

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Савицький Ігор Анатолійович

**УДК 629.5.011:629.5.081.4:
621.7.018: 621.713.1**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ СУДНОВИХ КОРПУСНИХ
КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

**Спеціальність 05.08.03 - конструювання та будування
суден**

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Миколаїв - 2008

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова.

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
Фаріонов Анатолій Михайлович
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
кафедра технології суднобудування.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор
Єгоров Геннадій Вячеславович,
директор "Морського Інженерного Бюро".
- кандидат технічних наук,
Слущкий Микола Георгійович
Директор Херсонського Державного Заводу
«Палада».

Захист відбудеться «19» січня 2009 року о **11** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д38.060.01 Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграду, 9, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграду, 9.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження визначається зацікавленістю суднобудівних підприємств в скороченні трудомісткості, матеріальних витрат і термінів будування суден, а також необхідністю адаптації виробництва до вимог міжнародних регламентуючих документів, що потребує перегляду критеріїв вибору ефективних технологічних процесів і їх узгодження із стандартами.

Накопичений на вітчизняних підприємствах досвід і існуюча теоретична база, розроблена Л.Ц. Адлерштейном, Л.Д. Адлерштейном, В. І. Алферовим С.В. Васютіним, В.Ф. Соколовим, Л.Л. Столярським, О.Д. Ковтуном, дозволяють задовольнити вимогам міжнародних стандартів. Проте необхідність адаптації точності технологічних процесів до вимог нових документів, регламентуючих точність, вимагає корегування стандартів підприємств і змін технології будування судна.

При секційно-блочному методі формування корпусу судна, трудомісткість операцій збірки може коливатися в широких межах залежно від конструкції збираного виробу, його розмірів, форми, технології та інших чинників. Вона значною мірою залежить від точності виготовлення деталей, вузлів і секцій, що входять до складу блоків.

Більшість суднобудівних підприємств стикаються з такими основними проблемами:

- міжнародні суднобудівні стандарти не можуть враховувати точності технологічного устаткування, технологій, що застосовуються, пакету суміжних документів і кваліфікації робочої сили на вітчизняних підприємствах; при переході на ці стандарти неможливо спрогнозувати за існуючими методиками точність кінцевого виробу і витрати на її забезпечення; це веде до появи великої кількості конструкцій виготовлених з перевищенням допусків та помилкам при визначенні витрат;

- жорсткі вимоги точності до конструкцій, які складають корпус судна та мало впливають на його якість невиправдано здорожують виробництво;

- виготовлення конструкцій «у чистий розмір» при непропорційній зміні вимог точності до деталей, вузлів, секцій і блоків, що входять до складу корпусу, не завжди можливе;

- при переході до цифрових методів проведення перевірочних робіт, механізації видалення припуску і застосуванні більш точного устаткування корпусообробного цеху складаються передумови для гарантованого виготовлення конструкцій «у чистий розмір» за умов узгодженості вимог точності;

- розмірний аналіз як методика прогнозування точності суднових конструкцій вимагає вдосконалення, оскільки ефективність використання теорії ймовірності при розрахунках розмірних ланцюгів обмежується кількістю ланок, виникає проблема вибору закону розподілу і необхідного

та достатнього відсотку ризику, бо помилки є критичними і конструкції, виготовлені «в мінус» потребують складних виправлень;

- в суднобудуванні при теоретичному обґрунтуванні технічних завдань важко піддаються формалізації фактори що вносять помилки в геометричні параметри конструкції залишається невизначений їх взаємовплив, і хоч методи експертної оцінки вже використовувались у інших галузях для розв'язання подібних проблем, проте методики обробки результатів оцінки та вибору експертів, адаптовані до умов суднобудування, відсутні.

Збір конструкцій на будівельному місці є ланкою, яка визначає ефективність заходів щодо підвищення точності виготовлення конструкцій, компенсації неузгодженостей вимог регламентуючих документів, удосконалення технологічного процесу, застосування нових методик і дає їм незалежну оцінку за обсягом пристосувальних робіт, який може змінюватися в межах 20 - 40% обсягу складальних робіт.

Зв'язок із науковими програмами, планами і темами. Дослідження проведені у відповідності до завдань Координаційного плану Міністерства освіти і науки України, програми №71 «Методи проектування та створення комп'ютерних систем і технологій» та у рамках «Положення про учбово-науково-виробничий комплекс», яке укладене між Національним університетом кораблебудування імені адмірала Макарова, Міською радою м. Феодосія, Феодосійським виробничим об'єднанням «Море», ВАТ «Суднобудівний завод «Залив» 12.11.1999 року і «Договору про співпрацю і наукові дослідження» №3 від 4.03.2006 року між ВАТ «Суднобудівний завод «Залив» і Національним університетом кораблебудування імені адмірала Макарова про дослідження за темою: «Удосконалення технології будування великотоннажних суден».

Метою наукового дослідження є вдосконалення технологічних процесів виготовлення суднових корпусних конструкцій шляхом узгодження впливу регламентованих стандартами параметрів і технологічних факторів на трудомісткість, а також застосування цифрових технологій при проведенні перевірочних робіт, що дозволяє при значній залежності економічної ефективності виробництва від вимог точності знизити трудомісткість виготовлення конструкцій.

До регламентованих стандартами параметрів відносяться величини припусків та рівень їх уніфікації, а до технологічних факторів - кількість і тип технологічних операцій, технології за наявності чи відсутності припуску, величини зварювальних зазорів.

Основні завдання наукового дослідження:

- зменшити трудомісткість складальних робіт шляхом врахування технологічних чинників, які поряд із точністю виготовлення суднових корпусних конструкцій мають значний вплив;

- розробити метод прогнозування точності виготовлення суднових корпусних конструкцій, який на відміну від метода розмірних ланцюгів не залежить від кількості технологічних ланок і враховує особливості технології та застосованих норм точності і дає більш точні результати;

- вдосконалити метод визначення неврахованих похибок за допомогою метода експертних оцінок, адаптованого в свою чергу до умов суднобудівного виробництва;

- провести систематизацію елементів конструкцій за впливом на складальні процеси для можливості диференційної оцінки ефективності технологічних рішень;

- розробити математичну модель, що описує вплив допусків та їх уніфікації, кількості та типу технологічних операцій, застосованої технології за наявності припуску, а також величин зварювальних зазорів на трудомісткість операцій збірки та дозволить знизити неузгодженість цих факторів, трудомісткість виготовлення корпусу судна і керувати якістю продукції без підвищення точності виготовлення;

- вдосконалити перевірочні роботи, які значною мірою впливають на трудомісткість як процесів виготовлення, так і збірки та вносять значні похибки в кінцеві вироби, шляхом застосування фотограмметрії близької відстані на основі неспеціалізованих устаткування і програмного забезпечення, оскільки спеціалізовані системи мають високу вартість;

- виконати оцінку економічної ефективності виготовлення конструкцій із припусками і «у чистий розмір» із використанням цифрових методів проведення перевірочних робіт і механізації видалення припусків.

Об'єкт дослідження. Технології виготовлення корпусних конструкцій із припуском та «у чистий розмір».

Предмет дослідження. Технології виготовлення корпусних конструкцій із припуском та «у чистий розмір» з урахуванням впливу точності та рівня її узгодженості з технологічними факторами на трудомісткість.

