне рішення для повторного використання у сімействі продуктів та модульного виробництва, а також різноманітні сценарії «досвід використання». Таким чином, за рахунок накопиченого у базі знань багаторічного досвіду роботи людей відбувається «інтелектуалізація» САПР, що полягає у вирішенні завдань, які досі вважалися «творчими»²⁰.

Крім того, як ще один з вдалих прикладів, можна відзначити впровадження ПЗ – Siemens PLM Tecnomatix та Teamcenter як

²⁴ NAVAIS – New, Advanced and Value-Added Innovative Ships // Newsletter, March 2022, Volume 05. URL: <https://www.navais.eu/news>.

єдиного середовища для проектування, виробництва, обміну даними, на суднобудівному підприємстві Hyundai Heavy Industries²⁵.

Від систем PLM вимагається: забезпечення гнучкої, безпечної, стабільної, одночасної високопродуктивної роботи великої кількості розподілених користувачів (часом більш ніж десятки тисяч) з великими обсягами даних (мільйони документів та записів баз даних) – масштабованість. Також надважливе значення має якісна та безперервна підтримка ПЗ фірмою-розробником та інтегрованість зісторонніми ПЗ. Не менш важливим, поряд з усім переліченим, є вартість встановлення та користування, а також доступ до хмарних технологій. Використання хмарного середовища, як для зберігання, так і для виконання розрахунків і моделювання дозволяє досягти (за умови стабільного Інтернет-зв'язку) небачених раніше можливостей – високої безпеки даних та широкого доступу з мобільних пристроїв у різних місцях світу²⁰.

3. Моделювання процесів впровадження інформаційно-технологічного забезпечення суднобудівних підприємств

Як довели виконані дослідження єдиної платформи, яка вбирає в себе усі необхідні властивості, та яку можна використовувати на усіх етапах ЖЦ, поки що не створено, тому на практиці у кожному конкретному випадку потрібно підбирати індивідуальну композицію для визначеного підприємства.

Перше впровадження або перехід (міграція) ІТ-рішень підприємства з застарілих на нову платформу, розташовану у хмарному середовищі – це складний та дорогий процес, тому до нього часто залучають консалтингові компанії. Консалтинг стосується стратегії, концепту, практичного рішення, процесу впровадження, та інтеграції ІТ. Однак, слід відзначити, що впровадження таких платформ «з нуля» на підприємствах, де відсутні будь-які системи, має і свої переваги. По-перше, якщо разом з платформою запозичуються вбудовані у неї «кращі практики», то завдяки впровадженню відповідних автоматизованих систем здійснюється перетворення системи управління на всіх рівнях підприємства.

По-друге, адаптація та впровадження ПЗ відбувається простіше, а спротив персоналу значно менший, тому що зникає необхідність

²⁵ Hyundai Heavy Industries. World's largest shipbuilder creates first digital shipyard environment to improve productivity in Korea. Siemens Industry Software. URL: <http://siemens.com/plm>.

перенавчання спеціалістів зі звичних для них старих систем на нові, а самі виконавці переконуються у перевагах автоматизації. Разом з цим, коли система впроваджується не заради зменшення витрат на персонал, а через збільшення обсягів роботи, її впровадження сприймається співробітниками досить позитивно.

Послідовність впровадження системи бачиться за такою моделлю. Після проведення обов'язкового аудиту бізнес-процесів підприємства, з урахуванням наявної стратегії розвитку, розробляється дорожня карта, яка включає розробку ІМ системи підприємства, пакет відповідного ПЗ (конфігурацію) та план впровадження. По завершенні процесу навчання пілотної групи персоналу (3D моделювання, проєктування технологічних процесів, розробка керуючих програм, адміністрування та документообіг у PDM), система тестується у пробному режимі і, у разі позитивного результату, після ліквідації зауважень, купується та впроваджується.

На етапі аудиту бізнес-процесів визначається можливість використання власних алгоритмів (моделей процесів, організаційних структур, регламентів, стандартів підприємства) та баз даних, наявних у підприємства, а також ступінь трансформації, потрібна для переходу до «кращих практик» з урахуванням стратегії розвитку. Важливим є наявність стратегії, яка передбачає розвиток та покращення підприємства, а у разі відсутності такої стратегії, вона має бути створена. Усі покращення можливі, коли власник та керівництво дійсно прагнуть зростанню прибутків та розвитку підприємства. Самоусунення керівництва від процесу впровадження гарантовано призводить до невдачі.

Для успішного впровадження будь-яких систем необхідно вжити низку таких заходів:

- виконати, враховуючи поточну кон'єктуру та глобальні виклики, маркетингові дослідження та розробити стратегію розвитку підприємства з докладними цілями та завданнями;

- провести формалізацію та систематизацію бізнес-процесів та проєктних методик (регламенти, алгоритми), а також процедур управління підприємством;

- провести аудит наявних бізнес-процесів з урахуванням впливу технології, а також систематизованих знань (баз даних) та відібрати такі, що доцільно залишити або оновити. При цьому, слід мати на увазі, що впровадження нових ІТ в купі з застарілими бізнес-процесами не доцільно.

