

КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 629.5.001:004.942

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/02>

Яглицький Ю.К.

Херсонський навчально-науковий інститут

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Кириченко К.В.

Херсонська державна морська академія

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ВІРТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ СУДНА У ЧОТИРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ

На світових ринках морської техніки в даний час відбуваються значні зміни, які пов'язані з оптимізацією виробничо-технологічних процесів, впровадженням автоматизованих систем проєктування і управління, розрахунком життєвого циклу виробів, масовим використанням сучасних інформаційно-обчислювальних систем. Зростаюча конкуренція у світовій практиці суднобудування, що постійно змінює набір інструментів САПР, змушує проєктні організації звертатися до нових технологій проєктування [1, с. 237]. Однією з самих обговорюваних технологій останніми роками є технологія створення інформаційної 4D-моделі судна, що об'єднує параметричну 3D-модель з графіками календарно-мережевого планування.

Інформаційна 4D-модель судна робить можливою реалізацію великих проєктів за рахунок ефективного планування, контролю і управління процесом створення об'єкта, що передбачає наявність великого обсягу інформаційних даних і використання календарно-мережевих графіків. Для складання календарно-мережевих графіків планування, безумовно є потужні програмні комплекси (Microsoft Project, Oracle Primavera та ін.), які використовують класичні інструменти управління проєктами. Однак описуючи склад робіт, їх послідовність і взаємозв'язок, а також ресурси, які необхідні для їх виконання, ці програмні продукти не дають можливості побачити, як будуть виконуватися роботи і який буде отриманий результат. Саме для вирішення цих проблем і створюються комп'ютерні програми, які здійснюють взаємну ув'язку 3D-графічної моделі з часовою шкалою побудови об'єкта і дозволяють набагато ефективніше здійснювати процеси планування і прогнозування, вести контроль термінів і витрати ресурсів, виявляти і запобігати можливим просторово-часовим колізіям при створенні об'єкта (судна).

У статті проаналізовано проблеми, які виникають під час неналежного впровадження нових інформаційних технологій, програмних продуктів та комп'ютерної техніки при створенні судна і зроблені висновки про можливість впровадження і наведені переваги повної віртуальної 4D-моделі судна. Ці питання залишаються актуальними і для сучасних дослідників новітніх інформаційних технологій створення віртуальних моделей судна.

Ключові слова: автоматизовані системи проєктування і управління, параметрична 3D-модель судна, інформаційна віртуальна 4D-модель судна, календарно-мережеве планування, управління підготовкою виробництва.

Постановка проблеми. У сучасних умовах головною проєктно-технологічною особливістю створення судна є впровадження нових прийомів, систем та способів проєктування, що базуються на цифрових методах розробки проєкту, зберіганні та передачі структурованої цифрової інформації на всіх етапах життєвого циклу.

Для складання правильного балансу між перевагами від впровадження нових технологій та

витратами протягом усього життєвого циклу судна необхідно використовувати техніко-економічний підхід до проєктування, який орієнтований на впровадження інноваційних технологій інформаційного моделювання та ІТ-приймів, що створюють якісні перетворення у проєктуванні суден та управлінні проєктами.

В даний час головним інструментальним засобом, що забезпечує вирішення питань на різних

стадіях проектування, конструкторсько-технологічної підготовки та будівництва судна є електронна 3D-модель судна [2, с. 33], яка повинна застосовуватися за реальною технологією проектування вже починаючи з підписання контракту на проектування і будівництво судна. Потім вона повинна бути інформаційно розширена до масштабів реального судна при розробці техпроєкту, а згодом використана на заводі-будівнику при конструкторсько-технологічній підготовці виробництва і будівництві, а також при швартовних та ходових випробуваннях.

Фактор часу у загальному процесі розробки та будівництва судна також відіграє велику роль – час має бути враховано і включено до створюваної моделі як один з істотних елементів. Таким чином, ми отримуємо *концепцію 4D-моделі продукту (судна)*, яка об'єднує параметричну 3D-модель з графіками календарно-мережевого планування [6, с. 67].