Методи дослідження. Аналіз по узагальненому і частим показникам при оцінці регламентуючих документів. Вибірковий та статистичний математичні методи обробки даних. Розмірно-технологічний аналіз при оцінці точності судових корпусних конструкцій. Багатокритеріальний стратифікаційний метод класифікації. Регресивний метод обробки експериментальних результатів. Інтерв'ювання при експертній оцінці.

Наукові результати, що виносяться на захист, та їхня новизна:

- встановлено, що незбалансоване підвищення точності виготовлення судових конструкцій за новим стандартами точності не забезпечує зниження трудомісткості складальних робіт та підвищення якості кінцевого виробу через наявність технологічних чинників, до яких відносяться кількість та тип технологічних операцій, припуски (їх наявність), величини зварювальних зазорів, що теж мають значний вплив, внаслідок чого якість кінцевого виробу може бути отримана і з менш жорсткими вимогами точності;

- одержав подальший розвиток метод експертних оцінок при прогнозуванні точності виготовлення судових конструкцій шляхом адаптації до умов суднобудування методик обробки результатів оцінки та встановлення компетентності експертів, урахування неформалізованих

чинників, що виникають при виготовленні конструкцій, зокрема при визначенні неврахованих похибок;

- вперше в суднобудуванні використано метод експертних оцінок для прогнозування точності виготовлення суднових конструкцій шляхом адаптації до умов суднобудування методики обробки результатів оцінки та встановлення компетентності експертів;

- вперше розроблена математична модель що описує вплив величин допусків та їх уніфікації, кількості та типу технологічних операцій, застосованої технології за наявності припуску, величини зварювальних зазорів на трудомісткість операцій збірки;

- вперше запропонована систематизація елементів конструкцій за рівнем впливу на складальні процеси, що дозволяє збільшити ефективність заходів щодо підвищення точності виготовлення суднових корпусних конструкцій.

Обґрунтованість і достовірність результатів досліджень

забезпечена коректною постановкою мети та завдань дослідження, аналізом тенденцій в технології суднобудування, застосуванням при розробці математичної моделі комплексного методу оцінки якості продукції, що використовується в дослідницьких організаціях при розробці нових стандартів, багатократним зіставленням отриманих результатів із статистичними даними технологічних виробництв, використанням інформаційних технологій на всіх етапах досліджень, перевіркою результатів у виробничих умовах.

Практичне значення отриманих результатів:

- запропоновано методики проведення перевірочних робіт і технології видалення припуску, що дозволяє скоротити трудомісткість виготовлення, використовувати менш точне устаткування і менш кваліфіковану робочу силу;

- скомпоновано та випробувано у виробничих умовах фотограмметричне устаткування на базі неспеціалізованого програмного забезпечення для проведення перевірочних робіт. Отримані результати порівнянні за точністю з класичними, але перевершують їх за швидкістю вимірювань при меншій трудомісткості та можливістю проводити кризну автоматизацію виробництва, дозволяють скоротити витрати на устаткування і програмне забезпечення при формуванні вимірювальної системи;

- вдосконалено методику прогнозування точності конструкцій, що виготовляються, шляхом застосування експертних оцінок, отримано підтвердження ефективності методу у заводських умовах;

- застосування розробленої математичної моделі дозволяє виявити керовані параметри, змінюючи які можна впливати на трудомісткість виготовлення корпусу судна при використанні нових стандартів точності та технологічних процесів.

Використання результатів роботи. Впровадження у виробництво фотограмметрії при проведенні перевірочних робіт виконано на ВАТ суднобудівельний завод «Залив» у проекті 7200.991.ZLV.001 замовлення

C-504 DAMEN, метод експертних оцінок для прогнозування точності конструкцій, що виготовляються, прийнятий к подальшому впровадженню на тому ж підприємстві.

Прийнято к впровадженню Академією наук суднобудування України наукових результатів дисертаційної роботи.

Методика проведення перевірочних робіт за допомогою фотограмметрії та лазерних приладів включена в учбовий процес ФГП НУК.

Конкретна особиста участь автора в одержанні наведених у дисертації наукових результатів. Викладені в роботі результати теоретичних досліджень у вигляді наукових положень, результатів та висновків, а також експериментальних досліджень та випробувань у виробничих умовах та їхнє узагальнення отримані особисто автором.

Апробація роботи. Результати дисертації докладалися на науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу НУК 26-28 квітня 2006 року - «Некоторые аспекты точности изготовления и монтажа судовых корпусных конструкций»; науково-технічній конференції студентів, магістрів і аспірантів кораблебудівного факультету 1-2 лютого 2007 року - «Применение оборудования на основе цифровых технологий при строительстве корпуса судна»; Міжнародній науково-методичній конференції «Автоматизация суднобудівельного производства і підготовка інженерних кадрів: стан, проблеми, перспективи» 26-28 червня 2007 - «Использование фотограмметрии для выполнения проверочных работ в судостроении и судоремонте».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 статей та тезисів доповідей у наукових спеціалізованих журналах (всі без співавторів).

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається з введення, п'яти розділів, висновків і додатків. Об'єм дисертації 152 сторінки, 71 рисунок, 22 таблиці, список використаних джерел - 179 найменувань, 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтований вибір і актуальність теми дисертації, сформульовані цілі і основні завдання досліджень, показана наукова новизна, теоретичне і практичне значення роботи.

У першому розділі при розгляді точності виготовлення корпусних конструкцій як одного з показників якості продукції об'єкт дослідження представлений у вигляді циклу Демінга, де взаємозв'язок керованих та керуючих параметрів розгортається щодо виробничого циклу за часом.

Вибравши керовані та керуючі параметри із загального числа чинників, що впливають на точність виготовлення корпусних конструкцій, можна комплексно розглянути їх динаміку, а також визначити їх взаємний вплив і зв'язки.

При дослідженні секційно-блочного методу формування корпусу судна, що є основним на підприємствах - учасниках проекту, встановлено, що трудомісткість складальних операцій може коливатися в широких

межах залежно від конструкції виробу, що складається, його розмірів, форми, вживаної технології та інших чинників. З урахуванням цього першорядні завдання: зниження впливів неузгодженості стандартів, вибір ефективної технології виготовлення конструкцій, вдосконалення методів визначення і прогнозування точності для підвищення економічної ефективності суднобудівельного виробництва.

При розгляданні попередніх робіт в області точності виготовлення суднових конструкцій встановлено, що проблема не розглядалася комплексно, існують об'єктивні та суб'єктивні перешкоди застосуванню теорії розмірних ланцюгів і виготовленню конструкцій у чистий розмір. Існувала можливість впливати на регламентуючі документи. Економічні оцінки ефективності технологічних рішень нині непридатні через зміну вагових складових статей витрат на будівництво судна в цілому.

Виділено п'ять основних тенденцій сучасної української суднобудівельної галузі: скорочення рівня механізації робіт, зниження кваліфікації учасників виробничого процесу, проектне спрощення суднових конструкцій, застосування нових технологічних рішень, директивне введення міжнародних регламентуючих документів, не відповідних вітчизняним.

Для отримання реальних величин поля допуску суднових конструкцій і класифікації елементів конструкції по впливу на точність складання запропоновано використовувати метод експертної оцінки. Вибрані застосовні для суднобудування методики розрахунку компетентності експертів і процедури проведення експертизи, проте виявлена необхідність їх адаптації і коректування.

Проведений огляд засобів виконання перевірочних робіт і встановлено, що на сьогодні оптимальним рішенням є системи на базі фотограмметрії. Проте, існуючі проблеми, такі як необхідність маркування ключових крапок і дорожнеча програмного забезпечення, не дозволяють системам набути більшого поширення.