Поряд з платформами, що глибоко автоматизують проєктні розробки у суднобудуванні, вкрай важливим є методики, на яких вони ґрунтуються.

Методика в межах системи проєктування базується на інжинірингових знаннях, кооперації у проєктній команді та з виробником, аналізі помилок, технології (оптимальні алгоритми, критерії вибору), техніках (використанні стандартних рішень) і, в першу чергу, має бути спрямована на ефективний дизайн. Ефективний дизайн передбачає відповідне врахування усіх чинників, які визначають цільове використання проєктованого об'єкту, тобто його експлуатаційні властивості. Однак при проєктуванні завжди є певна невизначеність майбутніх умов експлуатації і, як наслідок, рішень.

Відомо, що правилами класифікаційних товариств допускається багатоваріантність рішень при проєктуванні конструкції, яка повинна задовольняти визначеним вимогам міцності, витривалості та ін. Тому, навіть після аналітичних розрахунків, залишається неоднозначність вибору у вигляді спектру можливих варіантів конструкції, кожна з яких задовольняє визначеним вимогам. Звузити спектр вибору можна за рахунок введення додаткових, «непроєктних» критеріїв, наприклад, порівнянням вартості виготовлення декількох варіантів конструкції у конкретних умовах виробництва. Більш того, як відомо, технологія виготовлення, поряд з умовами експлуатації, впливає на конструктивні рішення і обумовлює зовнішній вигляд та внутрішню структуру майбутнього судна (рис. 2).

Прийняття до умов експлуатації відображається, наприклад, у більш морехідній (обтічній) формі (судна типу Ахевов (рис. 2, область 3), а до вимог виробництва (використання складально-зварювальних потокових ліній) у збільшенні відносної довжини циліндричної вставки та повноти обводів судна (судна типу RSD (рис. 2, область 2)). Вже у найближчому майбутньому відкриваються широкі перспективи зниження матеріалоемності, підвищення технологічності та надійності суден завдяки поширенню алгоритмів топологічної оптимізації та генеративного дизайну у проєктуванні. Вказані алгоритми вже втілені як стандартні модулі в сучасному ПЗ різних розробників (ANSYS, PTC Creo, Fusion 360), що обумовлює їх доступність, та надають можливості оптимізації або проєктування декількох варіантів конструкції майбутнього виробу під вимоги виготовлення шляхом лиття, фрезерування, штампування, чи в будь-який інший спосіб. Використання алгоритмів топологічної

оптимізації та генеративного дизайну стосовно до умов «класичного суднобудування» (з урахуванням технологічних можливостей обладнання) може стати ефективним засобом зниження матеріаломісткості при збереженні або навіть збільшенні необхідної надійності. Передбачається, що найменше п'ять перспективних напрямків поєднання сучасних ІТ з виробництва та проектування забезпечить досягнення найвищого ступеня адаптації майбутнього судна до умов середовища експлуатації:

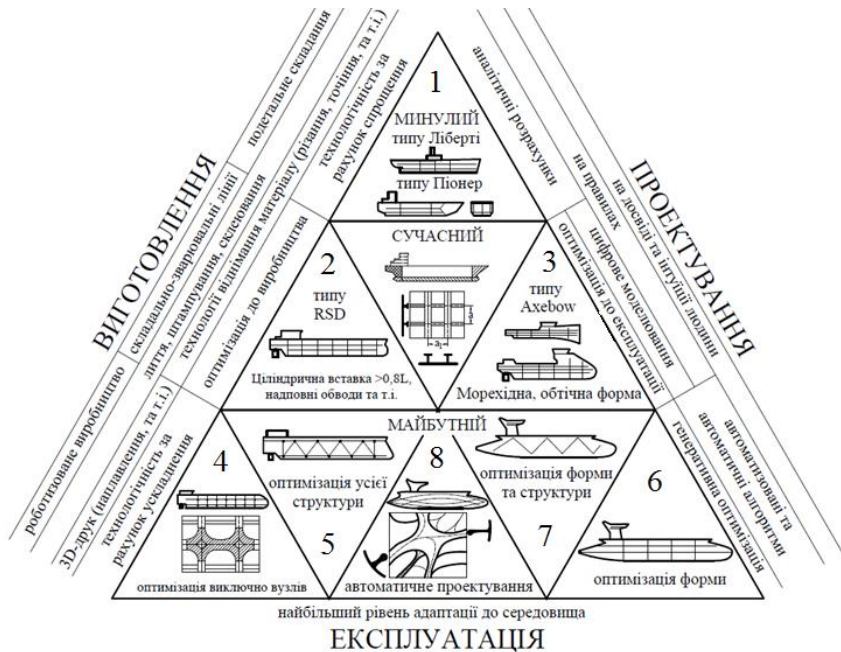


Рис. 2. Якісний вплив методів проектування, чинників середовища функціонування, та технології виготовлення на геометрію (форму та структуру) майбутнього (судна)

– генеративна оптимізація вузлів/секцій ККК під технологічні можливості сучасного суднобудування (рис. 2, область 4) насамперед надає можливість виготовлення конструкцій, спроектованих за допомогою такого підходу, за собівартістю, близькою до «звичайних» конструкцій. Зокрема, перспективні варіанти технології мають базуватися на виготовленні складних монодетальних вузлів за

допомогою лиття, штампування та/або адитивного виробництва (табл. 3, методи 1 та 3) з подальшим інтегруванням у секції, виготовлені за допомогою автоматичного зварювання.

