

## ТРАНСПОРТ

УДК 629.5+004.92

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/17>

**Бойко С.О.**

Дунайський інститут водного транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій

**Якусевич Ю.Г.**

Дунайський інститут водного транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій

**Дорофєєва З.Я.**

Дунайський інститут водного транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій

**Бажак О.В.**

Дунайський інститут водного транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В ГАЛУЗІ СУДНОБУДУВАННЯ

*Метою роботи є дослідження шляхів забезпечення ефективного використання спеціалізованих систем автоматизованого проектування (САПР) в галузі суднобудування при розробці 2D та 3D CAD (computer-aided design) моделей виробів для підвищення рівня автоматизації різних етапів проектування, будівництва та модернізації судна. На даний час існує значна кількість спеціалізованих систем САПР, які активно використовуються в суднобудуванні, зокрема, FORAN, TRIBON, NUPAS-CADMATIC, CATIA, PLATER, DEFCAR, NAPA та інші. При цьому більшість провідних світових суднобудівних заводів на теперішній час завершили міграцію можливостей моделювання відповідної продукції з систем, в яких основним робочим продуктом було інженерне креслення, до систем, в яких основним робочим продуктом є цифрова 3D-модель виробу. Однак практично всі на даний час верфі, як і раніше, випускають 2D-креслення як доповнення до CAD моделі виробу. У статті розглянуто особливості стандартів обміну геометричними характеристиками моделей при використанні САПР. При цьому визначено, що важливою перевагою моделювання на основі характеристик є використання конструкторської моделі виробу для підтримки саме виробничих процесів. Визначено, що основою для стандартизації процесів взаємодії між САПР, системами автоматизованого виробництва і верстатами з числовим програмним управлінням є стандарт STEP-NC. Визначено, що найбільш актуальними напрямками для виробництва в суднобудівній промисловості на основі стандарту STEP-NC є спеціалізовані напрямки щодо споруд і трубопроводів суден. При цьому напрямком подальшого вдосконалення виробничих процесів є можливість створення повної моделі виробу і специфікації виробу в комп'ютерно-інтерпретованому вигляді в єдиній системі з використанням стандартів в рамках протоколів застосування STEP-NC для суднобудування.*

**Ключові слова:** система автоматизованого проектування, двовимірний модель, тривимірний модель, креслення, виріб, суднобудування.

**Постановка проблеми.** Система автоматизованого проектування (САПР) – це автоматизована система, що реалізує інформаційні технології для виконання проектних функцій, являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проектування, що складається з персоналу і сукупності технічних, програмних

та інших засобів автоматизації своєї діяльності. На теперішній час існує значна кількість спеціалізованих САПР, які активно використовуються у суднобудуванні, зокрема:

1) FORAN – спеціалізована суднобудівна система проектування (розроблена компанією SENER INGENIERIA Y SISTEMAS S. A.)

2) TRIBON – спеціалізована суднобудівна система проектування (розроблена компанією TRIBON SOLUTIONS, з 2004 року TRIBON увійшла до складу AVEVA);

3) NUPAS-CADMATIC – спеціалізована система проектування суднобудування (розроблена як NUMERIEK CENTRUM GRONINGEN B. V., так і CADMATIC Ltd.);

4) CATIA – система проектування, розроблена компанією DASSAULT SYSTEMES, Франція за підтримки корпорації IBM, США. У теперішній час оголошується як система, що враховує специфіку проектування в суднобудуванні;

5) AutoSHIP – спеціалізована система проектування суднобудування, розроблена корпорацією AUTOSHIP SYSTEMS;

6) PLATER – комплексна система автоматизації конструкторсько-технологічної підготовки корпусного виробництва суднобудівного заводу;

7) DEFCAR – спеціалізована система проектування суднобудування (розроблена компанією DEFCAR Eng.);

8) NAPA – спеціалізована система проектування суднобудування (розроблена Nara Oy).