Визначений зв'язок шляхів зниження трудомісткості пристосувальних робіт на стапелі і чинників, що знижують точність виготовлення конструкцій.

У другому розділі проведена диференціальна оцінка вимог точності SARQS і OCT 5.9324-89. Встановлено, що вимоги стандартів близькі, але пропорційності між ними виявлено не було, необхідна розробка методики комплексної оцінки, що дозволяє виявити закономірності і зв'язки.

Приведені результати обробки зібраних статистичних даних про помилки виготовлення конструкцій. Застосувавши теорію розмірних ланцюгів, встановлені величини теоретично досяжної точності виготовлення конструкцій. За наслідками аналізу теоретичних і практичних даних створені універсальні таблиці визначення максимально можливої точності виготовлення конструкцій.

Встановлено, що стандарти не враховують особливостей технологічного процесу і кількість операцій, що веде к неможливості їх дотримання (рис. 1). Є неузгодженість допусків в рамках однієї секції,

тобто неможливо всі параметри стандарту дотримати при однаковій точності виконання операцій. Визначені вузли, точність виготовлення яких жорстко впливає на складання і тому трудомісткість виготовлення стає вторинним чинником по відношенню до забезпечення збіру.

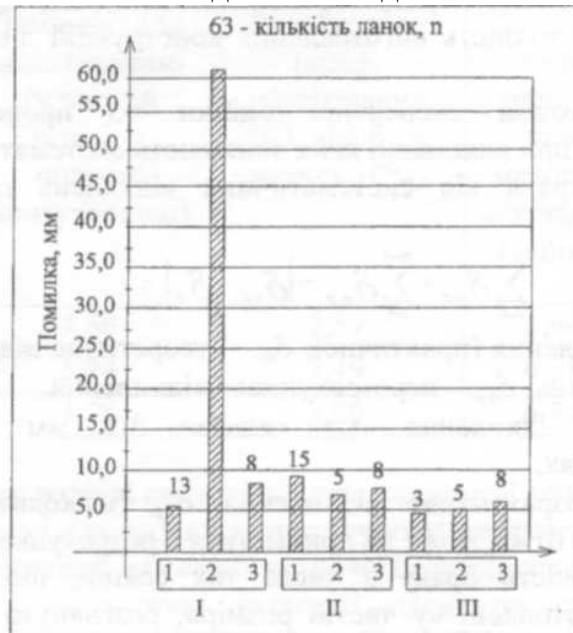


Рис. 1. Теоретичні допуски по методу максимуму-мінімуму днищових секцій міделевой частини середньовантажного судна, що будується за стандартом SARQS:

1 – довжина, 2 – ширина, 3 – висота;

I – в чистий розмір, II – з проміжною контуровкою, III – з припуском

Помилка лінійних розмірів корпусу або блоку судна залежить не тільки від помилки секцій, що входять до їх складу, а й від величини зварювальних зазорів і їх поля допуску, які самі по собі можуть перевищувати допуски стандарту точності. Крім того, існуючі методики розрахунку можливих зварювальних деформацій дають похибку прогнозів близько 30%, що не дозволяє ефективно протидіяти їм на ранніх стадіях.

Встановлено, що при проведенні розрахунків точності виготовлення суднових корпусних конструкцій не враховується, що вплив елементів конструкцій на складальні процеси різний. Виявлена нерівномірність формування помилки по довжині, ширині і висоті секцій. Окрім різної кількості ланок існує великий розкид по величині ланок, що складають розмірний ланцюг, і повторюваності значень одних і тих же ланок. Так, помилки в міждонному просторі приводять до складних пристосувальних робіт, а помилка монтажної шпациї мало впливає на складність збірки. При цьому прогнозованість помилки монтажної шпациї більш просте завдання, оскільки число вхідних ланок мінімально. У зв'язку з цим проведена градація елементів суднових корпусних конструкцій по рівню впливу на складальні процеси з визначенням коефіцієнта впливу, що дозволяє визначити ефективність заходів щодо підвищення точності виготовлення конструкцій.

Введене визначення порогу ефективної точності, що встановлює необхідну і достатню точність виготовлення конструкцій для забезпечення якісної збірки.

Визначені методом експертної оцінки по процедурі Дельфи технологічні операції, при виконанні яких виникають систематичні помилки.

Встановлені втрати від систематичних відхилень при проміжній контуровці:

$$\sum_{i=1}^{m-1} \delta_{\text{сис}} + \sum_{i=1}^{m-1} \delta_{\text{н.р.}} = |\delta_{\text{нр.}} - \delta_{\text{м.}}|, \quad (1)$$

де $\delta_{\text{нр.}}$ – реальне відхилення (практичне); $\delta_{\text{м.}}$ – теоретичне відхилення; $\delta_{\text{сис}}$ – систематичне відхилення; $\delta_{\text{н.р.}}$ – нерозрахункове відхилення.

Систематичне відхилення $\delta_{\text{сис}}$ складає 3,2 мм на основних технологічних операціях.

Одержане нерозрахункове відхилення $\delta_{\text{н.р.}}$ знаходиться в межах статистичної помилки, отже, може не прийматися в розрахунках.

Визначено кількість браку з числа тих секцій, що перевищують допуски, та були виготовлені «у чистій розмір», розглянуто умови збіру і його зв'язок з точністю.

Поняття «збір» так само необхідне для визначення категорій стандартів секцій і блоків судна і нерівномірності впливу на нього помилки різних геометричних параметрів.

Якщо виникає перевищення прогнозованого допуску, необхідно забезпечити це перевищення регулярно, у всіх однотипних конструкціях серії, таким чином скорочуючи роботи під час збіру. Наприклад, якщо помилка геометричного параметра секції перевищується, то для збіру важлива різниця між помилкою з суміжною секцією, тому:

$$C_k = \frac{\Delta l_1}{\Delta l_2}, \quad (2)$$

де Δl_1 і Δl_2 – погрішності лінійних розмірів суміжних елементів конструкцій, що суміщаються.

Розрахункова оцінка збіру судових конструкцій дає можливість скоротити трудомісткість і цикл монтажних робіт, підвищити якість монтажу. Емпірично встановлений поріг збіру нижче 80% (для розрахунку по формулі 2 у відносних одиницях).

Вдосконалена методика визначення компетентності експертів з урахуванням особливостей суднобудування.

Проведено експеримент по застосуванню теорії експертних оцінок як інструмента для визначення очікуваної точності виготовлення корпусних конструкцій, який продемонстрував спроможність методу (таблиця 1).

Таблиця 1

Параметр секції	Відхилення від проектних даних, мм			
	Заміряно при виготовленні (у чистий розмір з проміж. контуровкою)	Розраховано (коеф. розсіювання $l < 3$, відсоток ризику 10%)	Встановлено спрощеним методом експертної оцінки	Встановлено методом експертної оцінки за процедур. Дельфи в 4 тури
Довжина	4,56	2,59	5,94	5,82
Ширина	5,34	2,49	6,58	6,62
Висота	5,56	3,59	6,84	6,89

У третьому розділі введені поняття «категорії точності» і «ефективна точність», необхідні для оцінки вимог точності регламентуючих документів на предмет ефективності вживаних технологічних процесів.