– генеративна оптимізація усієї структури ККК під технологічні можливості сучасного суднобудування (рис. 2, область 5). Технологія передбачає зменшення використання стандартних профілів, а тим більш гнутих, збільшення використання термічного різання з числовим програмним керуванням (вирізка деталей «незвичної» конфігурації), стикування ребер не під прямим кутом (табл. 3, методи 2 та 4). Зменшення маси судна досягається передусім за рахунок розташування рамних зв'язків вздовж траєкторії головних напружень, що забезпечує потрібну загальну міцність ККК за менших витрат матеріалів.

– генеративна оптимізація форми судна з використанням поширеної у сучасному суднобудуванні прямокутної структури ККК (рис. 2, область 6).

– генеративна оптимізація форми та структури судна (рис. 2, область 7), як комбінація областей 5 та 6.

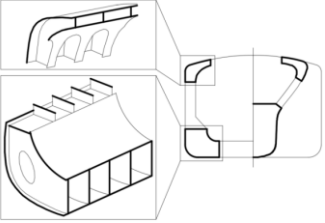
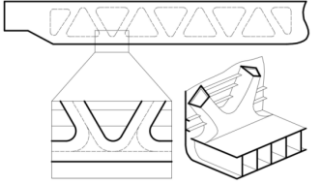
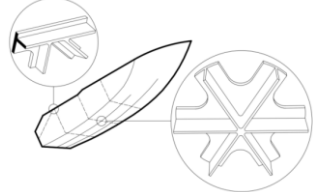
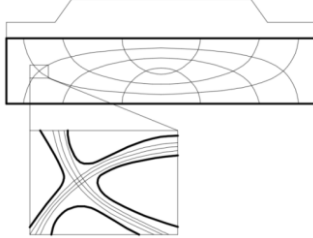
– подальший розвиток концепції генеративного дизайну може вже у середньостроковій перспективі (близько 5 років) призвести до зміни парадигми проєктування – перехід від людино-машинного, заснованого на досвіді та інтуїції людини, до автоматичного багатоваріантного еволюційного, заснованого на штучному інтелекті, що генерує конструкції з інтегральними характеристиками з необхідним рівнем адаптації до цільового середовища функціонування²⁶ (рис. 2, область 8).

Внаслідок детального, комплексного вичерпного врахування впливів зовнішнього середовища на об'єкт (судно, що проєктується) передбачається зниження енерго- і матеріалоемності при одночасному зростанні експлуатаційних властивостей. Ця найбільш передова концепція в області проєктування передбачає широке використання штучного інтелекту і машинного навчання, технологій аналізу великих обсягів даних, потужних засобів апаратного і ПЗ.

²⁶ Evolving embodied intelligence from materials to machines. URL: <https://www.nature.com/articles/s42256-018-0009-9>.

Таблиця 3

**Перспективні сфери використання у суднобудуванні технологій
3D-друку самостійно або у поєднанні з литтям
та штампуванням**

Метод	Характеристика	Технологічне виконання
1	Лиття компактних вузлів та об'ємних секцій, з/без зовнішньої обшивки у 3D-друковані форми. Подальше поєднання з плоскими секціями, виготовленими з використанням автоматичного зварювання	
2	Пошарове наплавлення металевим дротом, спікання порошку, і т. ін., топологічно оптимізованої структури корпусу судна	
3	Штампування вузлів з легких сплавів, з/без зовнішньої обшивки	
4	Армування залізобетонних корпусів з оптимізацією армокаркасу відповідно до траєкторії головних напружень	

Для поєднання вказаних напрямків обов'язкова тісна співпраця, навіть інтеграція між проектувальником, виробником та замовником (власником чи експлуатантом) майбутнього судна. У такому випадку

у нагоді може стати єдина проєктно-технологічна методика, в якій проєктування об'єкту здійснюється одночасно у середовищах експлуатації і виробництва, а усі елементи (об'єкт, середовище функціонування, виробництво) являють собою детальні ІМ. Побудова ІМ об'єкту та середовища його функціонування виконується проєктувальником, а ІМ виробництва – технічним департаментом підприємства. За такої умови кожне підприємство повинно мати та підтримувати детальну та постійно поновлювану ІМ свого виробництва – цифровий двійник. Тоді проєктувальник при розробці виробу матиме доступ до повнофункціональних ідентичних ІМ елементів виробництва та технологічних процесів, які визначають особливості виготовлення майбутнього виробу з урахуванням умов його експлуатації. Відповідно, проєктувальник визначає варіанти виготовлення виробу, обмеження і вимоги технології, та вибирає його оптимальну конструкцію ще до початку етапу технологічного проєктування.

В свою чергу, технолог стає рівноправним учасником процесу та вже на початку проєктування може контролювати конфігурацію майбутнього виробу та надавати консультації проєктувальнику, зменшуючи вірогідність помилок, пов'язаних з недостатньою обізнаністю конструктора з технологічними нюансами виробництва.

