

К.В. Кошкін, О.В. Дрозд, І.В. Антикова, А.В. Мандра

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв

МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТІВ СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ВІРТУАЛЬНИХ ВЕРФЕЙ

Запропоновано математичну модель віртуальної верфі, яка враховує послідовність та терміни виконання пакетів робіт у процесі побудови судна. Виконано моделювання створення оптимальної верфі з використанням ресурсів різних виконавців.

Ключові слова: управління проектами, верфь, віртуальне виробництво, математичне моделювання

Предложена математическая модель виртуальной верфи, которая учитывает последовательность и сроки выполнения пакетов работ при построении судна. Выполнено моделирование создания оптимальной верфи с использованием ресурсов различных исполнителей.

Ключевые слова: управление проектами, верфь, виртуальное производство, математическое моделирование

A mathematical model of virtual shipyard, which takes into account the sequence and timing of work packages for construction vehicles. Simulating an optimal use of resources shipyard with different artists.

Keywords: project management, shipyard, virtual manufacturing, mathematical modeling

Постановка проблеми

Відомі зміни в економіці й робота українських суднобудівних підприємств переважно із зарубіжними замовниками принципово змінили підходи до реалізації практично всіх стадій життєвого циклу створення судна. Необхідність забезпечення конкурентоздатності українського суднобудування вимагає істотного розширення сфери маркетингу, скорочення термінів і підвищення гнучкості проектування, скорочення термінів і зниження вартості витрат на виробництво.

Рішення цих завдань можливо тільки у разі кооперації багатьох виконавців за принципом "best in the class", упровадження сучасних інформаційних технологій і систем управління проектами. Схему поглибленої кооперації виконавців у процесі побудови судна показано на рис. 1 [1; 2; 7; 9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Центральним і визначальним для інформаційної виробничої моделі судна є дизайн. Це комплекс проектно-технологічних розробок, що визначає вигляд судна і способи його побудови. Упровадження комп'ютеризованих інтегрованих виробництв стає

фундаментально новим підходом, новою філософією суднобудівного виробництва [1; 2; 3; 7; 9].

Ідеологія сучасної організації проектних робіт у суднобудуванні включає в себе декілька етапів.

1. Визначення концепції й основних показників судна на основі результатів маркетингових досліджень ринку суден.

2. Формування технічного завдання.

3. Попереднє (ескізне) проектування і підготовка контрактної документації для проведення переговорів з потенційними замовниками.

4. Підготовка контрактної документації (контракт, специфікація, загальне розташування, мейкерс-лист устаткування, загальне розташування машинного відділення, мідель-шпангоут, вихідні технічні вимоги на постачання основного комплектуючого устаткування) на основі контрактних переговорів із замовником судна.

5. Розробка класифікаційного проекту.

6. Розробка робочого проекту із застосуванням CAD/CAM/CAE-систем.

Протягом всіх етапів у організації і виконанні проектних робіт з елементами організації віртуального проектування бере участь підприємство верфь-будівельник, брокерські компанії, проектні організації, постачальники основного комплектуючого устаткування.

На етапі класифікаційного проекту передбачається кооперація за проектними розробками з постачальниками основного комплектуючого устаткування (головний двигун, головний розподільний щит, навігаційні пульти тощо, основне устаткування), метою якої є уточнення вихідних технічних вимог на постачання устаткування і його прив'язка до проекту судна.

Організація проектних робіт на етапі робочого проекту може передбачати участь у проектуванні декількох проектних організацій, що розподіляють між собою обсяги робіт.

Організація кооперації робіт у формі тимчасового консорціуму виконавців для реалізації проекту з використанням сучасних інформаційних технологій для управління ним являє собою віртуальне підприємство (ВП).

Віртуальна верф являє собою оптимальну (в аспекті мінімальної ціни) організацію роботи багатьох виконавців над проектом створення судна. Під час формування віртуальної верфі мають бути враховані витрати і ресурси потенційних виконавців, а також можливості забезпечення управління проектом на різних стадіях життєвого циклу створення судна.