Визначені три головні категорії елементів суднових корпусних конструкцій по впливу на складальні процеси. Складені таблиці визначення категорій елементів корпусних конструкцій на основі проведених досліджень:

$K_1=0,25$ для бортових і днищових напівоб'ємних секцій - це довжина, висота до шельфу палуб і платформ;

$K_2=0,28$ для бортових напівоб'ємних секцій - це висота, для днищових напівоб'ємних - ширина;

$K_3=0,47$ для бортових напівоб'ємних секцій - ширина, днищових напівоб'ємних секцій - це міждонний простір, шпация для всіх секцій (рис. 2).

Складені таблиці, в яких елементи корпусних конструкцій систематизовані по приведених вище категоріях.

Проведені дослідження співпадають зі зібраними даними.

Відсоток ризику визначається з економічної доцільності його призначення:

$$\mathcal{E} = \sum Z_{п} - \sum Z_{сп}, \quad (3)$$

де $Z_{сп}$ – величина зменшення витрат на стапельний пригін, $Z_{п}$ – витрати на переробку секцій, що виходять за межі відсотка ризику.

Ввівши запропоновані категорії, з'являється можливість підвищити ефективність імовірнісного методу прогнозування можливих відхилень, роблячи поправку на помилку методу у кожному випадку використання.

Поняття «категорії точності» пов'язано з поняттям «ефективна точність», коли йдеться про виготовлення конструкцій в чистий розмір.

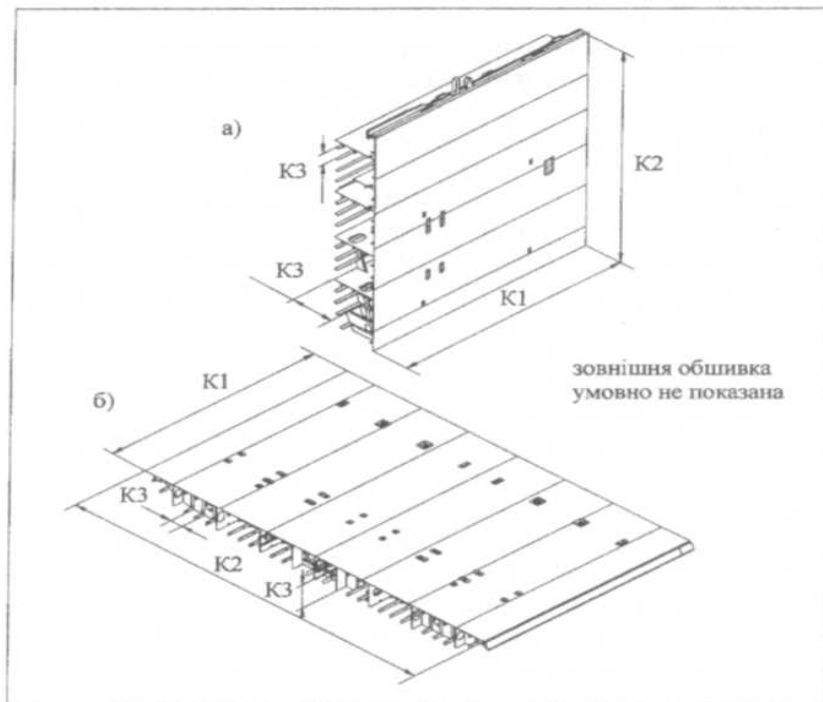


Рис. 2. Категорії точності на прикладі дошових і бортовий секцій міделевої частини середньотонажного судна:
а – бортова секція; б – днищова секція

Розроблена математична модель що описує вплив застосованих при виготовленні суднових корпусних конструкцій величин допусків та їх уніфікацію, кількість та тип технологічних операцій, вживаної технології за наявності припуску, величини зварювальних зазорів на трудомісткість операцій збірки, та дозволяє знизити неузгодженість факторів що впливають, трудомісткість виготовлення корпусу судна і керувати якістю продукції без підвищення точності виготовлення;

Її основа - середньозважений геометричний показник:

$$Q_n = \prod_{i=1}^n q_i^{m_i} (\text{при } \sum m_i = 1) \quad (4)$$

де Π – знак множення; n – кількість одиничних показників; q_i – відносний показник; m_i – коефіцієнт ваговитості показника, визначений методом експертної оцінки.

Тоді корегована, з урахуванням впливу вимог точності, трудомісткість збірки суднових конструкцій визначається так:

$$T = T_{\text{нор}} \prod_{i=1}^n q_i^{m_i} (\text{при } \sum m_i = 1), \quad (5)$$

де T – трудомісткість з урахуванням поправок на використовуваний технологічний процес, вимоги точності і відсоток ризику при розрахунку розмірного ланцюга, $T_{\text{нор}}$ – нормативна трудомісткість даного процесу, m – ступінь (таблиця 2).

Визначені 9 відносних показників які в значній мірі впливають на складальні процеси. Рекомендуються такі ступені показників, обчислені за допомогою експертів: Коефіцієнт самоузгодженості $q_{cc} = 0,35$, Коефіцієнт узгодженості діагоналей $q_{cd} = 0,1$, Деформації від загального вигину і скручування $q_{uk} = 0,1$, Кількість операцій на один допуск по категоріях $q_{чo} = 0,05$, Показник уніфікації розмірів $q_{yp} = 0,075$, Коефіцієнт збиру $q_c = 0,075$, Коефіцієнт межі $q_{пред} = 0,075$, Коефіцієнт сумісності $q_{совм} = 0,1$, Коефіцієнт абсолютної величини погрішності $q_{abc} = 0,1$.

Таким чином, формула 4 набуває вигляду:

$$Q = q_{cc}^{0,35} \times q_{cd}^{0,1} \times q_{uk}^{0,05} \times q_{чo}^{0,075} \times q_{yp}^{0,075} \times q_c^{0,075} \times q_{пред}^{0,075} \times q_{совм}^{0,1} \times q_{совм}^{0,1}, \quad (6)$$

Підставивши значення:

$$Q = \left(\frac{2,57 \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \frac{\delta_{Ai1}^2}{9}}}{\delta_{\Delta\Delta1}} \right)^{0,25} \times \left(\frac{2,57 \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \frac{\delta_{Ai2}^2}{9}}}{\delta_{\Delta\Delta2}} \right)^{0,28} \times \left(\frac{2,57 \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \frac{\delta_{Ai3}^2}{9}}}{\delta_{\Delta\Delta3}} \right)^{0,47} \times \left(\frac{\sqrt{\delta_l^2 + \delta_b^2}}{\delta_z} \right)^{0,25} \times \left(\frac{\sqrt{\delta_l^2 + \delta_h^2}}{\delta_z} \right)^{0,28} \times \left(\frac{\sqrt{\delta_h^2 + \delta_b^2}}{\delta_z} \right)^{0,47} \times \left(\frac{\sqrt{\delta_l^2 + \delta_b^2 + \delta_h^2}}{\delta_c} \right)^{0,1} \times \left(\frac{n_1 - xn_1}{xn_1} \right)^{0,25} \times \left(\frac{n_2 - xn_2}{xn_2} \right)^{0,28} \times \left(\frac{n_3 - xn_3}{xn_3} \right)^{0,47} \times \left(\frac{\sum_{i=1}^H n_{ci} - n_{\max}}{\sum_{i=1}^H n_{ci} - n_{\min}} \right)^{0,05} \times \left(\frac{\delta_z}{\delta_l} \right)^{0,25} \times \left(\frac{\delta_{dbs}}{\delta_{bbor}} \right)^{0,25} \times \left(\frac{\delta_{bbor}}{\delta_{hbor}} \right)^{0,25} \times \left(\frac{\delta_{zbor}}{\delta_{zbor}} \right)^{0,25} \times \left(\frac{\delta_{\min}}{\delta_{\max \text{ clear}}} \right)^{0,075} \times \left(\frac{\delta_e}{\delta_w} \right)^{0,1} \times (\delta_{\max})^{0,1} \quad (7)$$

Для зручності використовувани в моделі всі параметри розділені на технологічні параметри, керовані параметри і параметри, що описують стандарт (таблиці 2, 3 і 4). Комбінуючи або змінюючи їх, можна одержати динаміку зміни трудомісткості пристосувальних робіт на будівельному місці. Дані одержані при введенні вимог стандарту SARQS. До найбільш доступних для управління можна віднести наступні параметри: величина зварювальних зазорів, величина найбільшого допуску в регламентуючому документі, допуск на шпацию (у SARQS це відхилення внутрішніх елементів конструкції), уніфікація допусків, допуски на габарити секцій.