При цьому слід зазначити, що даний клас САПР дозволяє здійснювати 2-мірне проектування (2D), 3-мірне проектування (3D), проводити необхідні розрахунки, розробляти конструкторську і технологічну документацію на різних етапах проектування, будівництва та модернізації судна. Разом з тим, наразі ще не є сталим та розвивається процес визначення взаємодії і взаємосумісності 2D та 3D CAD-моделей у галузі суднобудування, в тому числі з точки зору використання відповідних моделей для підтримки виробничих процесів.

Тому забезпечення ефективного використання САПР у галузі суднобудування при розробці 2D та 3D CAD-моделей виробів є актуальним дослідженням, спрямованим на вирішення завдань автоматизації різних етапів проектування, будівництва та модернізації судна (приклади застосування спеціалізованих САПР у суднобудуванні наведені на рис. 1).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У галузі комп'ютерного моделювання (проектування) різноманітних виробів з використанням САПР є велика кількість досліджень, як серед вітчизняних науковців, наприклад [1–6], так і серед закордонних дослідників, наприклад [7–9]. Разом з тим питання дослідження шляхів забезпечення ефективного взаємного використання 2D та 3D CAD моделей виробів не достатньо висвітлені, або відповідні питання розглядаються не

з точки зору використання при їх розробці спеціалізованих САПР у галузі суднобудування.

**Мета статті (постановка завдання).** Дослідження шляхів забезпечення ефективного використання спеціалізованих САПР у галузі суднобудування при розробці 2D та 3D CAD-моделей виробів для підвищення рівня автоматизації різних етапів проектування, будівництва та модернізації судна.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Більшість провідних світових суднобудівних заводів на даний час завершили міграцію можливостей моделювання відповідної продукції з систем, в яких основним робочим продуктом було інженерне креслення, до систем, в яких основним робочим продуктом є цифрова 3D-модель виробу. Цей перехід базується на припущенні, що CAD модель виробу може бути повторно використана у багатьох наступних проектах та автоматизованих системах.

Міграція першого покоління полягала в отриманні явних рішень про твердотільну геометрію виробу. Однак геометрія сама по собі не є моделлю виробу. Обґрунтування витрат на створення моделі полягає в тому, що вона може і повинна багаторазово використовуватися наступними розробниками і САПР. Однак на даний час практично всі верфі, як і раніше випускають 2D-креслення як доповнення до CAD моделі виробу. Насправді, у більшості випадків САПР використовується саме як засіб для створення інженерного креслення. Однак інженерне креслення – це не просто один зі способів представлення виробу. Інженерні креслення, як і раніше, містять інформацію, яка ніде не відображена у тривимірній моделі виробу.

Поштовхом до переходу у суднобудуванні до САПР стала можливість створення цілісної моделі виробу, яку можна створити один раз і використовувати багаторазово. Прийняття твердотільного моделювання номінальної геометрії є першим кроком у процесі створення такої можливості в рамках суднобудування.

У першому поколінні САПР платформ, прийнятих в суднобудівній промисловості, велика увага приділялася інструментам для створення і редагування твердотільної геометрії. Це був природний розвиток, тому що технологія твердотільного моделювання тільки починала розвиватися, і розробники САПР присвячували цій технічній проблемі більшу частину своїх ресурсів. Однак створення номінальної твердотільної геометрії є лише першим кроком у визначенні моделі багаторазового виробу, особливо в рамках суднобуду-