Схема організації віртуальної верфі здійснюється з використанням планово-облікових одиниць (ПОО) різного рівня. На рівні віртуального підприємства застосовуються такі ПОО: зібраний корпус, секції, блоки, матеріали, устаткування, роботи на підприємстві-будівельнику, а як їхні обмеження служать вимоги замовника, генеральний графік побудови, виробничі й технологічні можливості виконавців.

Як ПОО рівня виконавців використовуються техкомплекти і бригадокомплекти, а обмеженнями служать плани й виробничі завдання відповідного рівня, а також виробничі можливості цехів, ділянок, бригад і технологічні особливості виробництва.

Формування віртуальної верфі здійснюється шляхом розв'язання задачі лінійного цілочислового програмування (ЛЦП).

Організація робіт в рамках проекту потребує відповідного алгоритмічного і програмного забезпечення. Широко відомі системи управління проектами Microsoft Project, Time Line, Primavera Project Planner, Artemis Views та ін. [2; 5; 8], що використовуються також в управлінні виробництвом в суднобудуванні.

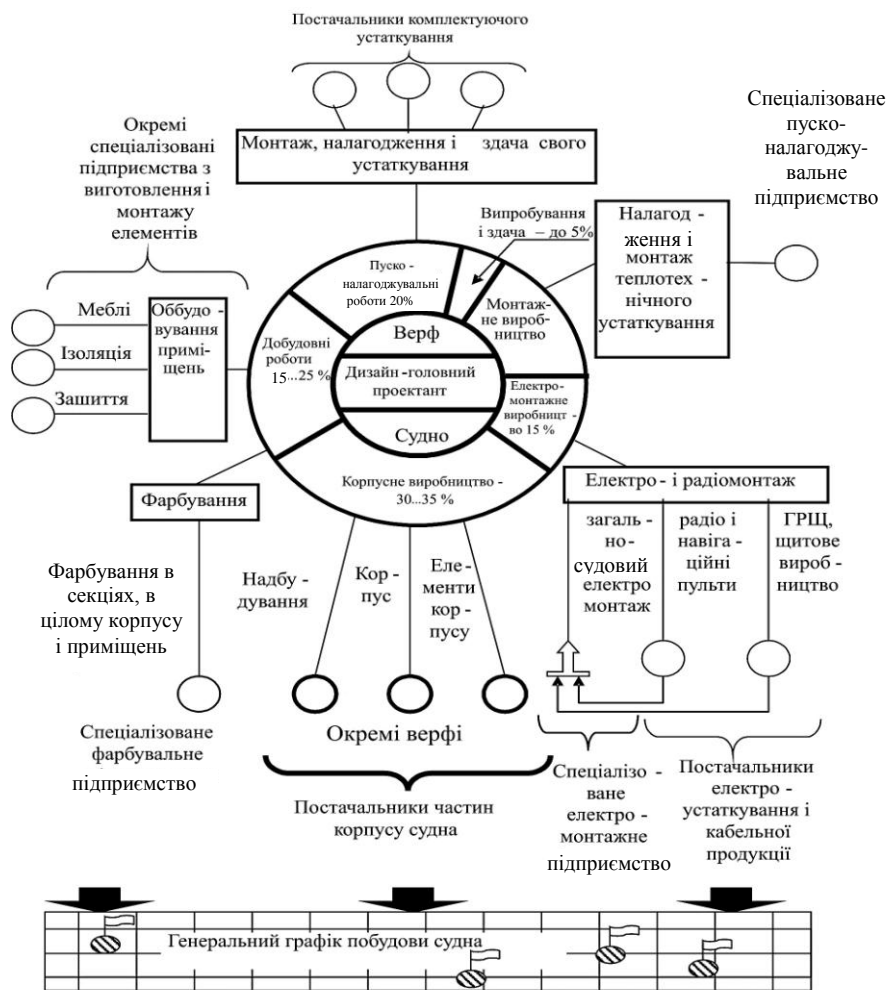


Рис. 1. Схема поглибленої кооперації виконавців у процесі побудови судна

Мета статті

Метою статті є розробка математичного забезпечення управління проектами створення ефективних віртуальних підприємств.