Таблиця 3

Зведена таблиця технологічних параметрів

1	n_{11}	Число типових операцій при безприпусковому виготовленні	$y=2,90E-03n_{11}^2-4,29E-02n_{11}+1,25E$
2	n_{12}	Те ж при контуровці	$y=2,95E-03n_{12}^2-4,47E-02n_{12}+1,27E$
3	n_{13}	Те ж за наявності припуску	$y=2,92E-03n_{13}^2-4,34E-02n_{13}+1,36E$
4	x_1	Резерв до межі, п-раз, при безприпусковому виготовленні	$y=3,76E-03x_1^2-9,68E-02x_1+1,26E$
5	x_2	Те ж при проміжній контуровці	$y=4,07E-03x_2^2-1,05E-02x_2+1,26E$
6	x_3	Те ж за наявності припуску	$y=7,20E-03x_3^2-1,85E-02x_3+1,31E$

Таблиця 4

Зведена таблиця керованих параметрів

1	δ_l	Допуск на довжину секції	$y=4,32E-05\delta_l^2+1,95E-02\delta_l+1,15E$
2	δ_b	Допуск на ширину секції	$y=5,97E-04\delta_b^2+3,61E-02\delta_b+1,11E$
3	δ_h	Допуск на висоту секції	$y=-7,79E-05\delta_h^2+2,53E-02\delta_h+1,14E$
4	δ_z	Допуск на діагональ секції	$y=3,72E-03\delta_z^2-1,2E-02\delta_z+1,14E$
5	δ_c	Допуск на вигин секції	$y=1,21E-03\delta_c^2-9,24E-03\delta_c+1,15E$
6	δ_s	Допуск на розмір шпациї	$y=-6,63E-04\delta_s^2+1,18E-02\delta_s+1,17E$
7	δ_{abs}	Допуск міждонного простору днищової секції	$y=-6,63E-04\delta_{abs}^2+1,18E-02\delta_{abs}+1,17E$
8	δ_{zbot}	Допуск на діагональ днищової секції	$y=-5,95E-04\delta_{zbot}^2+1,17E-02\delta_{zbot}+1,15E$
9	δ_{bot}	Допуск на ширину днищової секції	$y=1,72E-04\delta_{bot}^2+3,31E-03\delta_{bot}+1,17E$
10	δ_{bbor}	Допуск на ширину бортової секції	$y=6,27E-04\delta_{bbor}^2-1,69E-03\delta_{bbor}+1,18E$
11	δ_{zbor}	Допуск на діагональ бортової секції	$y=-2,54E-04\delta_{zbor}^2+7,58E-03\delta_{zbor}+1,15E$
12	δ_{hbor}	Допуск на висоту бортової секції	$y=-3,46E-04\delta_{hbor}^2+8,45E-02\delta_{hbor}+1,18E$
13	δ_e	Допуск на монтаж	$y=-2,83E-03\delta_e^2+5,80E-02\delta_e+9,79E-01$
14	δ_w	Величина зварюв. зазору	$y=3,79E-03\delta_w^2-7,07E-02\delta_w+1,48E$

Таблиця 5

Зведена таблиця параметрів, що описують стандарт

1	δ_{min}	Міні допуск в стандарті	$y = -2,32E-03\delta_{min}^2 + 4,68E-02\delta_{min} + 1,09E$
2	δ_{max}	Макс допуск в стандарті	$y = -7,18E-04\delta_{min}^2 + 2,91E-02\delta_{min} + 9,79E-01$
3	n_{max}	Кількість типорозмірів допусків	$y = -1,65E-03n_{max}^2 + 8,25E-03n_{max} + 1,27E$
4	$n_{уніф}$	Кількість уніфікованих допусків в стандарті	$y = 1,58E-03n_{уніф}^2 - 7,59E-03n_{уніф} + 1,15E$
5	n_{cl}	Кількість допусків в стандарті	$y = 2,21E-04n_{cl}^2 - 7,71E-03n_{cl} + 1,27E$
6	δ_{Ad1}	Допуск при безприпусковому виготовленні	$y = 3,02E-03\delta_{Ad1}^2 - 9,84E-03\delta_{Ad1} + 1,08E$
7	δ_{Ad2}	Допуск при проміжній контуровці	$y = 3,40E-03\delta_{Ad2}^2 - 1,14E-02\delta_{Ad2} + 1,06E$
8	δ_{Ad3}	Допуск за наявності припуску	$y = 6,66E-03\delta_{Ad3}^2 - 2,53E-02\delta_{Ad3} + 1,11E$
9	δ_{max_clear}	Макс. допуск, при якому можливий безприпусковий збір	$y = 2,47E-03\delta_{max_clear}^2 - 5,16E-02\delta_{max_clear} + 1,40E$

Приклади впливу параметрів моделі що описують стандарт на складання показані на рис. 3, відповідно вплив технологічних параметрів – рис. 4, а керування параметрів - рис. 5,6.

Всі рівняння по таблицях 3-5 дадуть модель стандарту.

Обмеження на модель виглядають таким чином:

$$\begin{aligned} y &= 2,30E+01x^2 - 3,73E+02x + 2,64E+03 \\ y &= 4,79E-03x^2 + 5,48E-02x + 7,19E+01 \end{aligned} \quad (8)$$

де x – допуск на виготовлення, мм.

Таким чином, вся решта обмежень виглядає так:

$$\Delta T_{cb} \leq K \Delta T_{изг}, \quad (9)$$

де ΔT_{cb} – збільшення трудомісткості виготовлення конструкцій при посилюванні норм точності; $\Delta T_{изг}$ – зниження трудомісткості складальних робіт при посилюванні норм точності виготовлення корпусних конструкцій, з урахуванням коефіцієнта; K – коефіцієнт, що враховує складність робіт в умовах стапеля;

$$\delta_i \leq \delta_{рег.}, \quad (10)$$

де δ_i – будь-яка δ моделі; $\delta_{рег.}$ – вимоги відповідного розділу стандарту.

Розрахувавши за допомогою розробленої математичної моделі коефіцієнт впливу стандартів на складальні процеси, рівний по ОСТ 5.9324-89 -1,14180 і по SARQS -1,19738, можна стверджувати, що збільшення трудомісткості складання при переході на SARQS складає 5% при прецизійному дотриманні вимог обох стандартів, що підтверджується досвідом підприємств, що здійснили подібний перехід, однак можливо понизити вплив SARQS до коефіцієнта 1,1123 шляхом зниження двох параметрів δ_c і δ_s , першого - з 5,0 до 3,6 мм, другого з 10,0 до 4,3 мм.