Отже, мета цієї статті – надати рекомендації щодо створення віртуальних моделей судна, які можуть бути використані в якості основи для моделювання різних технологічних процесів, а також багатьох інших видів моделювання, що використовуються при проектуванні і будівництві різних типів суден.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням проблемних питань обґрунтування вибору та рекомендацій щодо впровадження в виробництво *концепції 4D-моделі* (четвертий вимір – час життєвого циклу судна), що об'єднує параметричну 3D-модель з графіками календарно-мережевого планування займались німецька компанія SAP, а також Deltamarin – фінська компанія, що спеціалізується на проектуванні суден [3, 4].

Висвітленням питань сучасного стану інформаційного моделювання суден та виробничої інфраструктури суднобудівного підприємства займались автори Горін Е. О., Попадюк С. С., Давидович О. М., Риндін О. А., Куперштейн В. І. [1-2; 5-7] та інші. У відповідних публікаціях розглянуті різні питання проектування суден та підготовки виробництва в суднобудуванні з використанням інформаційних технологій та передумови їх практичного застосування.

Основним завданням даної роботи є необхідність більш наочно розглянути і проаналізувати можливості основних інформаційних технологій та засобів тривимірного проектування і деталізації віртуальної 4D-моделі судна для інформаційного забезпечення різних технологічних процесів в суднобудуванні.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Сьогодні, розглядаючи суднобудівний ринок споживачів систем автоматизованого проектування, можна констатувати, що він більш-менш насичений. Верфі, націлені на інтенсивний та високотехнологічний підхід у проектуванні, здебільшого є власниками різного програмного забезпечення. Серед них – засоби тривимірного проектування, моделювання, проведення інженерних розрахунків та інші програми. Проте закупленим програмним забезпеченням необхідно вміло користуватися – вибудувати технологічний ланцюжок, сформувати єдине середовище проектування, щоб забезпечити наступність переходу об'єкта (судна) на різні стадії життєвого циклу.

Наслідком неналежного впровадження нових інформаційних технологій, програмних продуктів та комп'ютерної техніки при створенні

судна (проектуванні та будівництві) є створення безлічі різних проблем.

Основні серед них такі:

- проєктна документація створюється без моделювання основних функцій судна;
- відсутня ефективна координація та розподіл робіт з проектування та будівництва на верфі;
- відсутня регламентація діяльності численних підрядників, субпідрядників та постачальників;
- не існують загальні для всіх інструменти і методи, які б могли використовуватися на різних стадіях проектування та конструкторсько-технологічної підготовки виробництва;
- на верфях та в проєктних конструкторських бюро суднобудівної галузі застосовується обмежена кількість основних комп'ютерних систем;
- у суднобудівних компаніях під час проектування компонентів судна використовуються різні програмні продукти зі слабкою інтеграцією між ними;
- координація розрізнених зусиль фахівців при проектуванні та будівництві займає багато часу і найчастіше виявляється малоефективною, реальна взаємодія з'являється лише на етапі будівництва;
- помилки, які закладені на ранніх стадіях проектування, виправляються ціною дуже витратних рішень під час будівництва;
- відсутня єдина модель продукту (судна).

Цілком очевидно, що головним інструментом для вирішення цих проблем є створення електронної 3D-моделі судна. В даний момент 3D-моделювання в основному використовується для випуску робочих креслень та проектування

систем у складі конструкцій корпусу судна (рис. 1). Крім того, доводиться констатувати, що техніка комп'ютерного моделювання тривимірного майже не використовується на етапі проектування судна. Хоча, на думку експертів, 3D-моделювання має застосовуватися відповідно до реальної технології проектування вже починаючи з ескізного проекту, а краще ще до підписання контракту на проектування та будівництво судна. Отримана на етапі ескізного проектування 3D-модель згодом може бути розширена до масштабів реального судна під час випуску технічного проекту і в процесі випуску робочої конструкторської документації, а на заводі-будівнику використовуватись від конструкторсько-технологічного опрацювання виробництва та будівництва до швартовних та ходових випробувань, тобто вона повинна містити всю необхідну інформацію.