Виклад основного матеріалу

Організація ВП має свої особливості, які відображають на верхньому рівні необхідність формування оптимальної верфі з декомпозицією проекту на відповідні ПОО, які можуть виконуватись учасниками ВП, а на нижньому рівні – оптимальну реалізацію ПОО учасниками ВП.

З урахуванням цілочисельного характеру організації ВП (партнер або запрошується до участі у ВП, або ні) для моделювання формування віртуальної верфі використовується апарат ЛЦП [3; 5].

В якості вхідних даних для формування ВП у суднобудуванні будемо використовувати ПОО у вигляді технологічних комплектів (або взаємопов'язаної підмножини технологічних комплектів).

Введемо такі визначення:

1. Вхідні дані:

$i = \overline{1, k_1}$ – номер технологічного комплекту (ТК);

$j = \overline{1, k_2}$ – номер учасника ВП (виконавця), який

відповідає за виконання i -го ТК;

T_{ij} – час виконання i -го ТК j -м виконавцем;

I_{1i} – множина номерів виконавців, які можуть виконати i -й ТК.

Для кожного i -го комплекту ($i = \overline{1, k_1}$) задається множина номерів комплектів $I_{2i} = \{i_{11}, i_{12}, \dots, i_{1k_1}\}$, які мають бути виконані до початку виконання i -го ТК (зазначимо, що множина I_{2i} не залежить від того, якому виконавцю буде призначений i -й ТК):

C_{ij} – витрати на виконання i -го ТК j -м виконавцем;

T – загальний період часу на виготовлення всіх ТК (верхня межа);

$T = k_3 m$, де m – масштаб часу (змiна, доба, тиждень, місяць, квартал і т.д.).

Далі покажемо, що математична модель очевидним чином змінюється, якщо масштаб часу m залежить від номера ТК. В моделі T для всіх виробів розбито на k_3 однакових для всіх ТК мiр часу;

τ_{ij} – цілочисельний час виконання i -го ТК j -м виконавцем, який задано в масштабі m ;

$t_i (i = \overline{1, k_1})$ – час початку виготовлення i -го ТК;

$$x_{ijl} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й ТК починає виконувати} \\ & j\text{-й виконавець у } l\text{ момент} \\ & \text{часу } (l = \overline{1, k_3}); \\ 0 & \text{- в іншому випадку ;} \end{cases}$$

u – цілочисельний час виконання проекту (або його частини).

2. Функціонал

В якості функції мети приймається мінімум витрат на побудову судна

$$\min \sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j \in I_{1i}} C_{ij} \sum_{l=1}^{k_3} x_{ijl} . \quad (1)$$

3. Обмеження

Початок виконання j -го ТК i -м виконавцем в момент часу l , що відповідає умові $x_{ijl} = 1$ визначається таким обмеженням

$$\sum_{j \in I_{1i}} \sum_{l=1}^{k_3} x_{ijl} = 1; \quad i = \overline{1, k_1}; \quad x_{ijl} \in \{0, 1\}. \quad (2)$$

Момент часу t_i , в який починається виконання i -го ТК, тобто момент часу відповідає тому l , при якому $x_{ijl} = 1$, визначається як

$$t_i = \sum_{l=1}^{k_3} l \sum_{j \in I_{1i}} x_{ijl}, \quad i = \overline{1, k_1} \quad (3)$$

Початку виконання j -го ТК i -м виконавцем технологічно має передувати виконання p -го ТК, тобто час t_i має задовольняти умові

$$t_i \geq \sum_{j \in I_{1p}} \tau_{pj} \sum_{l=1}^{k_3} x_{pjl} + t_p; \quad p \in I_{2i}; \quad i = \overline{1, k_1}, \quad (4)$$

де τ_{pj} – час виконання p -го ТК j -м виконавцем.