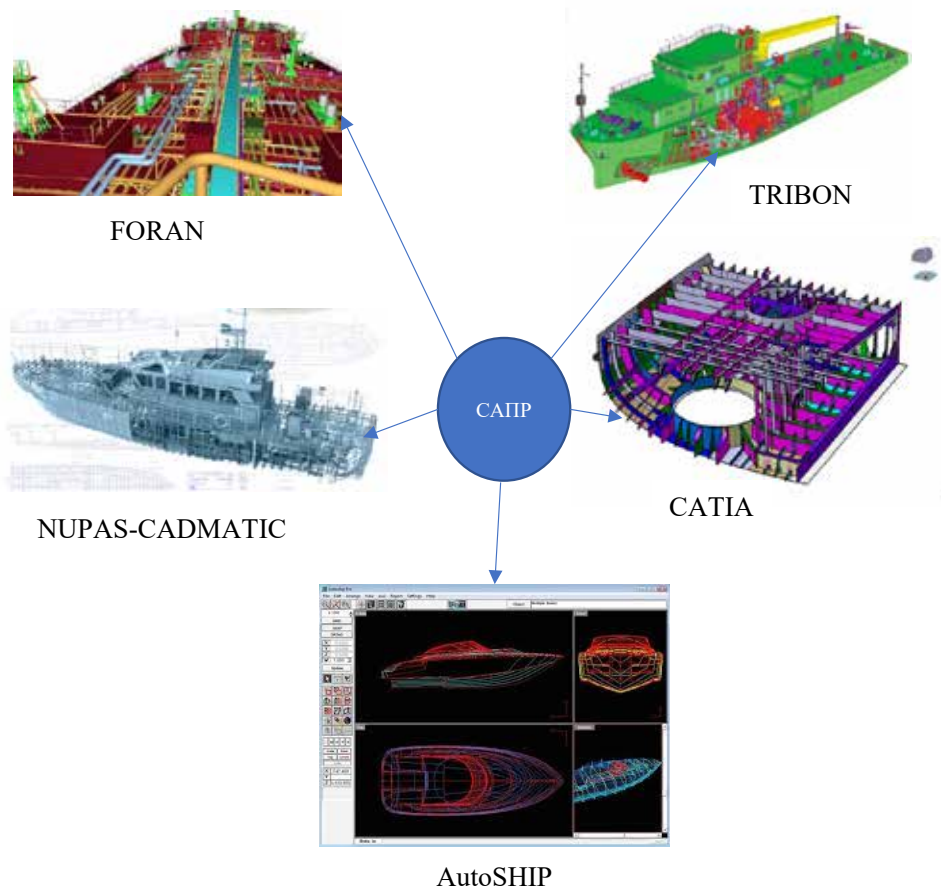


Рис. 1. Приклади застосування спеціалізованих САПР у суднобудуванні

вання. Твердотільна геометрія стає ефективною для повторного використання після того, як буде пов'язана з елементами конструкції шляхом визначення відповідних характеристик. При цьому такі характеристики пов'язані з об'єктно-орієнтованим підходом до інформаційного моделювання. Якщо в моделі виробу відображено більше інформації, у наступних програмних додатках з'являється можливість повторно використовувати відповідну модель виробу.

Такі характеристики тісно пов'язані з параметричним моделюванням. Характеристики визначаються присвоєнням фактичних значень одному або декільком змінним параметрам. При цьому перші САПР підтримували можливість генерувати тільки 2D-моделі і з відповідними параметрами. У суднобудуванні такий підхід використовувався у процесі концептуального проектування, в якому важливим є можливість проведення аналізу «що-якщо».

Проектні рішення, засновані на використанні розширеного переліку характеристик, доповнюють геометричну модель можливостями щодо

свободи проектування, геометричних обмежень та конструктивних особливостей. Свобода проектування вказує на діапазон прийнятних альтернатив проекту. Геометричні обмеження роблять явними обмеження, накладені на допустимі альтернативи проекту. Конструктивні характеристики – це високорівневі конструктивні елементи з параметризованими розмірами. Вони підтримують визначення сімейств частин, в яких розміри можуть залежати від інших параметрів.

На теперішній час існують міжнародні та вітчизняні стандарти обміну геометричними характеристиками при використанні САПР, наприклад, ДСТУ ISO 10303-108:2007 [10]. Зокрема, цей стандарт передбачає механізм прив'язки параметрів до розмірів моделі (і до інших змінних). Він також підтримує представлення геометричних обмежень і описує, як співвіднести їх з геометричними елементами. Нарешті, він підтримує можливість моделювання складних фігур на основі двовимірних профілів.

Важливою перевагою моделювання на основі характеристик є використання конструкторської

моделі виробу для підтримки виробничих процесів. Тобто, як тільки модель виробу буде завершена, програми автоматизованого виробництва (CAM) можуть бути використані для додавання виробничих характеристик. Виробничі характеристики необхідно відокремлювати від конструктивних характеристик. Виробничі характеристики – це змістовні конструкції, які описують, як виготовляється виріб; вони можуть відрізнятися для різних виробничих потужностей або з інших причин, а тому не повинні змішуватися в рамках конструкторської моделі виробу. Послідовний набір виробничих характеристик необхідний для підтримки сумісності не тільки між системами САМ на різних верфях, але й між САПР і САМ-системами. На сьогоднішній день у багатьох випадках завантаження САМ-системи пов'язане з дорогою конверсією даних, що може привести до втрати часу і дорогого перепрофілювання виробу.