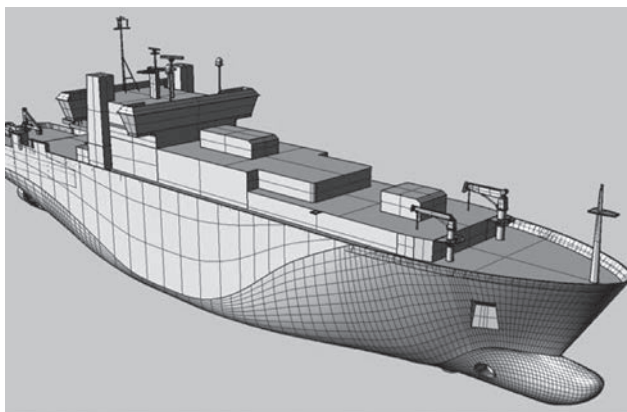


Рис. 1. 3D-модель корпусу судна

Через об'єктивні причини завдання проектування та виготовлення виробів у вітчизняному суднобудуванні вирішуються з використанням САПР різного рівня [7, с. 51]. За допомогою більш простих САПР можна моделювати та обробляти конструкції суден. Під обробкою тут розуміється формування даних (креслень, технологічних документів тощо), які необхідні для виготовлення судна, оперативного формування теоретичної 3D-моделі судна методами, що традиційно застосовуються у суднобудуванні (за допомогою суднобудівних термінів і понять). Надалі, використовуючи інтерфейсні засоби, забезпечується можливість передавати ці моделі в САПР вищого рівня (наприклад, CATIA) і перетворювати їх у необхідний для подальшого конструювання вид. У цьому випадку підготовка конструкторської документації проводиться вже на основі структурованих теоретичних 3D-моделей, що значно спрощує процедуру передачі 3D-моделей та про-

ектно-конструкторської документації замовнику [6, с. 69].

Необхідно також відзначити, що при цьому основним завданням 3D-моделі (на початковому етапі) є візуалізація дизайну інтер'єру судна та моделювання динамічних процесів, що дозволяє будь-якому учаснику створення проекту ясно уявити собі специфічні елементи – наприклад, розташування обладнання у машинному відділенні, канали вентиляції, підйом якоря на транспортному судні тощо.

Практичний досвід створення подібних віртуальних 3D-моделей суден у вітчизняному суднобудуванні та з урахуванням практики зарубіжних компаній дозволяє зробити такі висновки:

- формування віртуальної моделі займає не більше часу, ніж підготовка типових креслень загального розташування;

- візуальне представлення будь-якої нової конструкції судна, приміщення чи розташування обладнання стає більш ефективним;

- модель разом з математичним описом характеристик маневрування

- судна може бути пов'язана з програмою для віртуального моделювання навігації;

- детальна віртуальна модель судна може використовуватися як контрактний документ для будівництва;

- віртуальна модель судна може використовуватися у якості моделі технології будівництва на верфі;

- технічний проєкт судна може бути завершений з використанням тієї ж моделі – з урахуванням вимог класифікаційного товариства, що відносяться до конструкції корпусу судна.

Створені віртуальні 3D-моделі суден можуть бути використані як основа для моделювання різних технологічних процесів, наприклад, для визначення оптимального використання конкретних виробничих потужностей, таких як споруди, цехи, стапелі, спеціалізовані пристрої, для моделювання переміщення матеріалів та виробів (листів, трубопроводів, матеріалів, секцій та складених корпусів тощо), для складання стапельного розкладу, для оптимізації виробничо-технологічних процесів, а також для моделювання рятувальних операцій (як мінімум процесу евакуації пасажирів), за вимогами ІМО. Динамічне моделювання дозволяє визначити необхідний для евакуації час, виявити можливі «вузькі місця». Таким чином, і з цієї точки зору 3D-модель є ефективним інструментом перевірки проєкту на ранній стадії, а також на заключних етапах інженерної розробки.