Інтеграція проєктного та технологічного інжинірингу на базі детальних ІМ робить проєктування та технологічну підготовку виробництва єдиним процесом і поглиблює співпрацю виконавців, завдяки чому скорочується період та вартість будівництва та підвищується якість проєктних рішень. Створення ІМ починається, як правило, з розробки дизайн-моделі, яка поступово ускладнюється і трансформується в розрахункову, а потім – в конструктивну модель, що містить в собі всю інформацію, необхідну для виготовлення, перевірки виконання вимог замовника та класифікаційного товариства.

Таким чином, інтерактивна ІМ (цифровий двійник) судна стає ядром ЖЦ, а розробка і передача проєктантом стейкхолдерам інформації у вигляді ІМ, адаптованої під потреби кожного з етапів ЖЦ, або навіть технологічних операцій і потреб конкретного користувача, являє собою ще один генеральний напрям розвитку інжинірингу у суднобудуванні. Використання створеної ІМ полегшує взаємодію між проєктантом, верф'ю, класифікаційним товариством і замовником (власником) та знижує витрати часу на етапах підготовки та передачі проєктної інформації.

Проектування процесу (технології) виробництва об'єкту доцільно виконувати шляхом моделювання ефективних технологічних процесів складання і зварювання за допомогою ІМ з використанням ПЗ технологічної підтримки виробництва, наприклад «Sysweld», «Simufact» та ін.

На основі ІМ «Цифрова верф», з урахуванням фактичних значень змінних ресурсів, технологом розробляється декілька високо вірогідних варіантів стратегії виконання портфеля замовлень. Далі, на етапі оперативного планування та управління виробництвом, менеджер для кожної стратегії будівництва судна прораховує відповідний стапельний розклад та вибирає найкращий. При цьому використовується метод симуляції в ІМ виробництва можливих сценаріїв реалізації портфелю замовлень. Симуляція дозволяє розробити як укрупнений план за усією верф'ю, необхідний для стратегічного планування, так і строкові плани різного масштабу (коротко-, середньо- та довгострокові)¹⁵.

Таке планування можливо у ПЗ, яке реалізує метод аналізу дискретних подій (DEVS – (англ., Discrete Event System Specification)^{27,28}. В першу чергу, на базі наявних у бібліотеці готових модулів (виробниче, та технологічне обладнання, транспортні засоби, шляхи, склади тощо), компонується модель.

Процес планування завершується вибором оптимального сценарію, що включає у себе суміщений план робіт по всіх замовленнях. Результати роботи подаються у вигляді графіків, діаграм або можуть бути вбудовані у засоби оптимізації для досягнення бажаних показників. Так, розроблена для суднобудування бібліотека STS (англ., Simulation Toolkit Shipbuilding) містить деякі безкоштовні та доступні для SimCoMag спільноти²⁸ моделі, які дозволяють розв'язувати наступні завдання: оптимізація складських майданчиків, порівняння стратегій складання, симуляція насичення блоків обладнанням та системами, календарне планування побудови суден.

²⁷ Jean-David Caprace Discrete Event Production Simulation in Shipyard Workshops /Jean-David Caprace, Roberto Moreira Freire, Luiz Felipe Assis, Carlos Martins Pires//. URL: <https://www.researchgate.net/publication/258834989>.

²⁸ Cang Vo Trong, Dung Vo Anh, and Thien Doan Minh. Using 3D-CAD For Simulation-Based / Proseedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2010) March 17-19 Hong Kong – 2010. – Vol III. URL: <http://www.iaeng.org/publication/IMECS2010/>.

Важливим для успішного впровадження імітаційного моделювання виробничих процесів є їх обов'язкове інтегрування до процесів управління підприємством. Планування на базі ІМ може використовуватись задовго до початку будівництва судна, починаючи з до контрактних перемовин при спілкуванні с замовником. При складанні «шорт-листа» замовник може вимагати досить детального плану будівництва на відповідній верфі з обґрунтуванням строків будівництва.

Створена таким чином ІМ виробництва стає основою системи прийняття рішень менеджментом підприємства та піднімає ефективність оперативного управління на якісно новий рівень. Використання такого підходу потенційно дозволяє зменшити вартість будівництва судна до 20% за рахунок економії на управлінні на всіх рівнях суднобудівного підприємства. Поєднання ІМ з кіберфізичними системами, встановленими на виконавчому обладнанні, являє собою концепцію гібридного двійника²⁴, який надає змогу здійснювати моніторинг у реальному часі фактичного стану виконання робіт та оперативно проводити корегування, у випадку нештатної ситуації на виробництві, плану виготовлення замовлення.

Виготовлення (виробництво) є ядром, що генерує прибуток і обумовлює рівень конкурентоспроможності суднобудівного підприємства. Ефективність виробництва тим більша, чим більше завантаженість верфі, і підвищується пропорційно зростанню якості продукції при одночасному зниженні її собівартості та скороченні циклу будівництва судна.

Позитивний результат при цьому досягається шляхом застосування як відомих організаційних методів (використання крупногабаритного листового прокату; виготовлення деталей та конструкції в «чистий» розмір; будівництво суден з надвеликих насичених блоків та ін.), так і нових технологій (термічного гнуття; лазерного та плазмового різання з використанням водного середовища; ПЗ детального аналізу складання конструкції; гібридного автоматичного та роботизованого зварювання тощо²⁹), які неможливі без САПР.