Основою для стандартизації процесів взаємодії між САПР, системами САМ і верстатами з числовим програмним управлінням (ЧПУ) є стандарт STEP-NC. Технічний підхід, втілений у стандарті STEP-NC, полягає в розробці інтегрованої моделі даних (охоплює функціональність CAD, САМ і ЧПУ). Інтегрована модель даних містить геометрію (САПР), характеристики (як проектування, так і виробництво) та визначення інструментів (включаючи як геометричну конфігурацію інструменту, так і його технологічну інформацію). Метою інтегрованої моделі виробу є надання достатньої інформації для підтримки інтелектуальної генерації інструментальних шляхів, необхідних для виготовлення деталі для судна, з урахуванням наявних засобів виробництва.

Модель виробу STEP-NC починається з номінальної геометрії (і конструктивних особливостей) CAD моделі виробу. Потім система САМ вдосконалюється на цій моделі, пов'язуючи її з виробничими характеристиками. Крім того, дані про процес для кожного верстату з ЧПУ представлені через доступні операції та обмеження інструментів. Нарешті, складається план робіт, який представляє собою опис кожного етапу робіт, який необхідно виконати.

Інтегрована модель виробництва складається з поєднання плану роботи, номінальної геометрії, виробничих характеристик і описів інструментів. На підставі цієї інформації верстат з ЧПУ може використовувати власні алгоритми для визначення операцій низького рівня, які найкраще виконують план. Інтегрована модель буде однаковою для всіх сумісних верстатів з ЧПУ та являє собою більш

повну специфікацію продукту, інтерпретовану комп'ютером.

Робота над STEP-NC почалася з визначення митних вимог до токарно-фрезерного виробництва в рамках ISO 14649. Ця робота була приведена у відповідність зі стандартом STEP в ISO10303-238, протоколом застосування для STEP-NC. Цей стандарт визначає інтерфейс між функціями виробництва САМ і верстатами з ЧПУ. Він також забезпечує сумісність інформації з номінальною геометрією, визначеною в CAD моделі.

Хоча технічний підхід STEP-NC показує перспективність для суднобудівної галузі, корисність поточної діяльності обмежена. Фрезерні і токарні процеси грають другорядну роль в суднобудуванні. Найбільш актуальними напрямками для виробництва в суднобудівній промисловості є спеціалізовані напрямки щодо споруд і трубопроводів суден. Підхід STEP-NC також добре підходить для цих галузей, особливо як засіб автоматизації виробничих процесів і інтерфейсів між CAD і САМ.

Разом з тим, деякі суднобудівні верфі продовжують використовувати платформи 2D CAD і сьогодні, незважаючи на те, що більшість верфей вже перейшли на платформи 3D CAD і широко використовують тривимірні моделі виробів.

Особливість даної ситуації полягає в тому, що 3D CAD модель часто використовується як засіб для створення саме 2D-інженерного креслення. Тобто двовимірне інженерне креслення, як і раніше, є основним засобом розкриття моделі виробу і специфікації виробу. Зазвичай креслення друкуються і поширюються в паперовому вигляді, але попит на цю інформацію настільки великий, що в деяких випадках саме креслення поширюється в цифровому вигляді у вигляді растрового зображення.

Однак растрове зображення для відтворення креслення не несе у собі ніякої комп'ютерно-інтерпретованої інформації. Слід зазначити, що 2D-інженерні креслення легко розуміються розробниками і є єдиним документом на даний момент, де зафіксована повна специфікація.