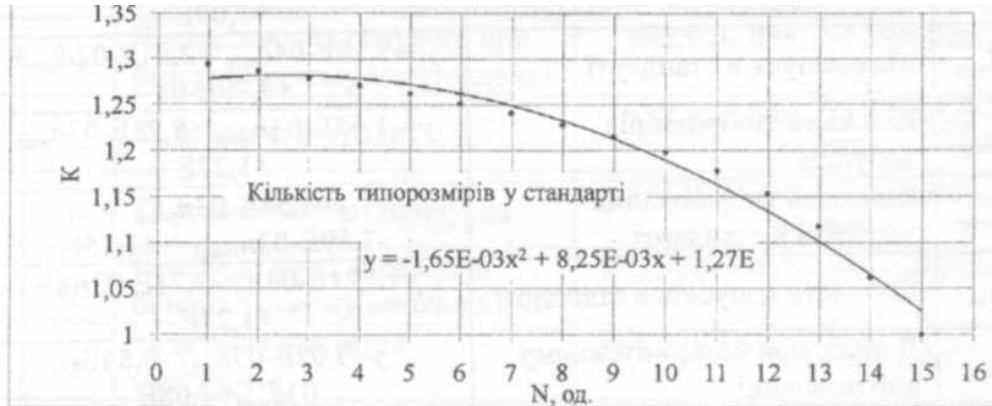


Рис. 3. Вплив кількості типорозмірів в стандарті на трудомісткість збірки конструкцій на будівельному місці

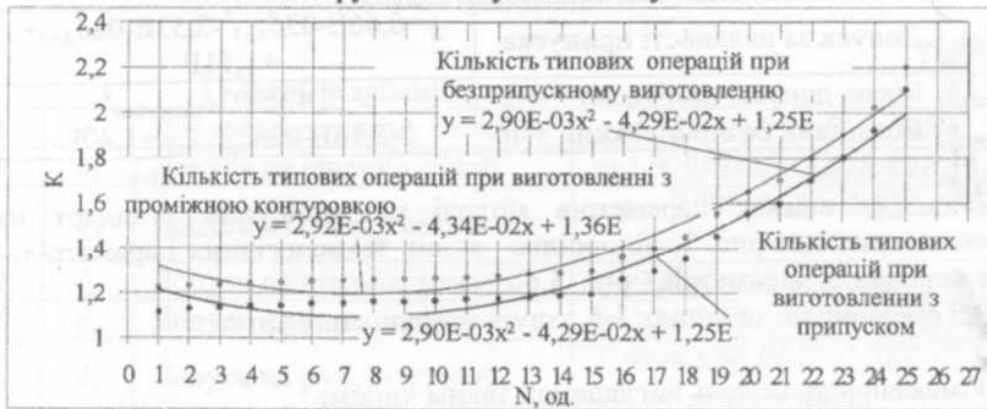


Рис. 4. Вплив кількості типових технологічних операцій на трудомісткість збірки конструкцій

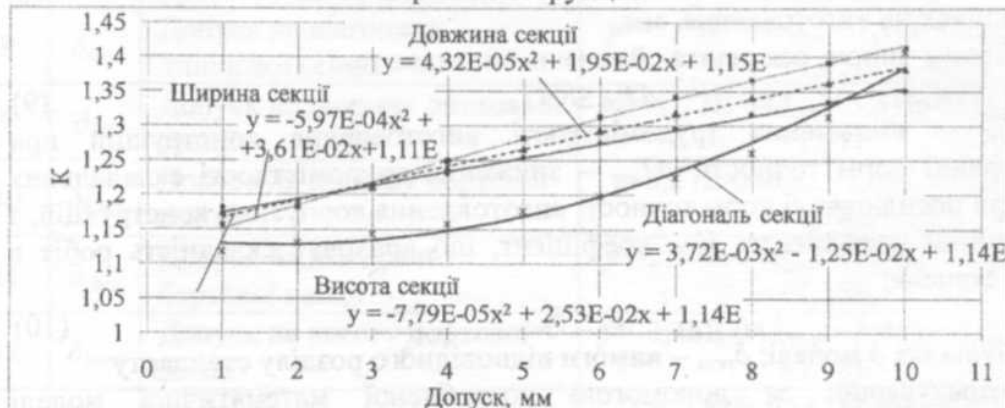


Рис. 5. Вплив допуску на лінійні розміри та діагональ секції на трудомісткість сталельної збірки

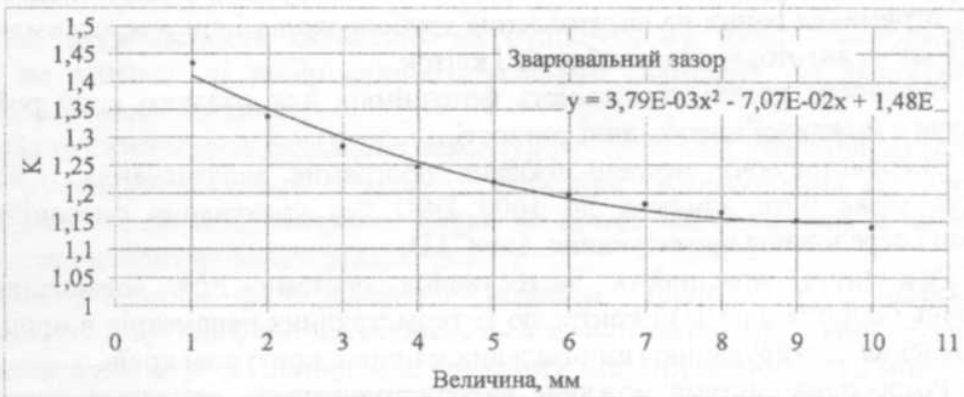


Рис. 6. Вплив величини зварювального зазору на трудомісткість стапельної збірки

У четвертому розділі проведені дослідження, які дозволили скомпонувати комплект устаткування і пакет програмного забезпечення, необхідних для виконання фотограмметричних вимірювань із стандартного неспеціалізованого ряду, та отримати такі значення точності (таблиця 6):

Таблиця 6

Порівняння точності вимірювань різних елементів секції

Елементи конструкції	Розмір елемента м	Лінійна помилка систем фотограмметрії, мм	Загальна помилка систем на базі фотограмметрії, мм		Помилка рулетки в соотв. діап., мм
			Система	Система +перев.	
Торцева частина	0-5	3,6	2,6	6,1	2,5
Впорядковане розміщення мішеней*	Радіус 0-2	-	4,3	6,2	3,3 (1,9**)
Випадкове розміщення мішеней*	Радіус 0-2	-	4,8 ***	6,7	3,3 (1,9**)
Довжина (L_x, L_z)	0-21	15,4	10,5	25,0	9,6

* Відхилення від кривої на кресленні; ** Положення мішеней, лінійні координати; *** Крива оброблялася напівавтоматично

Розроблена методика проведення вимірювань:

- при будівництві судна для: визначення геометричних параметрів конструкції; визначення величини припуску, що видаляється; контролю стану опорних пристроїв;

- при ремонті судна для: визначення координат замінюваної ділянки корпусу, уточнення об'ємів ремонту; визначення величини загального подовжнього вигину при демонтажі і монтажі конструкцій, у тому числі і на плаву; отримання даних на виготовлення трубопроводів і систем; отримання координат на виготовлення кильблоків і кліток.