Одним з перспективних напрямків розвитку виробництва є 3D-друк, який використовує адитивні операції (приєднання матеріалу) на відміну від процесів, пов'язаних з видаленням

²⁹ Kwang Hee Koo Development of software for computing forming information using a component based approach /Inter J NavArchitOcEngng (2009) 1:78~88. URL: <http://dx.doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0010>.

матеріалу, таких як термічне різання та механічна обробка або з постійною кількістю матеріалу – лиття, штампування та ін.

Впровадження адитивного виробництва у суднобудуванні дозволяє підвищити рівень технологічності виробів (табл. 3).

Поєднання ІМ виробу та 3D-друку дозволяє змінити зазначену закономірність та забезпечити одиничне і дрібносерійне будівництво суден методами масового виробництва з гнучкою автоматизацією і роботизацією. Організація такої виробничої структури надає можливість виготовлення з однаково високою продуктивністю деталей різної складності. Одночасно створюються умови для зниження трудомісткості виготовлення судової конструкції в цілому, оскільки зменшується кількість деталей в ній при заміні простих деталей на складні, отримані за допомогою 3D-друку.

Таким чином, підвищення технологічності конструкції можливо при збереженні складності форми і структури конструкції за рахунок зменшення кількості деталей (заміна мультидетальної конструкції на монодетальну) і підвищення ступеня відповідності форми і структури зовнішнім умовам експлуатації. У таких умовах виробництва більш складна за структурою і формою деталь може виявитися більш технологічною та надійною, ніж проста, особливо якщо розглядати її в контексті всього ЖЦ об'єкту.

Підвищення ефективності експлуатації основних фондів досягається за рахунок використання концепції гібридного двійника – комбінації ІМ, яка містить постійно актуальну історію експлуатації засобів виробництва (ремонт, модернізація, переобладнання) з моніторингом фактичного стану виконавчого обладнання у реальному часі.

Експлуатація та утилізація об'єкта. Цифровий двійник дозволяє виконувати складне імітаційне моделювання різних експлуатаційних сценаріїв і прогнозувати результат будь-яких ситуацій протягом усього ЖЦ реального об'єкта. По закінченню будівництва постійно оновлювана «жива» модель використовується в якості ядра системи управління експлуатацією (перехід, бункерування, вивантаження, ремонт, модернізація, утилізація, аварія, боротьба за живучість і т. ін.). Аналітична система, використовуючи експлуатаційні дані від устаткування, оснащеного датчиками зовнішнього середовища, і модель, як розрахункове поле в режимі реального часу, прогнозує найбільш ймовірний сценарій і пропонує коригувальну дію. Впровадження цифрових двійників з високим ступенем деталізації

вже змінює способи експлуатації, обслуговування і всієї світової індустрії.

Розробка та підтримка цифрових двійників являє собою ще одну з комерційних ланок (ніш), в першу чергу для інжинірингових фірм, які зможуть отримувати додатковий прибуток, а згодом і спеціалізуватись на підтримці цифрових двійників. Це тим більш актуально для кластерів проєктант-виробництво, тому що надає змогу отримувати постійний довгостроковий прибуток. Доцільним стає надання в оренду ІМ, з підтримкою оновлень, заводу-виробнику – на час виробництва, а власнику – на час експлуатації. На етапі експлуатації однією з важливіших функцій є надання сервісних послуг. При цьому, сервіс може здійснювати верф, на якій і було побудовано судно.

Таким чином, створюється довгострокова партнерська співпраця (джерело прибутку), націлена на ефективну експлуатацію судна, та розширюється спектр послуг, які надає верф. Це повністю змінює способи експлуатації, обслуговування у всієї світової індустрії. Для розробника та виробника це означає, в першу чергу, можливість надання довготривалих послуг щодо ЖЦ фізичного об'єкту через підтримку його цифрового двійника для забезпечення зниження вартості володіння та експлуатації.

Підготовка фахівців в умовах впровадження цифровізації у суднобудуванні здійснюються шляхом поопераційного аналізу технології виготовлення, з урахуванням переваг та недоліків обраних проєктних рішень. Підготовка проводиться через опанування практичних навичок моделювання конструкцій та стратегій будівництва суден.

В залежності від спеціалізації майбутніх фахівців розглядаються різні рівні деталізації (функція, структура об'єкта, характер взаємодії об'єкта та середовища).

4. Впровадження елементів ІТ-технологій у діяльність суднобудівного підприємства

З метою підвищення наочності технологічних процесів, отримання достовірних результатів ефективності імітації виробничих ситуацій та обґрунтування необхідності модернізації виробничого обладнання, а також впровадження інформаційних технологій були розроблені геометрично і функціонально подібні ІМ основних елементів виробництва (будівель, споруд, обладнання), приклади яких реалізовані на «СЗ «Океан» (рис. 3).