Для складання календарно-мережевих графіків планування, безумовно є потужні програмні комплекси (Microsoft Project, Oracle Primavera та ін.), які використовують класичні інструменти управління проектами: метод критичного шляху, побудова діаграми Ганта, постановку завдань, відстеження ефективності виконання робіт та ін. Однак описуючи склад робіт, їх послідовність і взаємозв'язок, а також ресурси, які необхідні для їх виконання, ці програмні продукти не дають можливості *побачити*, як будуть виконуватися роботи і який буде отриманий результат. Для успішної реалізації проекту судна з обґрунтованим графіком і оптимальним рівнем витрат необхідні оперативна координація дій виконавців і ефективний розподіл завдань з проектування і будівництва.

Незамінним інструментом керівників усіх рівнів сучасного суднобудівного підприємства має бути проектне управління, як методологія та інструмент планування й контролю робіт з розробки й підготовки виробництва і виготовленню складних технічних систем, якими є вироби суднобудування з високим рівнем складності та невизначеності.

Функціональність управління проектами повинна бути нерозривною частиною великого ERP (Enterprise Resource Planning – планування ресурсів підприємства) – рішення, що управляє господарською діяльністю всіх основних підрозділів та служб суднобудівного підприємства [3]. Це дозволяє реалізувати автоматичний збір актуальної інформації про поточний стан проекту за всіма основними параметрами: терміни, витрати,

виконані роботи, випущена продукція, витрачені ресурси, виручка та платежі, бюджети, завантаження виробничих потужностей та персоналу.

Структура проекту побудови судна складається з таких основних елементів (рис. 2) [3]:

- структурний елемент – завдання чи група завдань, які необхідно вирішити під час виконання проекту;

- операція – конкретна робота, яка має бути виконана з метою реалізації завдання структурного елемента проекту, з яким пов'язана операція;

- етап – інформаційний об'єкт, що пов'язаний з подіями, які мають особливе значення для перебігу проекту.

Створення проекту здійснюється на етапі підготовки та укладання контракту на розробку документації та будівництво нового судна. На початкових етапах має місце недостатність даних, що описують проект, наприклад, не повністю визначено його структуру, приблизні часові терміни тощо. Тому процеси створення структури проекту та пов'язане з нею планування за проектом є динамічними процесами.

У ході реалізації проекту виробничі замовлення (найчастіше це замовлення на виготовлення об'єктів машино-будівної частини), що стосуються даного проекту, можуть бути пов'язані з відповідними операціями мережевого графіка проекту (техкомплектами), що забезпечує акумулювання даних, що відображають процес реалізації виробничого замовлення на відповідному структурному елементі проекту.

Структура проекту є моделлю проекту – ієрархії завдань та робіт, які мають бути реалізовані.

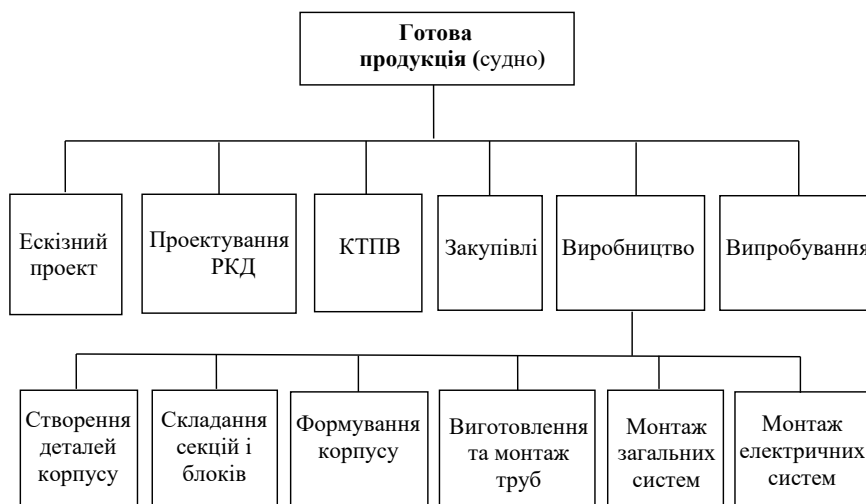


Рис. 2. Структура проекту побудови судна:
КД – робоча конструкторська документація,
КТПВ – конструкторсько-технологічна підготовка виробництва

Відповідно, структура проекту є основою для реалізації всіх основних видів планування та управління проектами:

- календарне планування;
- планування закупівель та виробництва;
- планування та балансування завантаження виробничих потужностей;
- планування завантаження трудових ресурсів;
- планування витрат;
- фіксування (доказ) фактичних результатів виробничого процесу.