Визначена необхідна кількість фотознімків для кожного виду робіт, виходячи з можливої і необхідної точності.

Використовуючи неспеціалізоване програмне забезпечення, його вартість може бути знижена до 1000 USD без урахування операційної системи і середовища проектування AutoCAD.

Розглянута можливість застосування системи при встановленні відливань (якірних ключів) і контролю їх геометричних параметрів в процесі виготовлення, юстируванню газорізальних машини, контурові країв.

Розроблена система можливе використовуватись спільно з іншими вітчизняними розробками (наприклад, з робототехнічною системою «Вертикаль» Л.А. Жучинського).

У п'ятому розділі встановлено, що фактична трудомісткість установки контурованих у чистий розмір секцій перевищує нормативну в середньому на 3,13 нормо-ч. і відрізняється від установки неконтурованих секцій на 8,62 нормо-ч., з урахуванням витрат на попередню контуровку в цеху - 5,36 нормо-ч. Реальний вигреш попередньої контуровки складає 3,43 нормо-ч. при використанні класичних методів виконання перевірочних робіт. Враховуючи витрати на досягнення вищих норм точності при виготовленні конструкцій в чистий розмір, на сьогодні попередня оконтуровка є недоцільною (рис. 7).

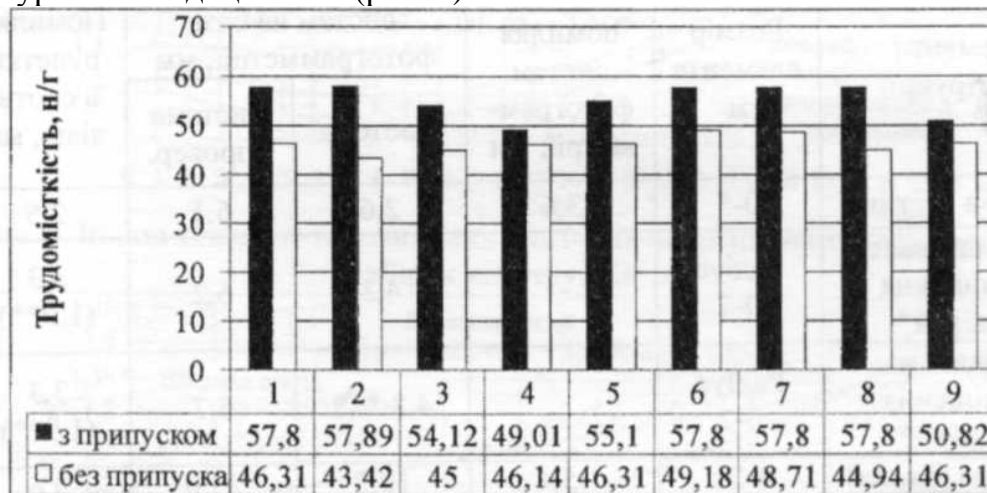


Рис. 7. Зведений графік ефективності результатів дослідження:

1 – трудомісткість по нормативах; 2 – трудомісткість по методиці Столярського; 3 – трудомісткість без урахування обчислених відхилень; 4 – трудомісткість по методиці Столярського без урахування обчислених відхилень; 5 – трудомісткість з неповною контуровкою; 6 – фактична трудомісткість; 7 – після введення SARQS (1,1936); 8 – після корекції SARQS за допомогою математичної моделі (1,1123); 9 – трудомісткість при використанні фотограмметрії

На трудомісткість складання на будівельному місці контурованих секцій не впливає ні вибір суднобудівельного стандарту, ні врахування порогу ефективної точності.

На трудомісткість складання неконтурованих секцій найбільший вплив робить рівень узгодженість стандарту. Зниження систематичних відхилень значно впливає на трудомісткість збірки як секцій, виготовлених в чистий розмір, так і неконтурованих секцій (рис. 7).

Використання фотограмметрії дозволяє зрівняти трудомісткість складання конструкцій, що виготовляються в чистий розмір, і конструкцій, що виготовляються з припуском, причому на трудомісткість монтажу перших застосування методу практично не впливає.

У додатках представлені диференціальний аналіз стандартів ЗАБЮ[^] і ОСТ 5.9324-89, таблиці теоретичної точності виготовлення корпусних конструкцій, одержані проведенням розмірно-технологічного аналізу; звіт про проведення вимірювань за допомогою фотограмметрії на виробничому об'єднанні ВАТ Суднобудівельний завод «Залив»; методика проведення фотограмметричних вимірювань та методика проведення експертних оцінок прийняті на ВАТ Суднобудівельний завод «Залив»; документи, підтверджуючі впровадження результатів досліджень.

ВИСНОВКИ

1. Сучасний стан суднобудівної промисловості характеризується спрощенням конструкцій, збільшенням величини зварювальних зазорів, використанням автоматизованих ліній збірки секцій, зниженням рівня кваліфікації працівників, домінуванням в перевірочних роботах оптичних методів. За таких умов вдосконалення технологічних процесів виготовлення судових корпусних конструкцій шляхом узгодження впливу регламентованих стандартами параметрів і технологічних факторів на трудомісткість, а також застосування цифрових технологій при проведенні перевірочних робіт дозволяє знизити трудомісткість виготовлення конструкцій.

2. Встановлено, що вимог точності стандарту ЗАБКЗБ не враховують особливостей технологічного процесу, точності обладнання і кількості операцій. Неможливо одержати конструкцію в межах допусків без коректування (збільшення) точності виконання окремих операцій. Точність виготовлення не всіх вузлів однаково впливає на збірку. Розраховані величини теоретично досяжної точності виготовлення судових корпусних конструкцій. Встановлено, що за наявності операції «контуровка» впливи вживаних норм точності мінімальні.

3. Запропоновано систематизацію елементів конструкцій по впливу на складальні процеси, що дозволяє оцінити ефективність посилювання норм точності.

4. Вперше впроваджено метод експертних оцінок для прогнозування точності виготовлення судових конструкцій, та визначення неврахованих помилок, адаптовано для суднобудування методика обробки результатів оцінки та вибору експертів;

5. Розроблена математична модель, що описує вплив величин допусків та їх уніфікацію, кількість та тип технологічних операцій, вживаної технології за наявністю припуски, величини зварювальних зазорів на трудомісткість операцій збірки, та дозволяє знизити неузгодженість факторів що впливають, трудомісткість виготовлення корпусу судна і керувати якістю продукції без підвищення точності виготовлення. За результатами розрахунку, відповідно до розробленої методики, виявлено що ОСТ5.9324-89 більш ефективний при необхідності забезпечення безприпускової збірки, проте можливо знизити вплив SARQS на трудомісткість збірки виготовлених «у чистий розмір» конструкцій, користуючись механізмом управління, закладеним в математичній моделі.

6. Розроблена і випробувана фотограмметрична вимірювальна система на базі неспеціалізованого програмного забезпечення для проведення перевірочних робіт. Отримані результати зіставні за точністю з існуючими методами вимірювань, але перевершують їх за швидкістю проведення при меншій трудомісткості. Розглянута можливість використання хаотично розташованих мішеней при обмірі криволінійних поверхонь. Завдяки використанню неспеціалізованого ряду обладнання отримана можливість скоротити витрати на устаткування і програмне забезпечення при формуванні вимірювальної системи.