ІМ містять всі необхідні експлуатаційні і інженерні дані, мають ідентичне взаємне розташування, прив'язку до місцевості і являють собою тривимірні ІМ. Поєднання ІМ елементів виробничого процесу, розміщених в єдиній системі координат на електронному генплані, являє собою цифровий двійник верфі – «Цифрову верф»¹⁰.

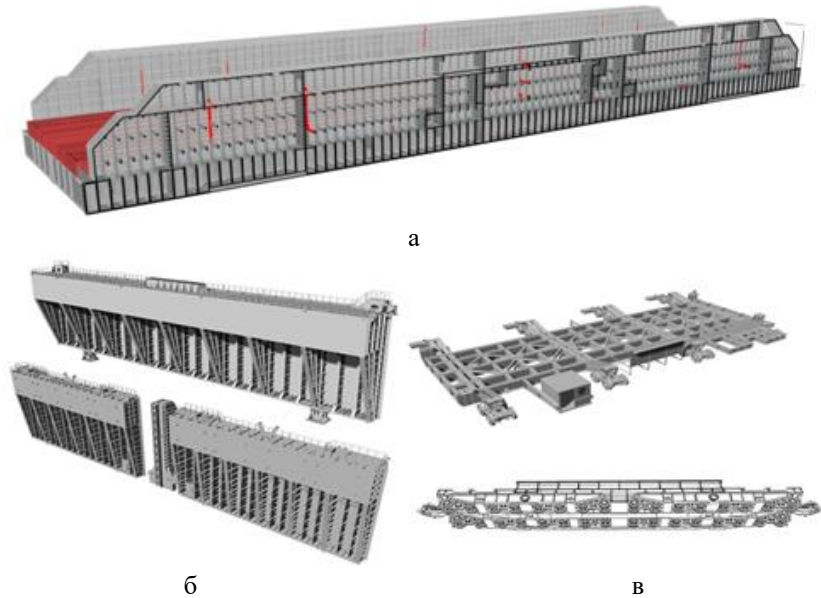


Рис. 3. Інформаційні моделі виробничих фондів: а – плавучий док вантажопідйомністю 6 тис. тонн; б – головний та проміжні затвори сухого доку вагою понад 900 тонн кожен; в – трансбордер та пересадочний візок вантажопідйомністю відповідно 600 та 1200 тонн

Інтегрування імітаційного моделювання як основи системи прийняття рішень до процесів управління «СЗ «Океан» починаючи з доконтрактних перемовин і закінчуючи післягарантійним обслуговуванням судна є основним стратегічним напрямком програми перспективного розвитку яка реалізується на підприємстві.

5. Обговорення отриманих результатів

Вирішення проблеми виходу з кризового стану вітчизняного суднобудування та перехід на нові технології суднобудування в

значній мірі забезпечується впровадженням елементів технологічної платформи Shipbuilding 4.0.

Інноваційні інформаційні технології впливають на всі етапи життєвого циклу судна та обумовлюють значні зміни у суднобудуванні. Це обумовлює активне впровадження САПР, зосереджених навколо ІМ, та бізнес-платформ підтримки ЖЦ, в які вбудовані оптимальні алгоритми «кращих практик», що сприяє «інтелектуалізації» суднобудування, і дає змогу автоматизувати вирішення проблем, які досі вважалися «творчими».

Поряд з розвитком інформаційних платформ у суднобудуванні вкрай важливим є методики проектування, що спрямовані на досягнення конкурентних переваг і враховують умови експлуатації та вимоги технології виготовлення.

Інтеграція стадій проектного та технологічного інжинірингу на базі єдиної проектно-технологічної методики, що зосереджена на ІМ, поряд з суміщенням етапів проектування та виготовлення забезпечують подальше зниження термінів і вартості будівництва суден, впливають на підвищення якості робіт. Використання генеративного дизайну, до якого включені методи прямого розрахунку надійності у поєднанні з адитивним виробництвом, стосовно до можливостей сучасного суднобудування за рахунок детального, комплексного вичерпного врахування впливів зовнішнього середовища у ІМ є ефективним засобом підвищення технологічності суднових конструкцій.

Створена один раз інтерактивна ІМ виробництва, за умови інтегрування імітаційного моделювання процесів управління підприємства, стає основою системи прийняття рішень менеджментом, а у поєднанні з кіберфізичними системами моніторингу, встановленими на автоматизоване обладнання, підвищує ефективність оперативного управління виробництвом в цілому. Використання аналогічних підходів на інших етапах ЖЦ фізичного об'єкту впливає на способи його експлуатації та обслуговування. При цьому встановлюються або поглиблюються довгострокові партнерські відносини між усіма стейкхолдерами, що сприяє зниженню вартості витрат, зв'язаних з володінням та експлуатацією судна, а також з підготовкою фахівців в галузі суднобудування та судноплавства.

Для виходу з кризового стану значну увагу потрібно приділяти інвестуванню у наукові дослідження та інженерні розробки, які

підвищують рівень конкурентоспроможності шляхом впровадження пулу новітніх інформаційних технологій.

Отриманий досвід застосування ІТ на суднобудівному підприємстві «СЗ «Океан» актуалізує і обґрунтовує необхідність подальшого розвитку та впровадження новітніх інформаційних технологій з метою виходу суднобудівної галузі з кризового стану.