Інженерне креслення здатне передати інформацію про специфікацію виробу на складання і обладнання, яка відсутня в моделі виробу. У сучасних 3D системах для суднобудування CAD модель виробу, як правило, не містить всієї інформації, необхідної для реалізації виробу. Наприклад, існуючі 3D-моделі виробів не мають засобів для позначення критичних розмірів. Аналогічним чином допуски повинні бути пов'язані з критич-

ними розмірами, і сьогодні це робиться тільки на інженерному кресленні. Це може викликати проблеми, коли 3D-модель виробу використовується як засіб для створення 2D-креслення. По суті, модель виробу і креслення – це у даному випадку два різних види одного і того ж дизайну у двох різних форматах.

Хоча інженерне креслення – це повна специфікація виробу, але воно не піддається комп'ютерній інтерпретації. Незважаючи на те, що його інформація може бути легко зрозуміла людині, вона не може бути повторно використана наступними програмними додатками. Кожен вид проекту повинен підтримуватися окремо, і є небезпека, що вони можуть стати несинхронізованими. А суднобудівельним виробам, крім усього іншого, притаманна дуже велика кількість унікальних деталей, які істотно змінюються протягом тривалого періоду часу. Це, у свою чергу, визначає необхідність перевірки та проектування креслення на узгодженість і точність.

На теперішній час на верфях, де широко використовується тривимірна модель виробу, більшість перевірок все ж також проводиться за кресленням. Таким чином, без єдиного комп'ютерно-інтерпретованого представлення моделі виробу і специфікації продукції неможливо реалізувати ефективну автоматизацію відповідних виробничих процесів в суднобудуванні.

Однією з найважливіших можливостей вдосконалення виробничих процесів є можливість створення повної моделі виробу і специфікації виробу в комп'ютерно-інтерпретованому вигляді в єдиній системі (можливо, модульної або розподіленої).

Існує кілька передумов для створення такої можливості, наприклад, з використанням стандартів у рамках протоколів застосування STEP-NC для суднобудування (AP). STEP-NC – це мова управління, яка розширює стандарти ISO 10303 STEP за допомогою моделі обробки в ISO 14649, додаючи геометричні розміри та дані допуску

для перевірки, а також STEP PDM для інтеграції в більш широке підприємство. Загальний результат стандартизований як ISO 10303-238 (також відомий як AP238).

**Висновки.** На теперішній час більшість провідних світових суднобудівних компаній завершили міграцію можливостей моделювання відповідної продукції з систем, в яких основним робочим продуктом було інженерне креслення, до систем, в яких основним робочим продуктом є цифрова 3D-модель виробу. Однак на даний час практично всі верфі, як і раніше, випускають 2D-креслення як доповнення до CAD моделі виробу.

Доведено, що важливою перевагою моделювання на основі характеристик є використання конструкторської моделі виробу для підтримки саме виробничих процесів.

Визначено, що основою для стандартизації процесів взаємодії між САПР, системами автоматизованого виробництва і верстатами з числовим програмним управлінням є стандарт STEP-NC.

Найбільш актуальними напрямками для виробництва в суднобудівній промисловості на основі стандарту STEP-NC є спеціалізовані напрямки щодо споруд і трубопроводів суден. При цьому однією з найважливіших можливостей вдосконалення виробничих процесів є можливість створення повної моделі виробу і його специфікації в комп'ютерно-інтерпретованому вигляді в єдиній системі з використанням стандартів в рамках протоколів застосування STEP-NC для суднобудування.

На завершенні треба зазначити, щодо оскільки дані САПР є спеціалізованими для суднобудівної галузі, вони, як правило, не призначені для розробки виробів машинобудівної частини судна. Для розробки документації на основі тривимірного моделювання складних виробів машинобудівної частини використовуються традиційно машинобудівні САПР, які мають більш ефективні інструменти для вирішення цього вузькоспеціалізованого завдання при проектуванні судна.