Обмеження загального часу виконання проекту може бути реалізовано у вигляді такого обмеження :

$$y \geq t_i + \sum_{j \in I_{1i}} \tau_{ij} \sum_{l=1}^{k_3} x_{ijl}; \quad i = \overline{1, k_1}; \quad y \leq k_3, \quad (5)$$

де вираз в лівій частині нерівності (5) являє собою загальний час виконання проекту.

З урахуванням можливих обмежень фінансування проекту, викликає інтерес задача мінімізації часу виконання проекту (або його частини), тобто за обмежень (2) – (5):

$$\min u \sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j \in I_{1i}} C_{ij} \sum_{l=1}^{k_3} x_{ijl} \leq C, \quad (6)$$

де C – граничний обсяг фінансування проекту.

Вище зазначалось, що математична модель залежить від вибору масштабу часу m . Нехай $m_i = \overline{1, k_1}$ – масштаб часу виконання, i -го ТК, тоді $T = p_i m_i, \quad i = \overline{1, k_1}$.

У масштабі часу m_i вирази (3), які визначають початок виконання i -го ТК j -м виконавцем можуть бути записані так :

$$t_i = \sum_{l_1=1}^{p_i} l_1 \sum_{j \in I_{1i}} x_{ijl_1}; \quad i = \overline{1, k_1}; \quad l_1 = \overline{1, p_i}, \quad (7)$$

а обмеження (2) і (5) відповідно

$$\sum_{j \in I_{ij}} \sum_{l_i=1}^{p_i} x_{ijl_i} = 1; \quad i = \overline{1, k_1}; \quad (8)$$

$$d_i t_i \geq \sum_{j \in I_{ip}} d_p \tau_{pj} \sum_{l_p=1}^{p_i} x_{pjl_p} + d_p t_p, \quad (9)$$

де d_i – коефіцієнт, який приведе до єдиного t_i і τ_{ij} к єдиному масштабу часу для всіх $i = \overline{1, k_1}$.

$$y \geq d_i t_i + \sum_{j \in I_{ij}} d_i \tau_{ij} \sum_{l=1}^{k_3} x_{ijl_i}. \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j \in I_{ij}} C_{ij} \sum_{l=1}^{p_i} x_{ijl_i} \leq C. \quad (11)$$

У разі вирішення сформульованої ЗЛЦП відомими методами (наприклад модифікованим методом О.А. Павлова) [6; 11], необхідно цю задачу звести до стандартної форми :

$$\begin{aligned} & \max \\ & \min \end{aligned} l^T x; \quad A x \leq b; \quad x_j \equiv \mathbf{0} \pmod{\mathbf{1}}; \quad i = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Таким чином, трьохіндексні булеві змінні, x_{ijl} , $i = \overline{1, k_1}$, $j \in I_{ij}$, $l = \overline{1, k_3}$ для моделі (2) – (6) треба перевести до одноіндексних змінних x_i , $i = \overline{1, k_1 k_2 k_3}$.

Аналогічна процедура має бути проведена для моделі (7) – (11). Ця задача не є тривіальною у зв'язку з тим, що наведені вище моделі містять коефіцієнти при трьохіндексних змінних, наприклад (3) и (7). Таким чином, для задання матриці A (12) необхідно установити взаємооднозначну відповідність між p – індексом x_p і трійною ijl змінною x_{ijl} .

Для формування віртуальної верфі та управління проектами на верхньому рівні враховуються основні пакети робіт генерального графіка побудови судна: x_1 – підготовка виробництва; x_2 – обробка металу; x_3 – збирання секцій і установлення елементів насичення; x_4 – фарбування секцій і їхнє насичення; x_5 – формування корпусу, остаточне установлення основного насичення і спускання на воду; x_6 – добудування (x_6^I – механомонтажні роботи, x_6^{II} – трубомідні, x_6^{III} – добудовні, x_6^{IV} – контрагентські роботи з монтажу і налагодження устаткування); x_7 – здавання судна (ходові та швартовні випробування); x_8 – розробка проектної і робочої конструкторської документації, укладання контрактів на закупівлю матеріалів і устаткування; x_9 – закупівля і постачання матеріалів і устаткування.