ВИСНОВКИ

Тенденції розвитку світового ринку суднобудування та зростання конкуренції вимагають використання в процесах проектування та побудови суден сучасних та перспективних інформаційних технологій.

Впровадження на підприємствах сучасних інформаційних та технологічних платформ надає можливість перетворити систему управління підприємством шляхом запозичення вбудованих «кращих практик». Сценарне планування функціонування верфі в інформаційній моделі ІМ судна доцільно проводити за умови інтегрування імітаційного моделювання за допомогою програмного забезпечення, що реалізує метод аналізу дискретних подій.

Підвищити якість проектування, скоротити строки та вартість будівництва судна потенційно дозволяє комплексна методика, заснована на поєднанні проектного та технологічного інжинірингу. Методика передбачає використання єдиних детальних ІМ на стадіях проектування, виробництва і експлуатації об'єкта. Впровадження методики сприятиме зростанню ефективності інжинірингу завдяки зміні парадигми проектування, тобто у переході від проектування, «заснованого на досвіді та інтуїції людини», до «автоматичного еволюційного», заснованого на штучному інтелекті.

Надання замовнику довготривалих послуг щодо підтримки ЖЦ судна шляхом розробки, оновлення та передачі у оренду інтерактивних ІМ (цифрових двійників), адаптованих під потреби кожного з етапів ЖЦ і окремих користувачів, повністю змінює умови експлуатації та обслуговування об'єкту володіння і являє собою нову комерційну ланку (нішу) з можливістю отримання проектантом та виробником додаткового прибутку, а власником – зниження вартості володіння та експлуатації судна.

Композиція ключових ІТ, необхідних для підвищення рівня конкурентоспроможності суднобудівних підприємств України, повинна включати в себе наступні головні елементи: ІМ з засобами підтримки; виробничо-центричний ЖЦ, сформований навколо ІМ;

гібридні проектно-технологічні САПР; єдине інформаційне середовище на базі інтеграційних бізнес-платформ PLM; поєднання генеративного дизайну та адитивного виробництва як ефективних засобів підвищення ступеню відповідності умовам експлуатації.

АНОТАЦІЯ

Проаналізовані сучасні інформаційні технології, сформована композиція (пул) ключових ІТ індустрії 4.0, які доцільно використовувати для відновлення українського суднобудування. Показано, що використання нових інформаційних технологій може вирішити проблему створення ефективної системи організації та управління верф'ю завдяки, наприклад, запозиченню «кращих практик» при впровадженні сучасних бізнес-платформ.

Запропоновано виробничо-центричний життєвий цикл, акцентований на етапах виробництва, що дозволяє, за умови інтеграції імітаційного моделювання на основі інформаційної моделі процесів управління верфі, підвищити її ефективність. Розглянуто можливості, переваги та недоліки сучасних САПР, сформульовано умови їх впровадження у виробництво, враховуючи теперішній стан суднобудування України.

Описана проектно-технологічна методика, яка інтегрує проектний та технологічний інжиніринг та потенційно дозволяє скоротити строки та вартість розробки і будівництва судна, підвищити якість проектних рішень.

Розглянуто принципово новий підхід до технологічності завдяки підвищенню ступеня відповідності конструкції умовам її експлуатації. Показано, що цього можна досягти шляхом створення комбінації монодетальних вузлів, виготовлених за допомогою адитивного виробництва з плоскими секціями, виконаними автоматичним зварюванням.

Проілюстровано що надання довготривалих послуг підтримки життєвого циклу судна через адаптовані інтерактивні інформаційні моделі повністю змінює способи експлуатації, обслуговування у світової індустрії та являє собою нову комерційну нішу для зниження вартості володіння об'єктом експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегія розвитку суднобудівної промисловості України на період до 2030 року. URL:<https://www.youtube.com/watch?v=-68CJaTNRy4>

2. Аналіз стану суднобудування України у 2020 році від асоціації «Укрсудпром». URL:<https://maritimebusinessnews.com.ua/2021/08/19/213989/>

3. Слободян С.О. Нормативно-правове забезпечення проєктів та програм впровадження технологічної платформи Shipbuilding 4.0/ С. О. Слободян, Ю.М. Харитонов // «Shipbuilding&Marine Infrastructure» – 2020. – № 2 (14). – С. 17 – 29. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/3445/Slobodian.pdf>

4. Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E.F.R., Ramos, L.F.P.: Past, present and future of industry 4.0—a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Product. Res.* 55(12), 3609–3629 (2017). URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2017.1308576>

5. Hribernik K., 2016. *Industry 4.0 in the Maritime Sector*, SEA, Tokio, Japan. URL: <https://www1.mlit.go.jp/common/001127983.pdf>

6. Torres A. Identifying Challenges and success factors towards Implementing Industry 4.0 technologies in the Shipbuilding Industry. Delft University of Technology. 2018. 156 p. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A958e592d-0316-4ca8-9029-3c0961f63843>

7. Bernard Ash. Digital shipyard sounds great but what is it? The technologies making it possible. DXC Technology Company. November 2018. 11 p. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-shipyard-sounds-great-what-technologies-making-bernard-ash>