У суднобудуванні при плануванні виробництва в обов'язковому

порядку використовується методологія *PDCA* («*Plan – Do – Check – Act*» – «*планування – дія – перевірка – коригування*»), яка є алгоритмом дій з управління процесом і досягненню його цілей (рис. 3) [5, с. 168]. До циклу управління процесом побудови судна входять:

- планування – встановлення цілей і процесів, необхідних для їх досягнення; планування робіт по досягненню цілей процесу й задоволенню споживача; планування виділення і розподілу необхідних ресурсів;
- виконання – реалізація запланованих робіт;
- звітність і моніторинг – збір інформації і контроль результату на основі ключових показників, які були одержані в ході виконання робіт; виявлення й аналіз відхилень, встановлення причин відхилень.

– коригуючі дії – вживання заходів по усуненню причин відхилень від запланованого результату, зміни в плануванні й розподілі ресурсів.

Планування виконання суднобудівного замовлення багаторівневе –

воно засноване на побудові мережевих графіків різного рівня. По суті, мережевий графік – це динамічна модель суднобудівного замовлення, що включає виробничий процес, розробку документації та багато інших робіт (завдань). Ця модель відображує технологічну і логічну залежність, послідовність виконання комплексу робіт й пов'язує їх здійснення в часі з урахуванням витрат ресурсів і вартості робіт та виділенням при цьому вузьких (критичних) місць проекту. При цьому існує різна деталізація проекту, яка включає декілька мережевих графіків різного рівня, взаємозв'язаних по ключових точках.

На 1-му рівні деталізації стоїть генеральний графік будівництва, закріплений контрактними зобов'язаннями. Далі на основі генерального графіка (чи графіка 1-го рівня), що включає ключові процеси і контрольні точки (віхи) проекту, а також технологічного графіка, формується календарно-мережевий графік проекту, кожне завдання якого у свою чергу деталізується до локальних графіків виготовлення секцій й приміщень або монтажу конкретного устаткування.

Календарний графік проекту спрощує планування та управління проектами. Він надає



Рис. 3. Цикл *PDCA* в суднобудівному виробництві

графічну картину всього проєкту та пропонує різні функції обробки інформації. З допомогою цих функцій можна, зокрема, проводити календарне планування ресурсів, виконувати балансування завантаження виробничих потужностей, калькулювати витрати.

Для календарного планування проєктів передбачені виробничі календарі та графіки чергування змін на робочих місцях. Поряд із плануванням від початкових та кінцевих термінів для мережевих графіків передбачені інші види календарного планування: наприклад, за допомогою планування «від сьогодні» можна перевірити, чи реальне виконання мережного графіка до певного терміну.

У ході реалізації проєкту виникає необхідність фіксування фактичних даних про виконані роботи та витрачені ресурси. Введення фактичних даних здійснюється за допомогою спеціальної процедури – *підтвердження*. *Підтвердження* мають велике значення для реалістичного та детального управління проєктом. З їхньою допомогою забезпечуються такі функції:

- оновлення інформації щодо завантаження виробничих потужностей;
- оновлення фактичних витрат;
- актуалізація даних операцій мережевого графіка.

За *підтвердженням* реєструються фактичні дані – наприклад, терміни, робоче місце (одиниця обладнання, ділянка, цех), тривалість різних сегментів операції (час налагодження, час обробки тощо), трудомісткість, кількість придатної продукції, табельний номер виконавця, інформація з якості.

Таким чином, можна побачити, що поточне планування, генеральний графік будівництва та інструменти виконання проєкту пов'язані з вірту-

альною 4D-моделлю судна, а оновлення генерального графіка відбувається паралельно з коригуванням моделі.

Повна віртуальна 4D-модель продукту (судна), що включає конструкції, трубопроводи, канали вентиляції, кабельні траси та основні компоненти, а також віртуальна модель верфі з усіма виробничими лініями, кранами й будовними зонами дають можливість легко моделювати процес будівництва судна з різними варіантами рішень для вибору оптимального [8].