Події x_1 , x_5 , x_7 переважно реалізуються підприємством-будівельником (верфю); x_4 , x_6 – припускають участь спеціалізованих підприємств (організацій); x_2 , x_3 , x_8 – допускають рівнобіжну роботу декількох виконавців; x_9 – реалізуються різними фірмами-постачальниками матеріалів і устаткування.

Зниження витрат на будівництво судна досягається за рахунок формування оптимальної верфі, що передбачає вибір оптимальних спеціалізованих підприємств і постачальників (пакети робіт x_4 , x_6 , x_9), організацію віртуального виробництва (x_2 , x_3 , x_8) і забезпечення управління проектом з урахуванням реалізації пакетів робіт підприємства-будівельника (x_1 , x_5 , x_7) на всіх стадіях життєвого циклу судна.

Як функціонал для формування оптимальної віртуальної верфі будемо використовувати

$$\max \left[D_1 P \left(1 - \frac{t_i + \sum_{j \in I_{ij}} \tau_{ij} \sum_{l=1}^{k_3} x_{ijl}}{\tau_\Sigma} \right) + D_2 \left(P_\Sigma - \sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j \in I_{ij}} C_{ij} \sum_{l=1}^{k_3} x_{ijl} \right) \right],$$

де P_Σ, τ_Σ – вартість судна і час його будівництва за умовами контракту;

P – планований прибуток за умовами контракту;

D_1, D_2 – вагові коефіцієнти, визначені експертами;

t_1 – час початку виконання останньої ПОО.

Функціонал дасть змогу залежно від потреб виробництва, обумовлених ваговими коефіцієнтами D_1, D_2 , враховувати скорочення терміну будівництва (у порівнянні з умовами контракту), що істотно при напруженій виробничій програмі.

Вихідні дані для математичної моделі визначаються умовами контракту на будівництво (P_Σ, T_Σ, P), умовами організації виробництва на підприємствах-виконавцях (C_{ij}, τ_{ij}), а також технологічними умовами виконання проекту (t_i , система обмежень).

Найбільш трудомісткою є процедура визначення інтегральних характеристик C_{ij}, τ_{ij} виконання подій $\{x_i\}$, для чого використовувалися два методи: точний – на основі ПОО нижнього рівня і наближений – на основі статистичних даних побудови судів, подібного типу.

Докладніші результати оптимізаційного моделювання за участю альтернативних виконавців верфі x_1, x_2, x_3, x_4 наведені в таблиці і на діаграмах (рис. 2, 3), які відображають основні етапи життєвого циклу (ЖЦ), будівництва судна і оптимізацію його побудови на віртуальній верфі.

Результати моделювання побудови судна на віртуальній верфі

№ з/п	Виконавці	Режим роботи		Додатковий прибуток, %	Завантаження	
		D_1	D_2		на етапі обробки	на етапі збірки
1	X_1	0,5	0,5	21,5	42	41
	X_4				–	11
	X_2				58	48
2	X_1	1,0	0	23,0	42	41
	X_4				–	11
	X_2				58	48
3	X_1	0	1,0	19,3	42	41
	X_4				–	11
	X_2				58	48
4	X_1	0,5	0,5	19,7	40	50
	X_4				–	10
	X_2				60	40
5	X_1	1,0	0	22,3	40	50
	X_4				–	10
	X_2				60	40
6	X_1	0	1,0	17,1	40	50
	X_4				–	10
	X_2				60	40
7	X_1	0,5	0,5	15,0	60	50
	X_4				–	15
	X_2				40	35
8	X_1	1,0	0	15,6	60	50
	X_4				–	15
	X_2				40	35
9	X_1	0	1,0	14	60	50
	X_4				–	15
	X_2				40	35
10	X_1	0,5	0,5	10,7	63	39
	X_4				–	21
	X_2				37	29
	X_3				–	11
11	X_1	1,0	0	8,1	63	39
	X_4				–	21
	X_2				37	29
	X_3				–	11
12	X_1	0	1,0	13,2	63	39
	X_4				–	21
	X_2				37	29
	X_3				–	11
13	X_1	0,5	0,5	13,5	43	68
	X_4				–	13
	X_2				29	17
	X_3				28	–
14	X_1	1,0	0	16,2	43	68
	X_4				–	13
	X_2				29	17
	X_3				28	–
15	X_1	0	1,0	10,7	43	68
	X_4				–	13
	X_2				29	17
	X_3				28	–
16	X_1	0,5	0,5	12,1	70	41
	X_2				16	20
	X_3				14	39
17	X_1	1,0	0	15,3	70	41
	X_2				16	20
	X_3				14	39
18	X_1	0	1,0	8,8	70	41
	X_2				16	20
	X_3				14	39