7. Встановлено, що економічна ефективність виготовлення конструкцій з припуском при переході до цифрових методів проведення перевірочних робіт і наявності збільшених зварювальних зазорів підвищується до рівня збірки конструкцій, що виготовляються в чистий розмір або з проміжною контуровкою, при цьому вплив помилок виготовлення мінімальний.

8. Використання фотограмметрії при проведенні перевірочних робіт застосоване в проекті 7200.991.ZLV.001, замовлення С-504 DAMEN, метод експертних оцінок для прогнозування точності виготовлюваних конструкцій прийнятий к подальшому впровадженню на ВАТ Суднобудівельний завод «Залив». Результати роботи використовуються в учбовому процесі ФШ НУК. Прийнято к впровадженню Академією наук суднобудування України наукових результатів дисертаційної роботи.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Савицкий И. А. Анализ требований точности конструкций по судостроительным стандартам и их влияние на технологию строительства судов // Збірник наукових праць НУК. - Миколаїв: НУК, 2007. - №2 (413). - С. 12-19.

2. Савицкий И. А. Измерение криволинейных поверхностей с использованием фотограмметрии при ремонте корпусов судов промышленного флота // Рибне господарство України. - Керч: КМТИ, 2007. - №3-4 (50-51). -С. 47-52.

3. Савицкий И. А. Использование фотограмметрии для выполнения проверочных работ в судостроении и судоремонте // Автоматизация судостроительного производства и подготовка инженерных кадров:

состояние, проблемы, перспективы: Материалы международной научно-методической конференции (Николаев, 26-27 июня 2007 г.). - Николаев: НУК, 2007.-С. 117-120.

4. Савицкий И. А. Исследование опыта применения оборудования на основе цифровых технологий для выполнения проверочных работ при строительстве корпуса судна // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецьк: ДонНТУ, 2007. - №33. - С. 227-233.

5. Савицкий И. А. Предельная точность изготовления плоскостных секций цилиндрической вставки среднетоннажного судна по различным стандартам // Рибне господарство України. - Керч: КМТИ, 2006. - №5-6 (46-47). - С. 65-69.

6. Савицкий И. А. Применение теории экспертных оценок для определения точности сборочно-сварочных операций в судостроении // Рибне господарство України. - Керч: КМТИ, 2007. - №1-2 (48-49). - С. 55-59.

7. Савицкий И. А. Формализация взаимосвязи требований точности судостроительных стандартов и трудоемкости стапельной сборки // Рибне господарство України. - Керч: КМТИ, 2008. - №2-3 (55-56). - С. 64-68.

8. Savitskiy I. Manufacturing conditions of Ukrainian shipbuilding // Рибне господарство України. - Керч: КМТИ, 2008. - №4 (58). - С. 26-28.

9. Savitskiy I. Using an unspecialized soft for executing the close-range photogrammetry in the shipbuilding and shiprepair // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецьк: ДонНТУ, 2008. - №35. - С. 268-275.

АНОТАЦІЯ

Савицький І. А. Удосконалення технологічного процесу виготовлення суднових корпусних конструкцій з використанням цифрових технологій. -Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.08.03 - конструювання та будівництва суден. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2008.

Метою дослідження є вдосконалення технологічних процесів виготовлення суднових корпусних конструкцій шляхом узгодження впливу регламентованих стандартами параметрів і технологічних факторів на трудомісткість, а також застосування цифрових технологій при проведенні перевірок робіт.

Розроблена математична модель що описує вплив застосованих при виготовленні суднових корпусних конструкцій величин допусків та їх уніфікацію, кількість та тип технологічних операцій, вживаної технології за наявності припуску, величини зварювальних зазорів на трудомісткість операцій збірки, та дозволяє знизити неузгодженість факторів що впливають, трудомісткість виготовлення корпусу судна і керувати якістю продукції без підвищення точності виготовлення;

Випробуване фотограмметричне устаткування на базі неспеціалізованого програмного забезпечення для проведення

перевірочних робіт. Отримані результати, які за точністю порівняні з традиційними методами, але перевершують їх за швидкістю вимірювань. Значно скорочені витрати на устаткування і програмне забезпечення при формуванні фотограмметричної вимірювальної системи.

Ключові слова: *точність виготовлення судових корпусних конструкцій, збір, складання, помилка, контуровка, трудомісткість, пристосувальні роботи, фотограмметрія, перевірочні роботи, розмірний аналіз, експертні оцінки, стандарти.*

АННОТАЦІЯ

Савицкий И. А. Совершенствование технологического процесса изготовления судовых корпусных конструкций с применением цифровых технологий. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 - конструирование и строительство судов. Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, 2008.

Целью исследования является совершенствование технологических процессов изготовления судовых корпусных конструкций путем согласования влияния регламентированных стандартами параметров и технологических факторов на трудоемкость, а также применение цифровых технологий при проведении проверочных работ.

Установлено, что применяемый регламентирующий документ влияет на трудоемкость пригоночных работ на стапеле в нелинейной зависимости от жесткости требований точности, установлена зависимость, позволяющая определить изменение величины трудоемкости на сборке.

Проведена систематизации элементов конструкций по влиянию на сборочные процессы, что позволяет более эффективно использовать ужесточения норм точности.

Разработана математическая модель, описывающая влияние применяемых при изготовлении судовых корпусных конструкций величин допусков и их унификацию, количество и тип технологических операций, используемой технологии по наличию припуска, величины сварочных зазоров на трудоемкость операций сборки, и позволяет снизить несогласованность этих факторов, трудоемкость изготовления корпуса судна и управлять качеством продукции без повышения точности изготовления;

Опробовано фотограмметрическое оборудование на базе неспециализированного программного обеспечения для проведения проверочных работ. Получены результаты, сопоставимые по точности с классическими методами и превосходящие их по скорости измерений. Значительно сокращены затраты на оборудование и программное обеспечение при формировании измерительной системы.

Ключевые слова: *точность изготовления судовых корпусных конструкций, собираемость, погрешности, контуровка, трудоемкость,*

пригоночные работы, фотограмметрия, проверочные работы, размерный анализ, экспертные оценки, стандарты.

SUMMARY

Savitskiy I. A. Perfection of the ship's constructions manufacturing methods with using digital technologies. (*Ships' constructions manufacturing perfection methods using digital technologies.*) It is the manuscript.

Research work for getting PhD-degree on the profession 05.08.03 - ship building and construction. The National University of shipbuilding named after admiral Makarov, Nikolaev, 2007.

The ship's construction assembling and perfection verifying works with digital technologies worked up and theoretical checked at the great depending production efficiency on accuracy requirements is the research purpose.

The mathematical model of the regulating documents requirements influence on fitting-on works labor intensity in the slipway is worked up.

For define a ship's units correct tolerance zone sizes is offered to use an expert estimation method.

The close range grammetry equipment for carrying out verifying works on the unspecialized software base is tested. The results are equal the classical methods accuracy and perfecting them on the measurements speed and serviceability. The cost of equipment and software for carrying out measuring works is lowered in match times.

Keywords: *ship unit manufacturing accuracy, assembling, errors, outlining, labor intensity, fitting-on works, photogrammetry (close range grammetry), verifying works, dimensional analysis, expert estimations, standards.*

Підписано до друку 28.11.08. Папір офсетний. Формат 60x84/16.
Гарнітура "Тайме". Друк RIZO. Умови, друк. арк. 0,9 Тираж 100 прим.

Зам. № 309

Друкарня видавництва ПО «Шамрай». Св. МК № 4 від.16.09.02
54017, м. Миколаїв, вул.Декабристів 29/1