Висновки. Узагальнюючи зазначене вище, за результатами оцінювання встановлено, що 4D-модель є більш оптимальною та універсальною в порівнянні з 3D-моделлю судна.

4D-моделювання об'єднує 3D-модель судна і його календарний план будівництва, що дозволяє сформувати візуально підкріплений календарний графік робіт, який дає можливість оптимізувати процес безпосередньо до початку будівництва судна.

Синхронізація 4D-моделі з календарними графіками дозволяє визначити в який момент часу і які конструкції мають бути виготовлені, перевірити елементи судна (деталі, вузли, секції, блоки) на перетини і якісне стикування, базово проаналізувати витрати, перевірити критичні етапи будівництва і т. п.

Використання 4D-моделі знижує кількість і критичність помилок, підвищує продуктивність проєктувальників, значно покращує якість кінцевого продукту (судна).

Детальна віртуальна 4D-модель судна в якості контрактного документу для побудови дозволяє безпосередньо після підписання контракту почати координацію робіт усіх організацій, які залучені в проєкт.

Список літератури:

1. Горин Е. А. Цифровые технологии в отечественном судостроении // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017, № 11 (24), С. 236-242.
2. Попадюк С. 3D-технологии в судостроении // Rational Enterprise Management/ 2017, № 2, С. 32-34.
3. Решение SAP для судостроения [Электронный ресурс] / Офіційний сайт компанії SAP – Режим доступа: <http://www.sap.ru>.
4. Offshore engineering process. Решение DELTAMARIN для судостроения [Электронный ресурс] / Офіційний сайт компанії DELTAMARIN: deltamarin.com
5. Яглицький Ю. К. Підготовка виробництва в суднобудуванні з використанням інформаційних технологій: навчальний посібник / Ю. К. Яглицький. – Миколаїв: НУК, 2018. – 300 с.
6. Давидович А. Н. Использование виртуального и материального цифрового производства – будущее судостроительной отрасли // CADmaster. – 2010. – № 2, С. 66-74.
7. Яглицький Ю. К., Кудашев О. О. Інноваційні інструменти вирішення сучасних завдань суднобудівної промисловості. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК. 2021, С. 50-52.
8. Макеєв С., Тучков А., Рындин А. Информационное моделирование производственной инфраструктуры судостроительного предприятия // Rational Enterprise Management. Эл. версия., 2019, № 3.

Yahlytskyi Yu.K., Kyrychenko K.V. RESEARCH OF THE CONCEPT OF THE VIRTUAL VESSEL MODEL IN FOUR-DIMENSIONAL SPACE

Significant changes are currently taking place in the world markets of marine technology, which are related to the optimization of production and technological processes, introduction of automated design and control systems, calculation of product life cycle, mass use of modern information and computer systems. Growing competition in the world practice of shipbuilding, which is constantly changing the set of CAD tools, forces design organizations to turn to new design technologies. One of the most discussed technologies in recent years is the technology of creating information 4D-model of the vessel which combines a parametric 3D-model with graphs of network planning.

Information 4D-model of the vessel makes it possible to implement large projects through effective planning, control and management of the process of creating the object, which requires a large amount of information data and the use of calendar and network graphs. To compile calendar-network scheduling schedules, there are certainly powerful software packages (Microsoft Project, Oracle Primavera, etc.) that use classic project management tools. However, describing the composition of the work, their sequence and relationship, as well as the resources needed to perform them; these software products do not provide an opportunity to see how the work will be performed and what the result will be. It is to solve these problems that computer programs are created, which interconnect the 3D-graphic model with the time scale of object construction and allow much more efficient planning and forecasting processes, control the timing and cost of resources, identify and prevent possible space-time collisions when creating an object (vessel).

The article analyzes the problems that arise during the improper implementation of new information technologies, software products and computer technology in the creation of the vessel and draws conclusions about the possibility of implementation and presents the benefits of a complete virtual 4D model of the vessel. These questions remain relevant for modern researchers of the latest information technologies for creating virtual vessel models.

Key words: *automated systems of design and management, parametric 3D-model of the vessel, information virtual 4D-model of the vessel, calendar-network planning, production preparation management.*