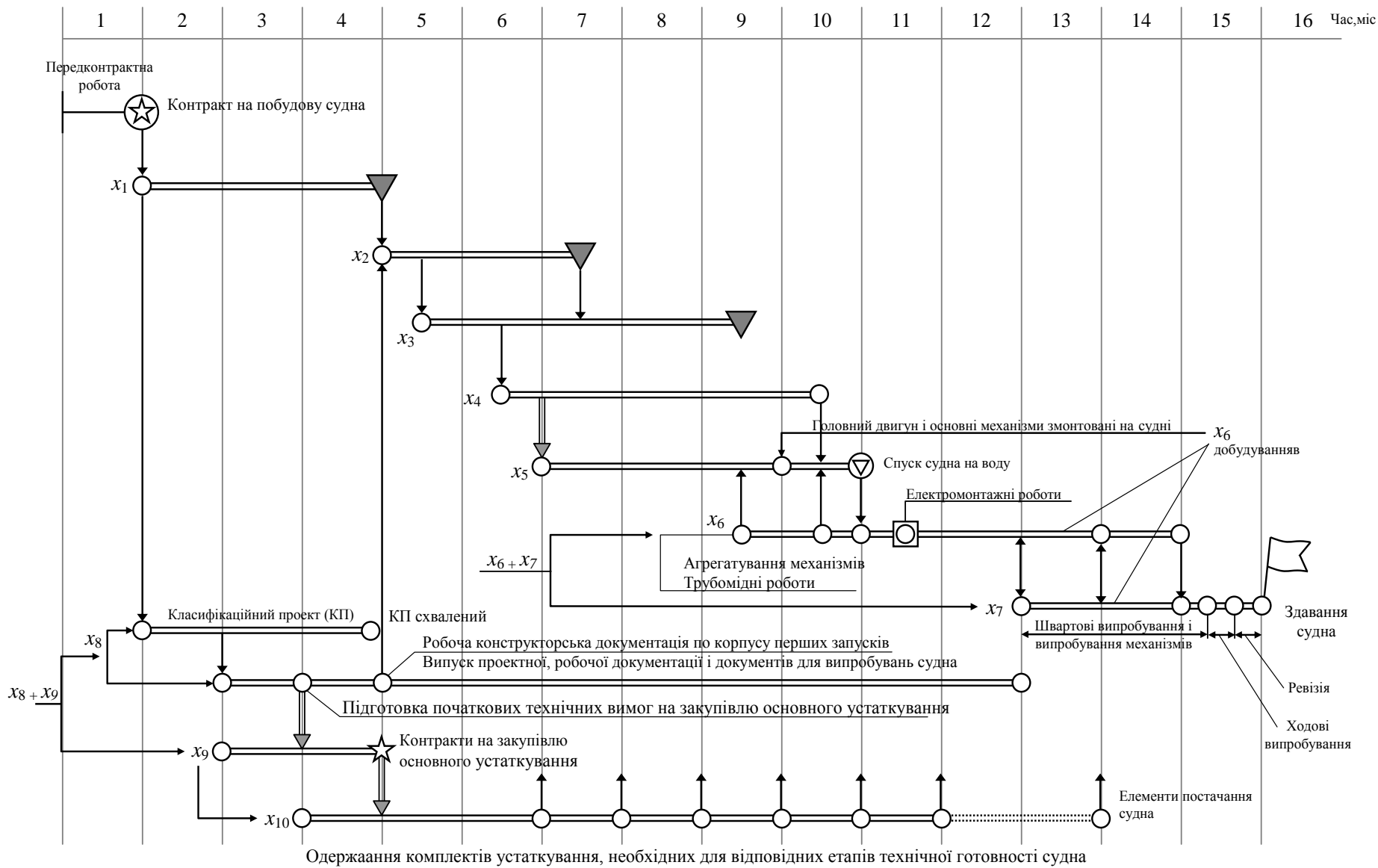


Рис. 2. Традиційна схема побудови судна

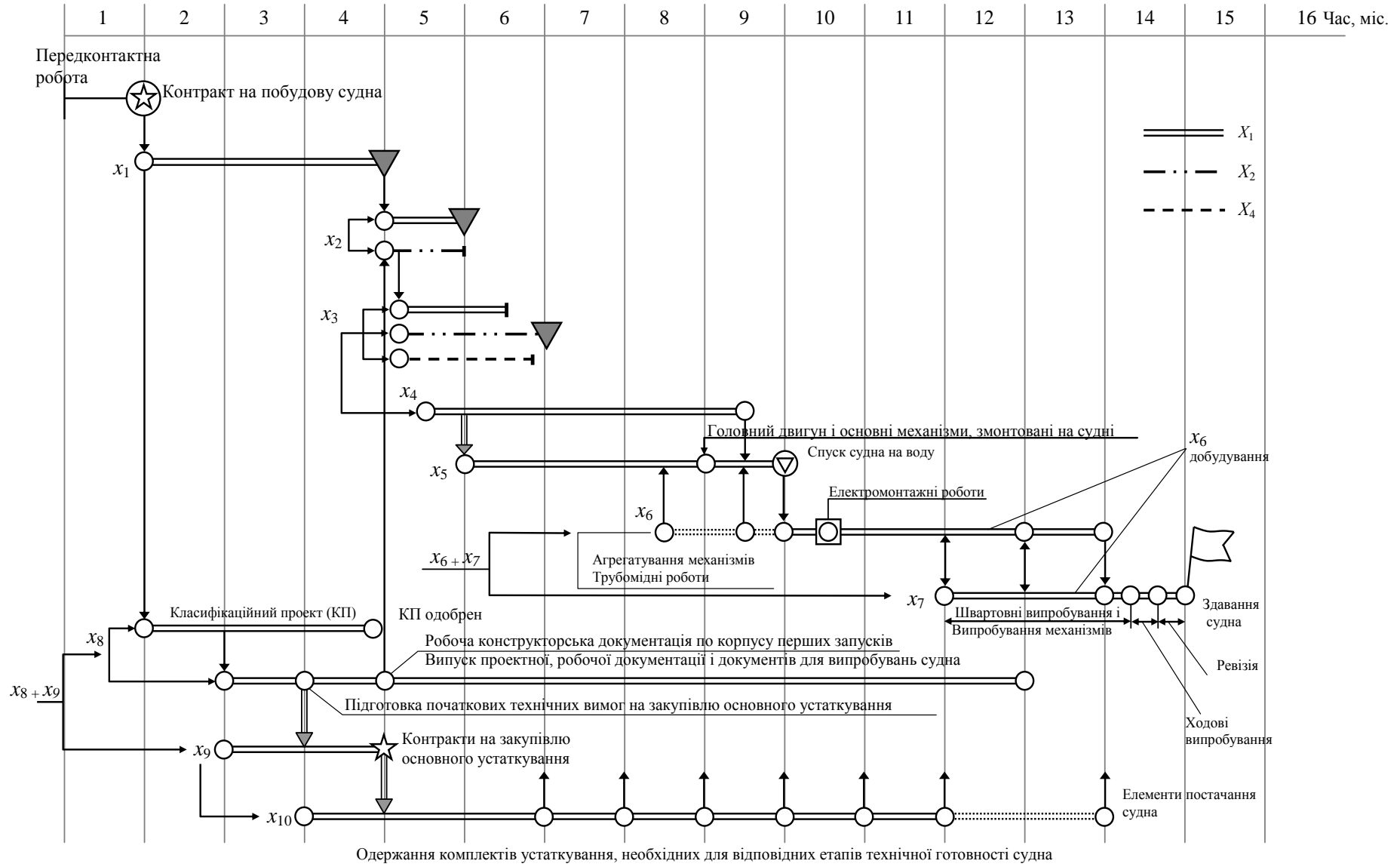


Рис. 3. Схема побудови судна на віртуальній верфі

Висновки

1. Показано, що підвищення конкурентоспроможності українського суднобудування можливо на основі кооперації різних виконавців, найбільш ефективних у своїй спеціалізації, що потребує використання відповідних моделей та механізмів організації виробництва.

2. Запропоновано концепцію організації віртуального підприємства як тимчасового консорціуму різних виконавців, які об'єднані єдиною інформаційною моделлю та погодженими графіками виконання пакетів робіт.

3. Розроблено математичну модель віртуальної верфі, для чого було використано математичний апарат лінійного цілочисельного програмування, і запропоновано функціонали, які забезпечують найефективніших виконавців залежно від умов виконання контракту (терміни, вартість).

4. Проведено моделювання побудови судна на традиційній та віртуальній верфях, що показало значний ефект щодо скорочення термінів і зниження вартості побудови судна на віртуальній верфі.