#### Список літератури:

1. Гаврилов В. П. 3D-графіка : навчальний посібник . Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2018. 127 с. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/22146/1/2018-Гаврилов%20В%20П.pdf> (дата звернення: 28.01.2023).
2. Заїка В. Ф., Твердохліб М. Г., Тарбаєв С. І., Чумак Н. С. Основи інженерної та комп'ютерної графіки. 2017. 76 с. URL: [http://www.dut.edu.ua/uploads/1\\_1622\\_31814633.pdf](http://www.dut.edu.ua/uploads/1_1622_31814633.pdf). (дата звернення: 28.01.2023).
3. Морозенко О.П., Вишневський І.В., Малишко Г.В. Основи твердотільного моделювання фізичних об'єктів. Частина 1: Навч. посібник. Дніпро: НМетАУ, 2020. 64 с. URL: [http://212.3.124.102/file/osnovi\\_modelyuvannya\\_ch1.pdf](http://212.3.124.102/file/osnovi_modelyuvannya_ch1.pdf) (дата звернення: 28.01.2023).
4. Проців В.В., Зібров К.А., Бас К.М., Ванжа Г.К. Прикладна комп'ютерна графіка бнавч.посібник. Нац. гірн.ун-т. Д.: НГУ, 2016. 187 с. URL: <https://okmm.nmu.org.ua/ua/files/пкг2016.pdf> (дата звернення: 28.01.2023).

5. Саенко С. Ю. Основи САПР. Х. : ХДУХТ, 2017. 120 с. URL: <https://elib.hduht.edu.ua/bitstream/123456789/2819/1/Пособие%20САПР%20Саенко%20Нечипоренко.pdf> (дата звернення: 28.01.2023).
6. Тотосько О.В., Микитишин А.Г., Стухляк А.Г. Комп'ютерна графіка: навчальний посібник: в 2-х кн. Кн. 1. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 304 с. URL: [http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22337/1/Komp\\_graf\\_knyga\\_1.pdf](http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22337/1/Komp_graf_knyga_1.pdf). (дата звернення: 28.01.2023).
7. Aleksashin, D.; Boyko, M.; Kuteynikov, M.; Sotskov, S. IACS Common Structural Rules development, and RS design verification during ship plan approval. Trans. Krylov State Res. Cent. 2018, 2, 59–63. [Google Scholar] [CrossRef]
8. Papanikolaou, A. A Holistic Approach to Ship Design. Volume 1: Optimisation of Ship Design and Operation for Life Cycle; Springer Nature Switzerland AG: Athens, Greece, 2019; pp. 24–26, 231–233. [Google Scholar] [CrossRef]
9. Papanikolaou, A. A Holistic Approach to Ship Design. Volume 2: Application Case Studies; Springer Nature Switzerland AG: Athens, Greece, 2021; pp. 340–345. [Google Scholar] [CrossRef]
10. ДСТУ ISO 10303-108:2007 Системи промислової автоматизації та інтеграції. Представлення даних щодо виробів та обміну даних. Частина 1. Огляд та основні принципи (ISO 10303-1:1994, IDT).

**Boiko S.O., Yakusevych Yu.H., Dorofieieva Z.Ia., Bazhak O.V. RESEARCHING WAYS TO EFFECTIVELY USE COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY**

*The purpose of the work is to study the ways to ensure the effective use of specialized computer-aided design (CAD) systems in the shipbuilding industry in the development of 2D and 3D CAD (computer-aided design) models of products to increase the level of automation of various stages of ship design, construction, and modernization. Currently, there is a significant number of specialized CAD systems that are actively used in shipbuilding, including FORAN, TRIBON, NUPAS-CADMATIC, CATIA, PLATER, DEF CAR, NAPA, and others. At the same time, most of the world's leading shipyards have now completed the migration of their respective product modelling capabilities from systems where the main working product was an engineering drawing to systems where the main working product is a digital 3D model of the product. However, virtually all shipyards today still produce 2D drawings as a supplement to the CAD model of the product. The article discusses the features of standards for the exchange of geometric characteristics of models when using CAD. It is determined that an important advantage of characteristic-based modelling is the use of a design model of a product to support production processes. It is determined that the STEP-NC standard is the basis for standardizing the processes of interaction between CAD, automated production systems, and computer numerical control machines. It has been determined that the most relevant areas for production in the shipbuilding industry based on the STEP-NC standard are specialized areas for ship structures and pipelines. At the same time, the direction of further improvement of production processes is the possibility of creating a complete product model and product specification in a computer-interpreted form in a single system using standards within the framework of STEP-NC application protocols for shipbuilding.*

**Key words:** computer-aided design system, two-dimensional model, three-dimensional model, drawing, product, shipbuilding.