8. Парсяк В. Н. Аутсорсинг в судостроении – рост популярности / В. Н. Парсяк, Е. Ю. Жукова // «Shipbuilding&Marine Infrastructure» – 2016. – № 1-2 (5). – С. 23 – 27. URL: <http://smi.nuos.mk.ua/archive/2016/1-2/15.pdf>

9. DNV-GL Technology outlook 2025. URL: <https://www.dnv.com/Publications/technology-outlook-2025-65020>

10. Сімутенков І. В. Стратегія технічного розвитку складально-зварювального виробництва суднобудівного заводу «Океан» / І. В. Сімутенков, С. В. Драган, Д. С. Гладченко // «Shipbuilding&Marine Infrastructure» – 2021. – № 1. – С. 51 – 62. URL: <http://smi.nuos.mk.ua/archive/2021/1/7.pdf>

11. O’Leary Enterprise Resource Planning Systems: Systems, Life Cycle, Electronic Commerce, and Risk / O’Leary, Daniel L. // Cambridge University Press. – 2000. – 232p. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805936>

12. Pearce, John A.; Robinson, Richard B. Formulation, implementation, and control of competitive strategy (4 ed.) // Irwin. p. 315. Retrieved 7 February 2017. URL: https://archive.org/details/formulationimple0000pear_k4c7

13. Сараев А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии // Труды Крымской Академии наук. – Симферополь: СОНАТ, 2006. – С. 47-59. URL: https://csi.ucoz.ru/SPPR/Statya_Saraev_Shcherbina.pdf

14. R. Luming, Comparing BIM in Construction with 3D Modeling

15. In Shipbuilding Industries: Is the Grass Greener on the Other Side? (R. Luming, V. Singh) // IFIP International Federation for Information Processing 2016 Published by Springer International Publishing Switzerland 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/301573972_Comparing_BIM_in_Construction_with_3D_Modeling_in_Shipbuilding_Industries_Is_the_Grass_Greener_on_the_Other_Side

16. Young Joo Soong Research on a simulation-based ship production support system for middle-sized shipbuilding companies / Inter JNavArchitOcEngng (2009) 1:70~77. URL: <http://dx.doi.org/10.3744/JNAOE.2009.1.2.070>.

17. Rosenberg, M. Bobryakov, S. Elsevier's dictionary of technical abbreviations in English and Russian. – Amsterdam: Elsevier, 2005. URL: <https://sciarium.com/file/17929/>

18. Ступницький, В. В. Ефективність впровадження CALS-технологій на машинобудівних підприємствах. URL: http://vlp.com.ua/files/15_32.pdf.

19. Robert McNeel & Associates. URL: <https://www.rhino3d.com>.

20. Apps for Rhino and Grasshopper. URL: <https://www.food4rhino.com>.

21. Андрейчикова А. Ю. Анализ современных систем автоматизированного проектирования в машиностроении (обзор) // (А. Ю. Андрейчикова, А. Ф. Галь) Вісник НУК імені адмірала Макарова – 2013, № 1. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/visnuk_2013_1_5

22. Дубів І. І. Система деталювання й моделювання корпусу судна ДЕЙМОС: основні принципи та загальна структура. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – В зб. «Труды УДМТУ», вип. 43. – С. 32-39. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/7643/1/5-2_17_2015.pdf

23. Официальный сайт ООО Судостроительного завода Океан. URL: <https://ocean-shipyard.com/>

24. Building SMART – The International Home of BIM. URL: buildingsmart.org;
25. NAVAIS – New, Advanced and Value-Added Innovative Ships // Newsletter, March 2022, Volume 05. URL: <https://www.navais.eu/news>;
26. Hyundai Heavy Industries. World's largest shipbuilder creates first digital shipyard environment to improve productivity in Korea. Siemens Industry Software. URL: <http://siemens.com/plm>;
27. Evolving embodied intelligence from materials to machines. URL: <https://www.nature.com/articles/s42256-018-0009-9>;
28. Jean-David Caprace Discrete Event Production Simulation in Shipyard Workshops /Jean-David Caprace, Roberto Moreira Freire, Luiz Felipe Assis, Carlos Martins Pires//. URL: <https://www.researchgate.net/publication/258834989>;
29. Cang Vo Trong, Dung Vo Anh, and Thien Doan Minh. Using 3D-CAD For Simulation-Based / Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2010) March 17-19 Hong Kong – 2010. – Vol III. URL: <http://www.iaeng.org/publication/IMECS2010/>;
30. Kwang Hee Koo Development of software for computing forming information using a component based approach /Inter J NavArchitOcEngng (2009) 1:78~88. URL: <http://dx.doi.org/10.2478/IJNAOE-2013-0010>.

Information about the authors:

Simutienkov Ivan Viktorovich,

Candidate of Technical Sciences,

Chief technologist LLC «Shipyard «Ocean»

1, Zavodska Sq., Mykolaiv, 54050, Ukraine

Kharytonov Yuriy Mykolayovich,

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

9, Heroiv Ukrainy ave., Mykolaiv, 54007, Ukraine

Dragan Stanislav Volodymyrovych,

Candidate of Technical Sciences, Professor,

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

9, Heroiv Ukrainy ave., Mykolaiv, 54007, Ukraine