Список літератури

1. Інноваційні технології проектування та побудови суден і засобів океанотехніки: Монографія / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, В.Ф. Квасницький, К.В. Кошкін та ін. – Миколаїв: НУК, 2009. – 356 с.
2. Кошкін К.В. Организация компьютеризированных интегрированных производств в судостроении: Монография. – Николаев: УГМТУ, 1999. – 220 с.
3. Кошкін К.В., Павлов А.А. Алгоритмическое обеспечение управления проектами виртуальных производств в судостроении: Монография. – Херсон: ОЛДИ-плюс, 2001. – 178 с.
4. Механизмы управления проектами и программами регионального и отраслевого развития: Монография / В.Н. Бурков, В.С. Блінцов, А.М. Возный, К.В. Кошкін и др. – Николаев: Изд-во Торубары, 2010. – 176 с.
5. Модели, методы и алгоритмическое обеспечение проектов и программ развития наукоемких производств: Монография / А.М. Возный, В.В. Драгомиров, А.Я. Казарезов, К.В. Кошкін и др. – Николаев: НУК, 2009. – 194 с.
6. Павлов А.А., Чернов С.К., Кошкін К.В. Математические основы управления проектами наукоемких производств: Монография. – Николаев: НУК, 2006. – 172 с.
7. Створення універсальних транспортних суден та засобів океанотехніки: Монографія / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, Г.Б. Єгоров, Ю.Д. Жуков, В.Ф. Квасницький, К.В. Кошкін, І.В. Кривцун, В.О. Некрасов, В.В. Севрюков, Ю.В. Солоніченко. – Миколаїв: НУК, 2011. – 262 с.
8. Создание и развитие конкурентоспособных проектно-ориентированных предприятий: Монография / В.Н. Бурков, С.Д. Бушуев, А.М. Возный, К.В. Кошкін, С.С. Рижков, Х. Танака, Л.С. Чернова. – Николаев: Изд-во Торубары Е.С., 2011. – 260 с.
9. Створення універсальних транспортних суден та засобів океанотехніки: Монографія / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, Г.Б. Єгоров, Ю.Д. Жуков та ін. – Миколаїв: НУК, 2011. – 340 с.

Стаття надійшла до редколегії 30.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Блінцов, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв.