

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала МАКАРОВА

**Кафедра будівельної механіки та
конструкції корпусу корабля**

“Допущена до захисту ДЕК”

Завідуючий кафедрою _____ Л.І. Коростильов
“ _____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра за спеціальністю 135 «Суднобудування»
освітньо-професійна програма
«Конструювання та міцність корпусу суден і
плавучих споруд»

Тема роботи: «Дослідження особливостей
проєктування корпусних конструкцій малих суден
із поліетилену високої щільності»

РОЗРАХУНКОВО – ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Керівник роботи Кузнєцов А.І.

Студент групи 6116м Лисицький І.В.

Миколаїв 2023

Анотація

Магістерська робота: с. 77, рис. 34, 24 джерела.

Об'єкт дослідження – Малі судна з поліетилену високої щільності.

Мета досліджень – Розробка рекомендацій щодо визначення параметрів корпусних конструкцій з поліетилену високої щільності.

Методика досліджень – Дослідження виконувались на підставі рекомендацій класифікаційних товариств, за використанням програмного рішення ANSYS, шляхом прямих розрахунків.

Проект містить розрахунки та графічні матеріали, виконані на основі існуючих методик і нормативних документів.

У роботі було досліджено особливості проектування малих суден з поліетилену високої щільності із застосуванням стандарту ISO, за рекомендаціями TL та прямим моделюванням методом скінчених елементів.

Сталі тенденції світового суднобудування переконливо підтверджують ефективність застосування поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій окремих типів суден малого флоту.

Разом з тим, у світовій практиці нормування параметрів корпусних конструкцій із HDPE існують серйозні прогалини, що ускладнює процес проектування даних конструкцій.

Проблеми пов'язані з відсутністю формалізованих вимог до параметрів конструкцій в нормативних документах, таких як Вимоги Класифікаційних органів, у тому числі міжнародних стандартів ISO групи Small craft. У Правилах класифікації і побудови малих суден Регістру судноплавства України і у стандарті ISO Small craft — Hull construction and Scantlings-Part 1:Materials, HDPE у якості конструкційного матеріалу для малих суден не розглядається. Турецький Ллойд містить лише тимчасові правила для конструювання малих суден з HDPE. У зв'язку з цим нормування параметрів корпусних конструкцій з поліетилену високої щільності є актуальним завданням.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У роботі проведено аналіз особливостей поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден.

Здійснено порівняльний аналіз міцних розмірів елементів корпусних конструкцій малих суден розрахунковим методом, за вимогами стандарту ISO та за рекомендаціями TL. Перевірено можливість адаптації вимог стандартів ISO групи Small craft до проектування корпусних конструкцій із поліетилену високої щільності для малих суден. Виконано порівняння результатів та запропоновано висновки щодо застосування для визначення параметрів конструкцій адаптованої схеми стандартів ISO.

Досліджено можливості адаптації поліетилену високої щільності до створення малих суден із пропульсивними комплексами різних типів.

Розроблено рекомендації з охорони праці.

Графічна частина містить всі необхідні зображення, які дають уявлення про результати розрахунків.

Ключові слова. Малі судна, корпусні конструкції, вимоги до конструкції, поліетилен високої щільності, стандарти ISO.

Abstract

Master's thesis: p., fig. , 24 sources.

The object of the study is small vessels made of high-density polyethylene.

The purpose of the research is to develop recommendations for determining the parameters of body structures made of high-density polyethylene.

Research methodology - Research was carried out based on the recommendations of classification societies, using the ANSYS software solution, by direct calculations.

The project contains calculations and graphic materials based on existing methods and regulatory documents.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

The paper investigated the peculiarities of designing small vessels made of high-density polyethylene using the ISO standard, according to TL recommendations and direct modeling by the finite element method.

Steady trends in world shipbuilding convincingly confirm the effectiveness of using high-density polyethylene as a material for the hull structures of certain types of small fleet vessels.

At the same time, there are serious gaps in the global practice of standardizing the parameters of HDPE hull structures, which complicates the process of designing these structures.

The problems are related to the lack of formalized requirements for structural parameters in regulatory documents, such as the Requirements of Classification Bodies, including international ISO standards of the Small Raft group. In the Rules for classification and construction of small vessels of the Shipping Register of Ukraine and in the ISO standard Small craft — Hull construction and Scantlings-Part 1: Materials, HDPE is not considered as a construction material for small vessels. Turkish Lloyd contains only provisional rules for the construction of small HDPE vessels. In this regard, standardization of the parameters of body structures made of high-density polyethylene is an urgent task.

The paper analyzes the features of high-density polyethylene as a material for hull structures of small ships.

A comparative analysis of the strength dimensions of the elements of the hull structures of small ships was carried out by the calculation method, according to the requirements of the ISO standard and according to the recommendations of TL. The possibility of adapting the requirements of ISO standards of the Small craft group to the design of hull structures made of high-density polyethylene for small vessels has been verified. A comparison of the results was made and conclusions regarding the application for determining the parameters of the structures of the adapted scheme of ISO standards were proposed.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

The possibilities of adapting high-density polyethylene to the creation of small vessels with propulsion complexes of various types have been studied.

Recommendations on labor protection have been developed.

The graphic part contains all the necessary images that give an idea of the results of the calculations.

Keywords. Small craft, hull structure, design requirements, high density polyethylene, ISO standards.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження особливостей проєктування корпусних конструкцій малих суден із поліетилену високої щільності

Зміст

ВСТУП	5
1. Аналіз та систематизація особливостей ПЕВЩ у якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден.....	9
2. Аналіз архітектурно-конструктивних типів малих суден з ПЕВЩ.....	16
2.1 Аналіз світових тенденцій щодо розвитку малого суднобудування з ПЕВЩ.....	17
2.2 Фактори формування архітектурно-конструктивних типів малих суден з поліетилену високої щільності.....	26
3. Аналіз досліджень і публікацій.....	31
4. Дослідження сучасних методів проєктування та розробка рекомендацій щодо визначення міцних розмірів корпусних конструкцій.....	46
4.1 Особливості визначення міцних розмірів корпусних конструкцій.....	47
4.2 Порівняльні розрахунки елементів корпусних конструкцій.....	49
5. Охорона праці.....	63
Вступ.....	64
5.1 Аналіз особливостей небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при виробництві малих суден з ПЕВЩ.....	65
5.2 Розрахунок обсягу повітря на вентиляцію збирально-зварювального приміщення.....	67
5.3 Заходи з техніки безпеки.....	69
Висновки	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
					Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів	
Студент	Лисицький І.В.								
Керівник	Кузнєцов А.І.					НУК			
Консульт.	Шарун Г.В.								
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.								

Вступ

Альтернативні конструкційні матеріали мають велике значення у будівництві малих суден. Існують переконливі обґрунтування ефективності їх застосування для окремих типів суден малого флоту. У практиці світового малого суднобудування досить давно використовується у якості матеріалу корпусних конструкцій поліетилен високої щільності.

Постановка задачі. На даний час, при проєктуванні малих суден з конструкціями із поліетилену високої щільності (HDPE), виникає ряд проблем пов'язаних з визначенням міцних розмірів корпусних конструкцій. Проблеми пов'язані з відсутністю формалізованих вимог до параметрів конструкцій в нормативних документах, таких як Вимоги Класифікаційних органів, у тому числі міжнародних стандартів ISO групи Small craft. Так, наприклад, у Правилах класифікації і побудови малих суден Регістру судноплавства України і у стандарті ISO Small craft — Hull construction and Scantlings-Part 1:Materials HDPE у якості конструкційного матеріалу для малих суден на даний час не передбачається. Існують попередні вимоги для суден з HDPE у Турецькому Ллойді (TL). Ситуація з сертифікацією малих суден з конструкціями із HDPE на даний час передбачає процедуру спеціального розгляду класифікаційними органами, що створює певні перешкоди для поширення даного матеріалу в малому суднобудуванні. Враховуючи зазначене вважається доцільним створення та затвердження класифікаційними структурами інженерних алгоритмів визначення параметрів конструкцій суднового корпусу.

Слід зазначити, що на даний час РСУ проводить роботи щодо включення вимог до конструкцій з HDPE до складу правил. Піднагляді даним Правилам малі судна мають низку обмежень щодо застосування HDPE. Особливості матеріалу ставлять під сумнів можливість його застосування для вітрильних та моторних яхт через складність забезпечення естетичних критеріїв. Водночас у роботі показано високу ефективність застосування HDPE для службових, роз'їзних, патрульних та безекіпажних малих суден.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис.1 наведено показники ефективності матеріалу, що розглядається в порівнянні з альтернативними. Показники враховують весь комплекс застосування матеріалів для конструкцій малих суден від проектування до утилізації після закінчення експлуатації. Оскільки терміни служби різних матеріалів корпусних конструкцій суттєво відрізняються, то більш показовим буде порівняння щодо відносних витрат на 1 рік експлуатації. Див. Рис. 2

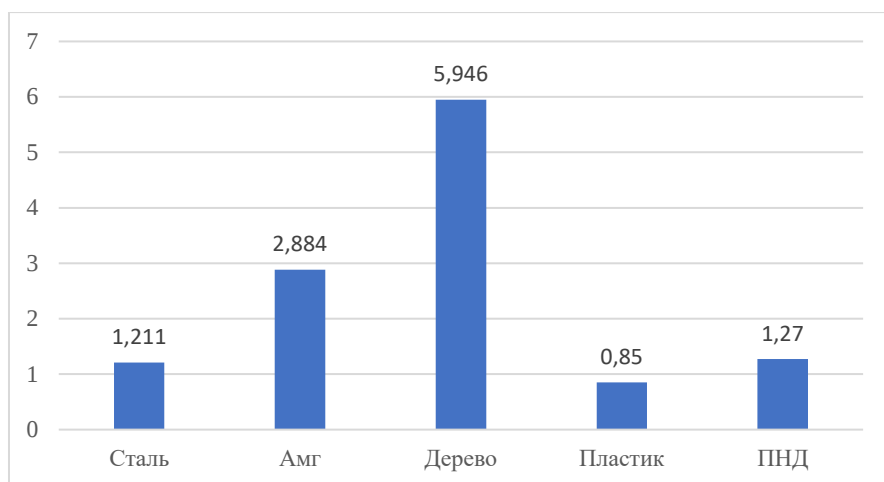


Рис. 1. Відносні витрати на виготовлення та експлуатацію конструкцій

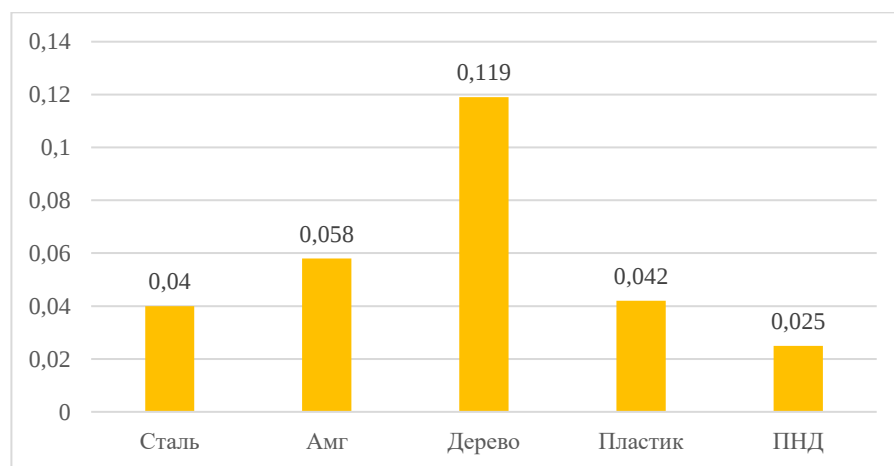


Рис. 2. Відносні витрати на рік служби конструкцій

Нерозв'язані раніше частини загальної проблеми.

Оскільки, Регистр судноплавства України досі не має формалізованих вимог до конструкцій із HDPE, хоча відповідні роботи щодо включення вимог до конструкцій з HDPE до складу правил зараз ведуться, зазначене потребує відповідного визначення у технічній політиці РСУ, у частині, що стосується використання HDPE у якості матеріалу корпусних конструкцій. Ігнорування даного конструкційного матеріалу призводить до необхідності сертифікації суден, які виготовляють вітчизняні виробники, за кордонами України. У зв'язку з цим нормування параметрів корпусних конструкцій з поліетилену високої щільності є актуальним завданням.

Мета роботи. Полягає в аналізі існуючих практик нормування параметрів конструкцій з HDPE та пропозиції єдиного підходу до нормування міцних розмірів корпусних конструкцій малих суден.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Регистр судноплавства України на даний час розробляє вимоги до проектування малих суден з поліетилену високої щільності. Дослідження, що проводяться під час виконання дисертаційної роботи, представлятимуть інтерес з точки зору обґрунтування норм і правил щодо проектування малих суден з поліетилену високої щільності.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.01			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Аналіз та систематизація особливостей поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Лисицький І.В.							
Керівник	Кузнецов А.І.					НУК ім. адм. Макарова		
Консульт.	Шарун Г.В.							
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

1. Аналіз та систематизація особливостей поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден

Світовий ринок поліетилену високої щільності сегментований по сферах застосування (труби, жорсткі вироби, листи та плівки та інші галузі застосування), галузі кінцевого користувача (упаковка, транспортування, електротехніка та електроніка, будівництво та суднобудування, сільське господарство, промисловість та машинобудування тощо) та географії (Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Північна Америка, Європа, Південна Америка, Близький Схід та Африка).

Ринок поліетилену високої щільності (ПЕВЩ/HDPE), за оцінками, досягне понад 45 мільйонів тон до кінця 2023 року і, за прогнозами, зареєструє середньорічний темп зростання близько 5% протягом прогнозованого періоду.

Ринок поліетилену високої щільності має консолідований характер. Деякі з основних гравців на ринку включають, серед іншого, Dow, Exxon Mobil Corporation, INEOS, SABIC і Lyon dell Basell Industries Holdings BV.

Поліетилен високої щільності – це синтетичний матеріал органічного походження, виготовлений на основі високомолекулярних з'єднань групи термопластів (поліолефіни), що утворюється при полімеризації карбоводневих з'єднань. Поліетилен високої щільності, полімер етилену, з лінійною будовою ($-\text{CH}_2 - \text{CH}_2$)_n, отриманий при низькому тиску.

Термопласти витримують багатократне нагрівання нижче температури деструкції та переробляються у вироби із застосуванням литва, зварювання, пресування. Разом з тим, поліетилен високої щільності старіє під дією підвищеної температури на повітрі, чутливий до ультрафіолетового випромінювання.

Особливості поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден викликані його властивостями. В інтересах дослідження розглядаються властивості матеріалу, що мають визначальне значення для проектування елементів корпусних конструкцій малих суден.

Корпуса суден виготовляють, зокрема, з листового поліетилену високої

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.01	Лист
						10
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

щільності методом зварювання. Властивості матеріалу марки PE-100, який виготовлений у відповідності до стандарту ISO 14632-1998 компанією Röchling Industrial SE & Co.KG (Німеччина) наведено у Таблиці 1.1 Назва торгової марки матеріалу – Polystone.

Табл. 1.1

Властивості HDPE	Значення	Одиниці виміру	Метод випробувань
Загальні властивості			
Щільність	0,955	г/см ³	DIN EN ISO 1183-1
Водопоглинання	< 0,01	%	DIN EN ISO 62
Горючість	HB	UL 94	-
Механічні властивості			
Границя текучості	25	МПа	DIN EN ISO 527
Відносне подовження при розриві	>50	%	DIN EN ISO 527
Модуль пружності при розтягуванні	1100	МПа	DIN EN ISO 527
Ударна в'язкість зразка з надрізом по Шарпі	10	кДж/м ²	DIN EN ISO 179
Твердість по Шору	63	шкала Д	DIN EN ISO 868
Коефіцієнт Пуасона	0,41	-	-
Термічні властивості			
Температура плавлення	133-135	°C	ISO 11357-3
Теплопровідність	0,40	Вт/(мК)	DIN 52612-1
Теплова потужність	1,90	кДж/(кгК)	DIN 52612
Коефіцієнт лінійного теплового розширення	150 – 230	10 ⁻⁶ К ⁻¹	DIN 53752

Робоча температура, довготривала	-50 – 80	°C	Середня
Робоча температура, короткотривала	100	°C	Максимальна
Температура теплової деформації	67	°C	DIN EN ISO 75, метод А
Міцність на згин	40	Н/мм ² (МПа)	ASTM D-790
Модуль пружності при вигині	750	Н/мм ² (МПа)	ASTM D-790
Твердість	Заявлене значення ±3	Шор D	-
Ударна міцність (випробування на падіння без надрізу)	Мін. 15	ДЖ/мм товщини	-
Ударна міцність з надрізом (маятникове випробування з надрізом)	Не крихке руйнування	Візуальний	-
Вміст пор	Мін. 15 Макс. 20	% від товщини	-
Ударна міцність на розрив зістареного матеріалу	Не крихкий злам мінімальна енергія перелому 1,0 Дж/см ³	Візуальний	-
Число в'язкості (знижена в'язкість)	157.8 до 398.3	мл/г	ISO 1628
Примітка. Інформація, що міститься в таблиці вище, зазначена при 23 °C.			

Наявні властивості матеріалу обумовлюють поведінку корпусних конструкцій та судна в цілому у ході експлуатації та мають бути враховані на етапі проектування, при визначенні міцних розмірів елементів корпусних конструкцій, забезпеченні взаємодії конструкцій, виготовлених з різних матеріалів.

Переваги та недоліки поліетилену високої щільності як матеріалу корпусних конструкцій малих суден наведено у Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Переваги	Недоліки
Мала питома вага матеріалу, що компенсує в конструкціях відносно невисоку міцність.	Відносно незначна міцність.
Висока спроможність до спротиву ударним навантаженням без залишкових деформацій і руйнувань. Особливості сприйняття матеріалом локальних навантажень призводять до перерозподілу напружень у зоні їх застосування та відновлення початкової форми конструкцій.	Високий коефіцієнт теплового розширення. Складність установки рушіїв із валов-лініями.
Позитивна плавучість конструкцій значно полегшує забезпечення непотоплюваності малого судна.	Суттєва залежність жорсткості від температури довкілля.
Стійкість матеріалу до корозії та обростання.	Спротив деградації матеріалу від ультрафіолетового випромінювання досягається включеннями технічного вуглецю – чорний колір конструкцій сприяє збільшенню терміну експлуатації судна.

Підлягає утилізації шляхом переробки у вторинний поліетилен.	Обмежені можливості щодо перевірки якості зварювання.
Короткі строки побудови серійних проєктів.	Зварні шви у підводній частині корпусу повинні бути безперервними.
Низька ефективна площа розсіювання.	Холодотекучість.
Здатність самоущільнення в районі кульових отворів.	Наявність слідів від приварювання набору (зварювальні деформації).
Висока ремонтпридатність конструкцій у польових умовах.	Вимоги до чистоти у складальному приміщенні для забезпечення якості зварювання.
Екологічна чистота виробництва.	Неможливість фарбування поверхонь конструкцій обмежує можливості застосування дизайнерських рішень для суден.
Можливість комплектації суден недорогим обладнанням та ремонтним комплектом для ремонту конструкцій у польових умовах.	Ускладнення при встановленні елементів конструкцій з різних конструкційних матеріалів.

Враховуючи наведені особливості поліетилену високої щільності у сукупності, доцільність використання його у якості основного матеріалу корпусних конструкцій у суднобудуванні, на даний час, обмежується малими суднами службово-допоміжного, промислового, бюджетного рекреаційного флотів та морськими безекіпажними засобами спеціального призначення.

Усталена практика щодо застосування матеріалу провідними виробниками, що буде детально розглянута у наступному розділі, підтверджує цей висновок.

Разом з тим, зустрічаються приклади використання матеріалу, що виходять за рамки розповсюдженого, на даний час, погляду.

Так, зустрічаються приклади виконання проєктів малих суден з матеріалу, відмінних від чорного, кольорів. Можливо припустити, що незначні строки експлуатації та відсутність організації повноцінної дослідної експлуатації зразків,

не дозволяють достатньо обґруновано оцінити наслідки застосування наведених рішень.

Обмеженість інформації щодо поведінки матеріалу у ході експлуатації через існуючу між виробниками конкуренцію суттєво ускладнює розуміння науково обґрунтованих меж використання ПЕВЩ при збільшенні головних розмірів суден, обмежень щодо температурного діапазону, можливостей і способів обробки деталей корпусу, конструктивних рішень застосування елементів корпусних конструкцій з матеріалів, що відрізняються за властивостями, покращення властивостей матеріалу, економічної ефективності його застосування.

Набуття нових знань, технологічних рішень та досвіду за наведеними напрямками досліджень безумовно призведе до суттєвого розширення ринкових можливостей щодо використання поліетилену високої щільності, враховуючи високі показники екологічності матеріалу.

Беручи до уваги зазначене, організація подальших досліджень особливостей поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій, вважається доцільною на повному життєвому циклі дослідних зразків, від задуму то утилізації.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.01	Лист
						15
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.02			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Аналіз архітектурно-конструктивних типів малих суден з ПЕВЩ	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Лисицький І.В.							
Керівник	Кузнєцов А.І.					НУК ім. адм. Макарова		
Консульт.	Шарун Г.В.							
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

2.1 Аналіз світових тенденцій щодо розвитку малого суднобудування з ПЕВЩ

Останнім часом динамічно розвивається світовий флот малих суден із конструкціями з поліетилену високої щільності (далі – ПЕВЩ/HDPE).

Переважно, але невиключно, зазначений матеріал використовується для малих суден службово-допоміжного флоту. Орієнтовний перелік типів суден, що виготовляються з HDPE наведено у Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

№	Тип судна	
1	Aquaculture service boat	Службовий човен для аквакультури
2	Crew tender	Тендер для доставки екіпажу
3	Dive support boat	Човен підтримки дайвінгу
4	Harbor boat	Портовий човен
5	House boat	Плавучий дім
6	Hydrocopter	Гідрокоптер
7	Landing craft	Десантний човен
8	Leisure boat	Прогулянковий човен
9	Line handling	Роз'їзний катер
11	Patrol craft	Патрульний катер
12	Pilot boat	Лоцманське судно
13	Recreational boat	Прогулянковий човен
14	Rescue boat	Рятувальний катер
15	Research boat	Дослідницьке судно
16	Superyacht tender	Тендер обслуговування суперяхт
17	Safety vessel	Судно безпеки
18	Seismic survey	Судно сейсмічної розвідки
19	Service boat	Службовий катер
20	Support vessel	Допоміжне судно
21	Survey vessel	Оглядове судно
22	Waste collection boat	Човен для збору відходів
23	Work tender	Робочий тендер

Збільшується кількість та розширюється географія підприємств-виробників малих суден з HDPE, Таблиця 2.2.

Таблиця 2.2

№	Виробник	Країна
1.	AKUADAN	Турція
2.	AKUAKARE	Турція
3.	AK-YA	Турція
4.	ASAKUA	Турція
5.	BLACK workboats	Нідерланди
6.	HDPE BOATS	Турція
7.	Izmir shipyard	Турція
8.	LOYD shipyard	Турція
9.	Nektonbot	Турція
10.	Tideman boats	Нідерланди
11.	PLAST boat	Турція
12.	STREIT marine	ОАЕ
13.	TECHNOCAGE	Італія
14.	TJ BOATS	Польща
15.	TSBOATS	Естонія
16.	АДАМАНТ	Україна
17.	Гольфстрім	Україна
18.	МАРКО Лтд	Україна

Слід відзначити значну кількість турецьких компаній, що працюють у цьому сегменті ринку малого суднобудування.

Разом з тим, Українські підприємства малого суднобудування проявляють зацікавленість у використанні матеріалу та дотримуються світового тренду.

У таблиці 2.3 наведено розподіл типів суден у розрізі виробників. Наведений розподіл спирається на віднесення того чи іншого судна до відповідного типу, що було здійснено виробником. З цієї причини однакові або наближені за призначенням типи суден мають різну назву. Означена невизначеність не пов'язана з предметом даного дослідження та потребує окремого розгляду.

Таблиця 2.3

Виробник	AKUADAN	AKUAKARE	AK-YA	ASAKUA	BLACK workboats	HDPE BOATS	Izmir shipyard	LOYD shipyard	Nektonbot	Tideman boats	PLAST boat	STREIT marine	TECHNOCAGE	TJ BOATS	TSBOATS	АДАМАНТ	Гольфстрім	МАРКО Лгд
Тип судна																		
Aquaculture service boat				+			+											
Ambulance boat											+							
Barge												+						
Crew tender	+								+	+	+						+	+
Diving support boat									+		+							
Harbor boat	+	+		+														
House boat							+				+							
Hydrocopter																		
Landing craft							+			+		+						+
Leisure boat											+			+	+		+	+
Line handling		+					+										+	
Patrol craft							+	+	+	+	+	+					+	+
Passenger boat											+			+				
Pilot boat							+	+	+	+	+						+	
Ponton		+					+									+		
Recreational boat					+						+			+	+		+	+
Rescue boat																		+
Research boat							+				+							
Superyacht tender																		
Safety vessel									+	+								
Seismic survey																		
Service boat	+	+	+	+			+		+									
Support vessel										+								
Survey vessel										+							+	
Waste collection boat		+																
Work boat											+	+			+	+		
Work tender	+	+	+	+	+		+							+			+	+

Разом з тим, відслідковується інша тенденція, що проявляється у зацікавленості виробників до проєктування універсальних платформ та максимально широкого діапазону їх застосування для виконання різних за призначенням задач. Діапазон використання обмежується лише об'єктивно нереалізуємими у тактико-технічних характеристиках судна вимогами, що призводить до необхідності проєктування іншої платформи.

Зазначене пояснюється прагненням виробників зменшити витрати на проєктування, підготовку виробництва та освоєння випуску нових проєктів.

Найбільш яскравим представником цього підходу до проєктування та побудови лінійки платформ є виробник Tideman boats, (Нідерланди), Рис. 2.1

Виробник припускає реалізацію на одній платформі таких функціональних призначень, як: - допоміжне судно, - патрульне судно, - судно для доставки екіпажу, - судно безпеки, - інспекційне судно.

Рис. 2.1

Довжина – 7,10 м

Ширина – 2,35 м

Осадка – 0,2 м

Швидкість – 35 вуз

Виробник – Tideman boats



Наступний приклад поєднання різних функціональних призначень на той самій платформі можливо побачити на рис. 2.2: - судно доставки екіпажу, - патрульне судно.

Рис. 2.2

Довжина – 9,10 м
 Ширина – 2,5 м
 Осадка – 0,3 м
 Швидкість – 38 вуз
 Виробник – Tideman boats



Прикладом судна унікального призначення може служити спеціалізоване судно, призначене для висадки на узбережжя, облаштоване носовою апарелю, рис. 2.3.

Рис. 2.3

Довжина – 9,80 м
 Ширина – 2,9 м
 Осадка – 0,4м
 Швидкість – 32 вуз
 Виробник – Tideman boats



Прикладами різних типів суден інших виробників слугують:

Лоцманське судно, рис. 2.4.

Рис.2.4

Довжина 12 – 14 м

Ширина 3,2 – 3,6

Осадка 0,5 – 0,65

Швидкість 20 – 32 вуз

Виробник – Nekton boat



Судно медичного забезпечення, рис. 2.5.

Довжина 12 – 15 м

Ширина 3,2 – 4,6 м

Осадка 0,4 – 0,6 м

Швидкість 30 – 50 вуз

Виробник – Nekton boat



Патрульний катер, рис. 2.6.

Довжина – 8,67 м
Ширина – 2,28 м
Висота борту – 3,2 м
Швидкість – 45 вуз
Виробник – Streitmarine

Рис.2.6



4. Судно для збирання відходів, рис. 2.7.

Довжина – 8,5 м
Ширина – 3,2 м
Осадка – 0,4 м
Швидкість – 45 вуз
Виробник – Akuakare

Рис.2.7



5. Пошуково-рятувальне судно, рис. 2. 8.

Довжина – 12 - 16 м

Ширина – 3,2 - 4,6 м

Осадка – 0,45 - 0,65 м

Швидкість – 25-45 вуз

Виробник – Nekton boat

Рис.2.8



6. Судно підтримки дайвінгу, рис . 2.9.

Довжина – 6-10 м

Ширина – 1,8-3,2 м

Осадка – 0,35-0,6 м

Швидкість – 15-40 вуз

Виробник – Nekton boat

Рис. 2.9



Продукцію українських виробників можливо побачити на рис. 2.10 – 2.11.

Багатоцільовий катер, рис. 2.10.

Рис.2.10

Довжина – 7,4 м

Ширина – 2,42 м

Висота борту – 0,96 м

Швидкість – 35 вуз

Виробник – Гольфстрім



Патрульний катер, рис. 2.11.

Рис.2.11

Довжина – 7,5 м

Ширина – 2,34 м

Висота борту – 1,23 м

Швидкість – 30 вуз

Виробник – МАРКО Лтд



2.2 Фактори формування архітектурно-конструктивних типів малих суден з поліетилену високої щільності

Основи створення перспективного проєкту малого судна закладаються на початковій стадії проєктування. Затребуваність та еволюція малих суден як технічних систем обумовлена структурою організованої діяльності в інтересах якої вони проєктуються.

Будь-яка організована діяльність, передбачає наявність спроможностей щодо її здійснення, оцінку дефіциту наявних спроможностей.

Дефіцит спроможностей щодо здійснення цільової діяльності, що виявляється у нестачі тих чи інших ресурсів, оцінюється виходячи з необхідних і наявних для досягнення цілей діяльності. Оцінка дефіциту спроможностей що ґрунтуються на використанні технічних систем, передбачає опис структури цільової діяльності, в інтересах якої спроможності мають бути досягнуті. При усвідомленні дефіциту спроможностей для здійснення цільової діяльності виникає мотивація щодо створення необхідної технічної системи, що свідчить про початок її життєвого циклу.

Усвідомлений дефіцит спроможності щодо реалізації діяльності та/або її ефективності формує потребу у новітніх проєктних розробках та визначає їх цільове призначення. Цільове призначення визначається природою та структурою здійснюваної діяльності. Цільове призначення уявляє собою опис функціональності, яку має підтримувати технічна система у межах діяльності щодо її застосування, з визначенням множини параметрів за якими висуваються вимоги щодо основної операційної функціональності, що підлягають оптимізації у ході проєктування.

Вимоги до технічної системи – упорядкована сукупність якісних та кількісних показників властивостей системи, достатня для теоретичного обґрунтування створення зразка майбутньої технічної системи.

Формалізоване уявлення про властивості дає змогу висунути загальні принципи побудови технічної системи, методи її створення, сформулювати техніку її проєктування та технологію створення.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.02	Лист
						26
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Суттєвим для подальшого є розуміння того, що природа життєвого циклу технічних систем лежить у діяльності організаційних систем та не може розглядатися окремо.

Отже, вихідною інформацією для формування образу майбутньої технічної системи є опис структури цільової діяльності в ході запровадження якої система планується до застосування з фіксацією виявленого дефіциту спроможностей до діяльності. Виходячи з цього стає можливим усвідомити зацікавленість, сформулювати функціональне призначення системи, описати умови її застосування. Сукупність отриманих даних уявляє сформовану потребу у технічній системі.

Комплекс завдань щодо визначення (з'ясування) потреби у
цільовій технічній системі

1. Визначення необхідних спроможностей, що ґрунтуються на використанні технічної системи;
2. Опис наявних спроможностей;
3. Визначення дефіциту спроможностей;
 - 3.1. Опис дефіцитних спроможностей щодо цільової діяльності;
 - 3.2. Опис функціонального призначення технічної системи;
 - 3.3. Опис умов застосування цільової ТЗ;
 - 3.4. Визначення складу та значень якісних та кількісних показників призначення цільової технічної системи;
 - 3.5. Визначення можливих принципів дії цільової технічної системи;
 - 3.6. Визначення попереднього складу цільової технічної системи;
 - 3.7. Визначення властивостей технічної системи та значень їх якісних та кількісних показників;
4. Визначення ступеня зацікавленості (мотивації) у цільовій технічній системі;
5. Опис потреби у цільовій технічній системі.

Сформована, таким чином, потреба у технічній системі створює первинне уявлення відносно образу системи та є описом її початкового стану.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.02	Лист
						27
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Готовність до вирішення комплексів завдань, що відповідають етапам життєвого циклу технічної системи визначає відповідність організаційної системи, цільовою діяльністю для якої є створення технічної системи.

Таким чином, архітектурно-конструктивний тип малих суден, що виробляються з поліетилену високої щільності визначається деякими основними факторами:

1. Призначенням малого судна;
2. Умовами застосування;
3. Властивостями матеріалу корпусних конструкцій;
4. Сучасними архітектурними тенденціями;
5. Методологією проєктування;
6. Вимогами класифікаційних товариств.

Під впливом означених факторів формуються особливості архітектурно-конструктивних типів малих суден, що виробляються з поліетилену високої щільності, прояви яких знаходять відображення у проєктах суден різних виробників.

Різноманітність функціонального призначення та умов застосування визначає наявність однокорпусних та багатокорпусних суден, безпалубних, частково палубних та палубних корпусів. Зустрічаються корпуси без рубки відкритого типу, з невеликою або розвинутою рубкою. Малі пасажирські судна обладнуються салонами для комфортного розміщення пасажирів. Принципово допускається різне за довжиною корпусу судна розміщення рубки: -носове, -середнє та -кормове, з відповідним розташуванням консолі дистанційного управління, облаштованою повздовжніми сидіннями або кріслами. У разі необхідності судна можуть облаштовуватись носовою або кормовою апарелю.

Особливості матеріалу дозволяють виробляти судна довжиною приблизно до 24 метрів, при збільшенні головних розмірів у корпусних конструкціях виникають значні напруження, що можуть перевищити допустимі. Збільшення розмірів елементів корпусних конструкцій призводять до виходу їх за межі прийнятних.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.02	Лист
						28
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на те, що існує певна гама кольорів поліетилену високої щільності, що виробляється серійно, для виробництва малих суден рекомендується використовувати матеріал чорного кольору, що містить вуглецеву добавку, стійку для ультрафіолетового випромінювання. Наявність добавки захищає матеріал корпусу від впливу сонячних промінів подовжуючи термін використання судна.

Фактура та колір матеріалу впливають на можливі дизайнерські рішення щодо форми корпусу та інших елементів. Серед продукції, що виробляється можливо побачити дизайнерські рішення, які більш вдало враховують зовнішні особливості матеріалу та особливості формування корпусу.

Зустрічаються різні способи формування корпусів малих суден з поліетилену високої щільності:

- метод ротаційного формування;
- печать на 3D принтері;
- метод зварювання .

Слід зазначити, що при формуванні корпусу шляхом зварювання листи зовнішньої обшивки мають розгортатися на площину, враховується на етапі проектування, оскільки технологія підготовки листів згинанням потребує освоєння для даного матеріалу, враховуючи необхідність техніко-економічного обґрунтування щодо її застосування. Зазначене впливає на форму корпусу визначаючи гостроскулі обводи, що накладає певні обмеження, але і завдає напрямок дизайну.

В залежності від району плавання зустрічаються корпуси з більш плоским днищем, річкового застосування та корпуси з покращеною морехідністю, що відрізняються більшим кутом кілюватості, призначені до використання у морських умовах.

На малих судах, що виготовляються з поліетилену високої щільності допускається використання різних типів пропульсивних установок. Найбільш розповсюдженими є судна з підвісними двигунами на різних типах палива та електричні. Крім того, зустрічаються судна зі стаціонарними пропульсивними установками водометного типу, поворотними колонками та прямо-вальні. При

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.02	Лист
						29
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

встановленні водометних двигунів виникають певні ускладнення, що стосується необхідності укріплення транцю та монтажу двигуна.

У будь якому випадку та незважаючи на різноманітність типів малих суден, що виготовляються з поліетилену високої щільності можливо узагальнити деякі риси архітектурно-конструктивного виконання корпусів.

Превалуючим є виконання корпусів з подвійним дном. Міждонний простір заповнюється піною з низьким коефіцієнтом водопоглинання. На суднах, де планшир існує у формі труби, вона також заповнюється піною.

Характерною для багатьох виробників є тенденція щодо виробництва так званих «платформ» багатоцільового застосування. Економічні підстави цього явища було наведено вище. Разом з тим, якщо проаналізувати цей підхід до проєктування під кутом відповідності тактико-технічних характеристик створеного судна цільовому призначенню та іншим вимогам, що висувуються замовником, на думку спадає наступний висновок.

Уніфікація цільового використання суден без ураження ефективності застосування можлива лише за умови співпадаючого цільового призначення за різними замовниками, або незначного його відхилення від базового проєкту. В іншому випадку, з метою економії ресурсів, вважається за доцільне кастомізація проєкту в інтересах конкретного замовника шляхом узгодження основних елементів проєкту на ранніх стадіях проєктування, враховуючи їх відносно невисоку вартість, та особливості технології виробництва суден з досліджуваного матеріалу, у тому числі, незначні терміни виробництва.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.02	Лист
						30
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.03			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Аналіз досліджень і публікацій	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лисицький І.В.						
Керівник		Кузнецов А.І.				НУК ім. адм. Макарова		
Консульт.		Шарун Г.В.						
Зав. каф.		Коростильов Л.І.						

3. Аналіз досліджень і публікацій

Малотоннажне суднобудування являє собою поєднання існуючого напрацювання та сучасних тенденцій у мистецтві дизайну, технічних науках, організації виробництва та бізнес-управлінні.

Історія малотоннажного суднобудування нерозривно пов'язана з історією цивілізації і сягає глибин тисячоліть її існування.

Перші згадки про появу моторних катерів відносяться до кінця XIX сторіччя. У 1886 році, Готліб Даймлер продемонстрував свій катер «Некар», що мав 6 метрів у довжину, 1,5 метра ширини, вміщав 11 пасажирів, з двигуном Даймлера 2 л.с. [1]. Виникнення класичних обводів моторного катеру – гострий ніс і транцева корма, які використовуються і зараз, відносяться до цього періоду.

Вже через 18 років потужність двигунів виросла до 350 л.с., що призвело до виникнення глісуючого ефекту і нової тенденції щодо співвідношення головних розмірів. На заміну слогану «довжина біжить» прийшов інший «ширина ковзає». У подальшому спостерігається зменшення співвідношення L/B.

До кінця 40-х років основними конструктивними матеріалами для будівництва малих суден були деревина і сталь. Завдяки науково-технічному прогресу у хімії та матеріалознавстві, пошукам легких конструкційних матеріалів у післявоєнний період виробники малих суден почали застосовувати алюміній, армовані композиційні матеріали та поліетилени, зокрема, поліетилен високої щільності [2].

Слід визнати, що надійної методики проектування, що враховує всі особливості малого флоту, на даний час не існує. Застосування традиційних методів проектування малих суден [3] суттєво ускладнюється з наступних причин:

1. Наявність значної різноманітності архітектурно-конструктивних типів малих суден, їх призначень, матеріалів корпусних конструкцій, умов експлуатації, технологій виготовлення, локальних обмежень та національних вимог;

2. Специфіка відносин у ланцюжку Замовник – Проектант – Верф. Як правило, проектування одиничних або дрібносерійних малих суден не становить інтересу для великих конструкторських бюро в галузі суднобудування. У свою

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.03	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

чергу, замовники таких суден не мають достатніх бюджетів для оплати проектування в подібних структурах;

3. Обмеженість верфей наявністю інженерно-технічного персоналу, достатнього для вирішення оперативних завдань у наслідок неможливості повноцінного завантаження повнофункціональної проєктної групи, що призводить до необхідності розміщення замовлень на проектування у зовнішніх проєктних організацій;

4. Проєктанти малих суден, переважно нестабільні організаційні структури, які групуються навколо головних конструкторів, що мають авторитет у сфері проектування малих суден. Спостерігається дрейф кваліфікованих фахівців за замовленнями, що з'являються. З цього боку очікувати на фінансування в галузі досліджень процесу проектування малих судів теж не варто.

5. Замовник, переважно, немає достатньої компетенції у сфері проектування малих суден. У наслідок цього вимоги до проєкту можуть містити низку фізичних протиріч.

Враховуючи зазначене, найбільш придатним до застосування стає метод послідовних наближень.

Наведена модель взаємодії при проєктуванні малих суден, що природньо склалася на внутрішньому ринку України, обумовлюється його суттєвою обмеженістю та важкодоступністю зовнішніх ринків. З іншого боку, гнучкість організаційної системи етапу проєктування дозволяє краще прилаштовуватись до вимог ринку та забезпечує її збереження у довгостроковій перспективі.

Орієнтовна послідовність і зміст початкових етапів проєктування, що враховують наведені особливості взаємодії, передбачає:

1. Розробку та узгодження із Замовником технічного завдання на проектування малого судна.

Задачі етапу: - обґрунтоване в технічному плані узгодження вимог до проєкту; - узгодження ідеї архітектурно-конструктивного типу судна; - узгодження вимог до загального розташування, - морехідних характеристик, -

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.03	Лист
						33
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу корпусних конструкцій, - пропульсивної установки; - енергозабезпечення, пристроїв, систем тощо.

2. Проведення аналізу інформації по групі близьких за призначенням та ходовими характеристиками.

Задача етапу: - визначення у першому наближенні типу та параметрів рушіїв.

3. Проведення, відповідно до ТЗ і попередньо визначених характеристик рушіїв, вибору пропульсивного комплексу та іншого устаткування, що закуповується.

Задачі етапу: - визначення навантаження мас елементів устаткування; - оцінка мас корпусних конструкцій, у першому наближенні може бути зроблено з використанням результатів роботи [4].

Наведена принципова послідовність і зміст початкових етапів проектування дозволить коректно розробити проєкт малого судна у першому наближенні.

Активне поповнення флоту малих суден різного призначення швидкісними глісуючими судами робить актуальними питання методології проектування корпусних конструкцій зазначених об'єктів. Очевидно, що для суден, що розглядаються, при швидкостях руху 20-50 вузлів питання забезпечення міцності корпусних конструкцій є одним з основних питань проектування. У той же час, необхідність забезпечення заданої швидкості при мінімально можливій потужності двигунів змушує уникати невиправданих запасів міцності корпусних конструкцій. Докладно пріоритети розрахункових навантажень при проектуванні корпусних конструкцій малих швидкісних суден розглянуто у роботі [5].

При проектуванні слід враховувати, що хоча відношення маси корпусу до водотоннажності істотно залежить від архітектурно-конструктивного типу судна і може змінюватися в досить великих межах, але тенденція збільшення відносної маси корпусу зі зменшенням розмірів суден простежується досить чітко. При проектуванні цей факт змушує з максимальною увагою віднестися до корпусних конструкцій малих суден.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.03	Лист
						34
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У зв'язку з цим актуальним є аналіз навантажень діючих на конструкції та виявлення пріоритетних компонентів навантаження для виключення несуттєвих варіантів розрахунків у процесі проектування на початковій стадії.

Спираючись на проведений аналіз у роботі визначається, що домінуючим навантаженням є місцеве динамічне навантаження, яке залежить від швидкості руху судна.

Таким чином, на ранніх стадіях проектування малих швидкісних суден для визначення параметрів корпусних конструкцій можна враховувати лише динамічні місцеві навантаження, що регламентуються Правилами BV, стандартом ISO 12215-5 або Правилами РСУ.

Перевірку загальної поздовжньої міцності для малих суден традиційної архітектури можна не проводити.

У роботі [6] розглядається поле обмежень та його вплив на якість конструктивних рішень при проектуванні малих суден. Зазначається, що у цьому випадку цілком допустимо і доцільно застосовувати нетрадиційні конструктивні рішення без перехідних елементів.

При проектуванні малих суден велике значення має вибір матеріалу корпусних конструкцій, що пов'язано з необхідністю мінімізації ваги корпусу судна при збереженні міцності належного рівня забезпеченості. Крім того, обраний матеріал корпусних конструкцій суттєво впливає на експлуатаційні характеристики у ході застосування за призначенням. Також, важко переоцінити вплив матеріалу корпусних конструкцій на загальний дизайн та споживчі властивості проектуваного судна.

Численні спроби створення критеріїв вибору оптимального матеріалу для корпусних конструкцій малих суден не дають конкретних рекомендацій, що дозволяють здійснити цей вибір. Окремі порівняння параметрів альтернативних матеріалів не мають практичної цінності для проєктантів, оскільки не є достатньо переконливими для замовників малих суден.

Для коректної оцінки результатів прийнятого рішення необхідна модель експлуатації конструкцій малого судна, що включає всі значущі фактори, що впливають на вибір матеріалу конструкцій.

У якості матеріалів корпусних конструкцій малих суден знайшли широке використання:

1) Суднобудівні сталі звичайної або підвищеної міцності, зварні конструкції;

2) Легкі сплави типу АМг, зварні та рідше, клеєно-зварні конструкції;

3) Деревина в різних варіантах виконання (виконання, в основному, залежить від конструкції обшивки корпусу) - (склейка + механічне кріплення), допускається застосування композитних конструкцій з металевим набором:

- Одинарна рейкова обшивка вгладь;
- клінкерна обшивка;
- рейкова багатошарова (2 -3 шари), діагональна або частково діагональна;
- Фанерна обшивка;
- Холодноформований ламінат (клеєна шпонова).
- Армований пластик (армування скловолокном та/або вуглеволокном);
- Сандвічові конструкції із застосуванням легких заповнювачів.

Армоцемент.

Процес прийняття рішень при виборі матеріалу корпусних конструкцій спирається на наступні фактори:

1. Вплив на архітектурно-конструктивний тип та експлуатаційні характеристики;

2. Співвідношення загальних мас корпусних конструкцій

3. Вартість виготовлення корпусних конструкцій;

4. Термін експлуатації;

5. Особливості обслуговування корпусних конструкцій в експлуатації;

6. Ліквідність малого судна протягом життєвого циклу.

7. Придатність до утилізації.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.03	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

Такі фактори, як вплив на архітектурно-конструктивний тип та ліквідність малого судна, важко формалізуються. Порівняльна оцінка відносних витрат на виготовлення та експлуатацію корпусних конструкцій наведена у роботі [7].

Аналіз результатів порівняння дозволяє зробити припущення щодо перспективності використання поліетилену високої щільності (ПЕВЩ/HDPE) у якості матеріалу корпусних конструкцій при підтвердженні допустимості його використання шляхом здійснення аналізу інших принципових характеристик даного матеріалу. Більш докладно з особливостями використання поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден можливо ознайомитись у роботах [8], [9], [10].

Відмічається позитивна тенденція щодо використання даного матеріалу у якості конструкційного для виготовлення корпусів малих суден виробниками Норвегії, Нідерландів, Польщі, Естонії, Туреччини, ОАЕ, США та деяких інших країнах. Останнім часом з'явилося кілька вітчизняних виробників малих суден із цього матеріалу.

У роботі розглядаються перспективи використання поліетилену високої щільності, як основного матеріалу корпусних конструкцій шляхом здійснення аналізу основних факторів, що впливають на створення, експлуатацію та утилізацію корпусних конструкцій.

У результаті аналізу зазначається, що матеріал є перспективним для конструкцій швидкісних суден, має відносно невисоку вартість виготовлення та подальшої експлуатації корпусних конструкцій, високий показник відносного терміну служби, найкращий показник основних експлуатаційних характеристик, невисокий показник ліквідності та добру здатність до утилізації.

За результатами аналізу робиться висновок про конкурентність і перспективність поліетилену високої щільності, як матеріалу корпусних конструкцій малих суден службово-допоміжного та промислового флотів, можливість застосування для будівництва суден рекреаційного флоту бюджетного класу, які претендують на тривалий термін експлуатації. Приклад використання промислових суден з поліетилену високої щільності рибалками Індонезії можливо побачити у роботі [11]. Приклад використання відходів виробів з поліетилену

високої щільності у якості сировини для виготовлення малих рибальських човнів наведено у роботі [12].

Враховуючи перспективність використання поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій особливе значення набувають питання технології та організації виробництва малих суден.

Незважаючи на наявність прикладів застосування різних технологій виробництва, а саме: - ротаційне формування, - пресування, - лиття під тиском, - 3D печать, найбільш розповсюдженою для виробництва малих суден службово-допоміжного, промислового та рекреаційного призначення є технологія на основі зварювання. Популярність означеної технології, ймовірно, пояснюється порівняно невисокою вартістю необхідного технологічного обладнання та відносною простотою її освоєння, зокрема, підготовки збиральників та зварювальників належної кваліфікації.

Слід зазначити, що розповсюдженню застосування поліетилену високої щільності для виробництва малих суден, на теренах України, передувало широке його використання у якості конструктивного матеріалу трубопроводів різного призначення. Особливості виробництва та використання поліетиленових труб наведено у роботі [13].

Освоєння технології виробництва малих суден на основі застосування зварних конструкцій вітчизняними виробниками знаходиться на початковому етапі. Тільки окремі підприємства усвідомлюють важливість збереження та володіють належною культурою проектування та виробництва при переході до використання поліетилену високої щільності.

Враховуючи зазначене можливо констатувати наявний розрив між напрацюванням фундаментальної та прикладної науки у цій сфері та спроможностями підприємств щодо його практичного використання. Зазначене зумовлено кількома факторами, серед яких у тому числі:

1. Відсутність ритмічного замовлення на основі строкових суднобудівних програм;
2. Брак інвестиційного потенціалу підприємств для повноцінного освоєння технології виробництва;

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.03	Лист
						38
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Низька культура висування технічних вимог та завдань з боку існуючих замовників;

4. Збереження досвідченими виробниками традиційних пріоритетів щодо вибору матеріалів.

Серед інших, слід відзначити існуючі напрацювання Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України.

Цією, відомою у світі, науковою установою у 1979 році було створено відділ зварювання пластмас, що на цей час продовжує активну наукову діяльність. Метою його створення було розвиток наукових основ в галузі зварювання пластмас, розробка та впровадження відповідних технологій та виробничого обладнання.

Особливості зварювання пластмас, враховуючи класифікацію способів зварювання, фактори впливу на вибір способу зварювання, інструмент та обладнання, що застосовується, наведено у роботі [14].

В цілому, під зварюванням пластиків розуміється нероз'ємне з'єднання термопластичних матеріалів з застосуванням тепла та тиску з або без використання додаткових матеріалів.

Усі процеси зварювання відбуваються у термопластичному стані у зоні зварного шва, де ниткоподібні молекули матеріалу з'єднуються і переплітаються в гомогенне сполучення.

Розрізняють наступні основні типи зварювання:

1. Зварювання гарячим газом;
2. Зварювання нагрітим інструментом;
3. Екструзійне зварювання;
4. Зварювання тертям та ін.

При виробництві малих суден з поліетилену високої щільності широке використання набув спосіб екструзійного зварювання. Наведеному способу зварювання характерні простота, висока продуктивність, широкі технологічні можливості та висока якість зварних швів.

При цьому способі зварювання екструдер подає розплав, що утворюється з присадкового матеріалу (гранули, прутки) шляхом його нагріву в пристрої

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.03	Лист
						39
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

прямоточного типу та подальшого видавлювання у зону зварювання. Міцність отриманих з'єднань у зоні шва перевищує міцність основного матеріалу.

Технологічне обладнання, що використовується при формуванні корпусних конструкцій малих суден з поліетилену високої щільності різних виробників широко доступне на ринку України.

Нижче можливо ознайомитись з продукцією вітчизняного виробника відповідного обладнання та інструменту ТОВ «ВЕЛДІНГ».

На рис. 3.1 Зображено ручний зварювальний екструдер Велдінг Хорс-1,5 призначений для зварювання виробів з поліетилену ПЕ та поліпропілену ПП завтовшки до 15 мм.

Рис. 3.1



Стандартні насадки для екструдерів Велдінг призначені для формування швів при зварюванні виробів із поліетилену ПЕ, поліпропілену ПП. Насадки, що найчастіше застосовуються для отримання стикових, кутових, таврових і нахлесткових з'єднань. Рис. 3.2, 3.3.

Рис. 3.2



Рис. 3.3



Спеціальні насадки для екструдерів Велдинг призначені для формування швів при зварюванні виробів з поліетилену ПЕ, поліпропілену ПП, коли деталі виробів розміщені під кутом або зварювання відбувається в кілька проходів. Рис.

Поліетиленовий зварювальний пруток застосовується як присадний матеріал для зварювання гарячим повітрям та екструзійного зварювання поліетиленових листів, труб, різних виробів з поліетилену. Рис. 3.4.

Рис. 3.4



Стикова машина Велдінг. Забезпечує зварювання листів із ПЕ, ПП, ПВХ та інших матеріалів шириною до 3,0м. Рис. 3.5

Рис. 3.5



Лінійка стикових машин цього виробника представлена трьома модифікаціями, що відрізняються розмірами стола і забезпечують зварювання листів шириною до 1 м., 2 – х м., та 3 – х м.

Зварювання стиковими машинами забезпечує більш акуратний та тонкий шов, доступний для механічної та теплової обробки з метою придбання сприятливого зовнішнього вигляду .

Приклади зварювання плоского та кутового з'єднання представлені на Рис. 3.6, 3.7.

Рис. 3.6

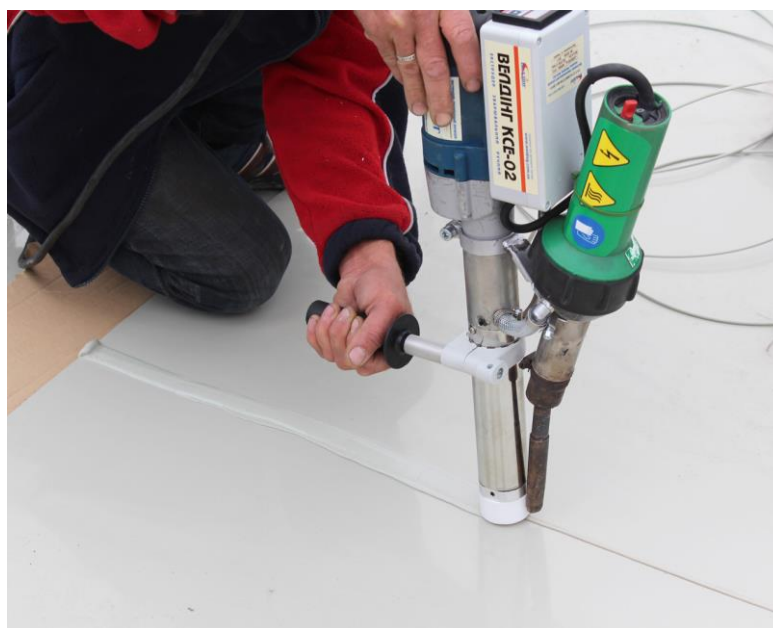
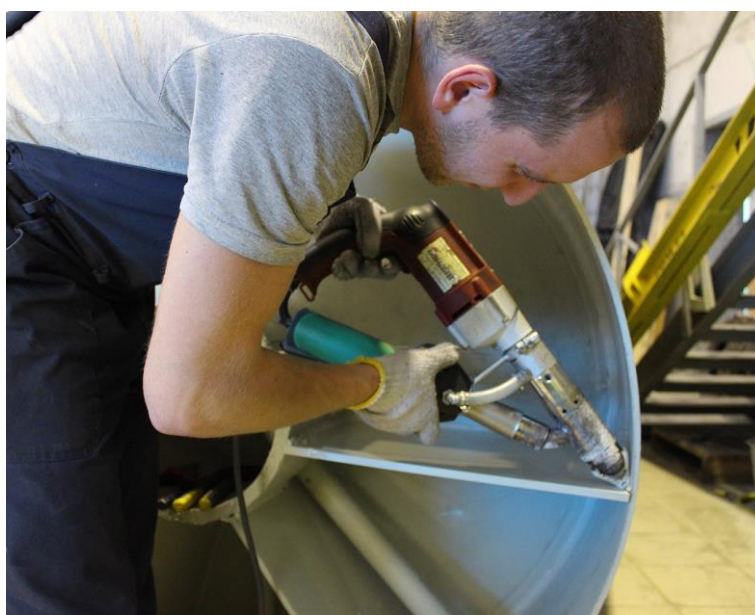
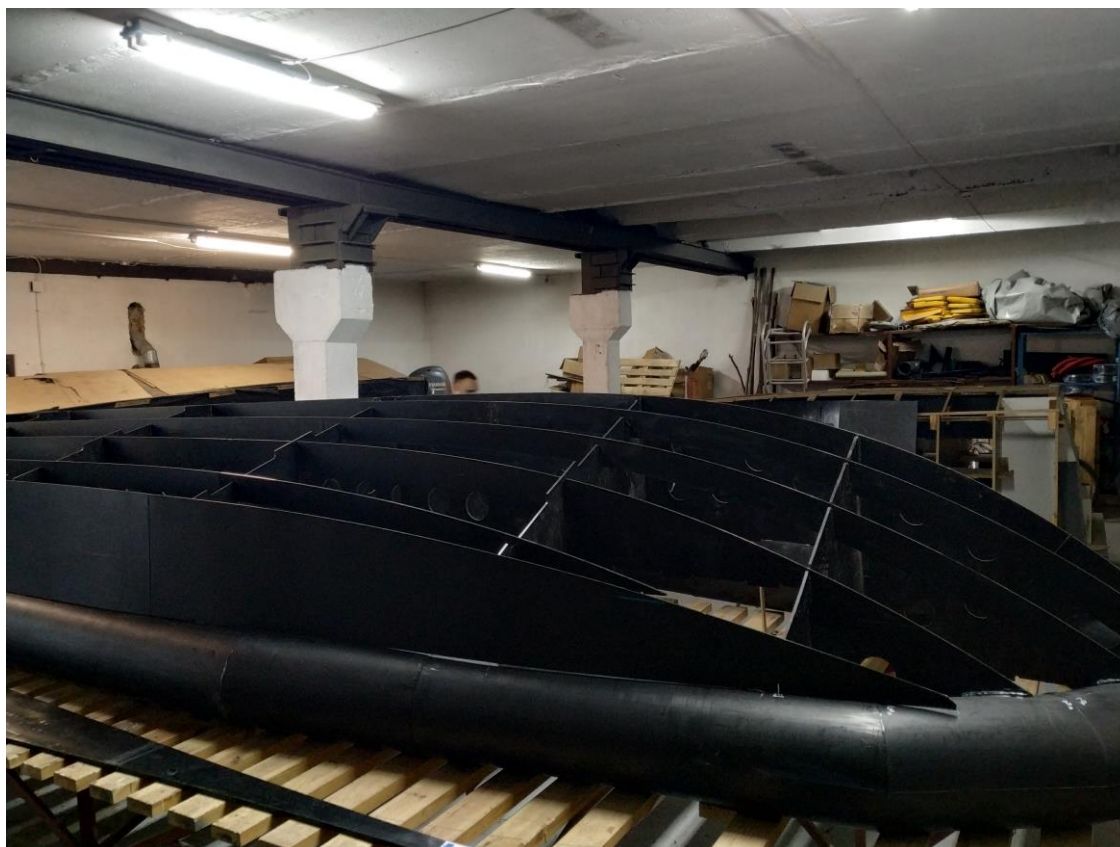


Рис. 3.7



Зображення корпусу катеру довжиною 6,4 м. у процесі побудови. Рис 3.8.

Рис. 3.8, м. Миколаїв, листопад 2023 року.



Таким чином, існуюче науково-технічне напрацювання, доступ до технологічного обладнання, інструменту та сировини забезпечують потенційну спроможність вітчизняних виробників щодо розвитку малого суднобудування.

Певну складність уявляє підготовка фахівців зі збирання та зварювання корпусних конструкцій з поліетилену високої щільності. Наявні курси з підготовки фахівців в основному спрямовані на підготовку зварювальників труб.

Хоча, при цьому, властивості матеріалу, що використовується, схожі, інструмент та прийоми зварювання відрізняються. Нарощення виробничих потужностей підприємств, таким чином, пов'язано з необхідністю підготовки профільних робітничих професій.

Українськими науковцями продовжуються дослідження у галузі зварювання високотехнологічних полімерів, створюються перспективні науково-технічні та промислово-виробничі розробки.

Оскільки, швидкий розвиток промисловості пластмас випереджає детальне вивчення процесів зварювання та механізму утворення зварних швів, вони залишаються недослідженими. Немає остаточної відповіді на питання, як формується мікроструктура зварного шва, що обмежує шлях до розуміння проблеми і, відповідно, пошук наукових підходів до зварювання ускладнюється.

Більш детально з напрямками сучасних досліджень можливо ознайомитись у роботах [15], [16], [17].

Перспективними, з точки зору використання поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій, є дослідження:

1.Способів отримання гнutoї форми деталей зовнішньої обшивки. Припускається, що матеріал може зберігати форму після завершення операцій циклу гнуття. У випадку підтвердження припущення відкриється технологічна спроможність щодо отримання плавних обводів корпусу судна;

2. Можливості підвищення якості зварних з'єднань, у тому числі, способів видалення надлишкового присадочного матеріалу, полірування поверхней з метою придання належного зовнішнього вигляду;

3. Перспектив використання армованого поліетилену високої щільності у якості елементів корпусних конструкцій, для яких має значення зменшення теплової деформації;

4. Можливостей підвищення швидкості збирання та зварювання, відпрацювання технології будівництва малих суден в цілому. Актуальним є зменшення собівартості виробництва за рахунок обґрунтованого нормування та зниження трудомісткості збирально-зварювальних робіт.

При проєктуванні малих суден з конструкціями із поліетилену високої щільності, виникає ряд проблем пов'язаних з визначенням міцних розмірів корпусних конструкцій. Проблеми пов'язані з відсутністю формалізованих вимог до параметрів конструкцій в нормативних документах, таких як Вимоги Класифікаційних органів, у тому числі міжнародних стандартів ISO групи Small craft. Так, наприклад, у Правила класифікації і побудови малих суден Регістру судноплавства України [18] у 2023 році до поліетилену високої щільності визначено вимоги, як до матеріалу корпусних конструкцій, але не передбачено

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.03	Лист
						44
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

процедури проведення розрахунків з цього матеріалу. У стандарті ISO Small craft — Hull construction and Scantlings-Part 3: Materials [19] HDPE, у якості конструкційного матеріалу для малих суден, на даний час не передбачається. Існують попередні вимоги для суден з HDPE у Турецькому Ллойді (TL) [20]. Ситуація з сертифікацією малих суден з конструкціями із HDPE на даний час передбачає процедуру спеціального розгляду класифікаційними органами, що створює певні перешкоди для поширення даного матеріалу в малому суднобудуванні. Враховуючи зазначене вважається доцільним створення та затвердження класифікаційними структурами інженерних алгоритмів визначення параметрів конструкцій суднового корпусу.

Слід зазначити, що на даний час РСУ проводить роботи щодо включення вимог до конструкцій з HDPE до складу правил. Піднаглядні даним Правилам малі судна мають низку обмежень щодо застосування HDPE. Особливості матеріалу ставлять під сумнів можливість його застосування для вітрильних та моторних яхт через складність забезпечення естетичних критеріїв. Водночас високу ефективність застосування матеріал демонструє для малих суден службово-допоміжного та промислового флотів, бюджетного рекреаційного флоту, безекіпажних малих суден.

На підставі досить коректної і розповсюдженої процедури визначення розрахункових навантажень, що регламентована вимогами стандарту ISO [21], було здійснено спроби щодо обґрунтування підходу до нормування параметрів корпусних конструкцій стандартів ISO групи Small Craft, що наводяться у роботах [22], [23], [24].

Результати дослідження демонструють можливість адаптації вимог стандартів ISO групи Small craft до проектування корпусних конструкцій із поліетилену високої щільності для малих суден.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.04			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Дослідження сучасних методів проектування та розробка рекомендацій щодо визначення міцних розмірів корпусних конструкцій	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Лисицький І.В.							
Керівник	Кузнєцов А.І.					НУК ім. адм. Макарова		
Консульт.	Шарун Г.В.							
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

4.1 Особливості визначення міцних розмірів корпусних конструкцій

Останнім часом динамічно розвивається флот малих суден із конструкціями з поліетилену високої щільності (HDPE). Аналізуючи головні розміри малих суден з HDPE слід зазначити, що переважна більшість з них мають найбільшу довжину до 17 метрів, хоча зустрічаються судна довжиною близько 24 м.

Виявлена тенденція пов'язана з виникненням ускладнень при визначенні міцних розмірів корпусних конструкцій, конструктивного забезпечення деяких типів пропульсивних комплексів щодо їх суміщення з такими корпусними конструкціями.

Складність пов'язана з наявністю особливостей конструктивного матеріалу, що розглядається. Головними особливостями, що впливають на архітектуру та необхідні розміри конструкцій з HDPE є високий коефіцієнт температурного розширення матеріалу та його відносно мала жорсткість.

Наведені особливості матеріалу призводять до виходу геометричних розмірів елементів корпусних конструкцій за межі прийнятних при збільшенні головних розмірів суден, що проєктуються, у наслідок збільшення навантажень. Зростає вага суден, використання матеріалу стає недоцільним.

Більшість малого флоту з конструкціями із HDPE представлена швидкісними суднами з підвісними двигунами. Установка таких двигунів на транцях не викликає проблем. Певна податливість транця у цьому разі не впливає на експлуатаційні характеристики судна.

Інша картина виникає при встановленні пропульсивних комплексів з кутовими колонками та гвинтових прямо-вальних пропульсивних комплексів з двигуном усередині корпусу. Напруження, що виникають, перевищують допустимі при прийнятних розмірах елементів корпусних конструкцій. Виникає необхідність у встановленні підкріплень.

Порівняно високий коефіцієнт теплового лінійного розширення викликає нерівномірні деформації вздовж корпусу судна, що може призводити до перекосу лінії валу, зміщення елементів корпусних конструкцій виконаних з різних конструктивних матеріалів відносно один одного.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.04	Лист
						47
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У загальному випадку необхідні прямі розрахунки, що для більшості проєктантів малих суден недоступно (необхідні відповідні фахівці і програмне забезпечення), а із залученням контрагентів витратно. Для нормальної роботи проєктних структур при створенні малих суден з конструкціями з HDPE необхідно доповнити Правила та відповідні стандарти вимогами до матеріалу, що розглядається, та конструкціям з нього у доступному для проєктантів вигляді.

Для створення відповідних розділів нормативних документів, що допускають пряме проєктування корпусних конструкцій з HDPE, необхідно розробити та включити до структури нормативів такі додаткові розділи:

- 1) Вимоги до фізико-механічних характеристик HDPE, що застосовується для виготовлення конструкцій з урахуванням технологічних особливостей;
- 2) Вимоги до умов виробництва та технологічного процесу;
- 3) Схему визначення міцних розмірів елементів корпусних конструкцій (товщин панелей обшивок та настилів, моментів інерції та моментів опору балок набору);
- 4) Величину напружень, що допускаються, для окремих елементів конструкції.

1. Вимоги до фізико-механічних характеристик HDPE, що застосовується для виготовлення конструкцій, можливо вважати формалізованими з урахуванням наявності у виробників даного матеріалу сертифікатів відповідності міжнародним стандартам (для «морського» застосування). Відповідні характеристики матеріалів, представлені виробником, можуть використовуватися безпосередньо для визначення міцних розмірів елементів суднового корпусу. Характеристики визначені як для ротаційних технологій, так і для зварювальних.

2. Умови виробництва конструкцій та обмеження щодо технологічного процесу так само регламентовані виробниками матеріалу.

3. Визначення міцних розмірів корпусних конструкцій залежить від величини розрахункових навантажень, що діють на корпусні конструкції.

4.2 Порівняльні розрахунки елементів корпусних конструкцій

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.04	Лист
						48
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

На даний час величина розрахункових навантажень, регламентована вимогами стандарту ISO Small Craft, вважається досить коректною і використовується для прямих розрахунків конструкцій. Відповідно до алгоритму розрахунку зовнішніх навантажень їх величина залежить від призначення судна, геометрії корпусу, району експлуатації та швидкості руху.

У найближчій перспективі розвиток малих суден із конструкціями з HDPE передбачає створення суден із динамічним режимом руху. У зв'язку з цим інтерес становить насамперед динамічний компонент навантаження. Розрахунковий динамічний тиск (ударне навантаження є функцією 11 параметрів).

$$P_{b1}=f(C, L_{WL}, B_{WL}, B_c, \Delta, V, \beta, \tau, b, l, k_L), \text{ де}$$

- C – параметр району експлуатації;
- L_{WL} – довжина за ватерлінією;
- B_{WL} – ширина за ватерлінією;
- B_c – параметр району експлуатації;
- Δ – водотоннажність;
- V – швидкість руху;
- β – кут кілеватості на транці;
- τ – кут ходового диференту в режимі гліссування;
- b – менший розмір пластини обшивки;
- l – більший розмір пластини обшивки;
- k_L – коефіцієнт розподілу ударного навантаження.

Альтернативне визначення розрахункового навантаження (за рекомендаціями TL) передбачає визначення розрахункового навантаження за номограмою з урахуванням лише двох параметрів – довжини судна та швидкості руху. Інші параметри об'єкта ігноруються. Розрахунковий алгоритм слід сприймати як спробу призначити обмеження «згори».

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.04	Лист
						49
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки основним завданням створення формалізованих вимог до корпусних конструкцій малих суден є поява даних вимог у складі чинних нормативів, алгоритм стандарту ISO потрібно вважати застосовним при проектуванні конструкцій з HDPE.

Алгоритм визначення міцних розмірів корпусних конструкцій для пластин та балок набору, виконаних із ізотропного матеріалу, уявляє собою визначення товщин пластин обшивок та настилів, необхідні моменти інерції та моменти опору балок набору. Допустима напруга при цьому приймається на рівні 90% межі плинності матеріалу або 60% межі тимчасової міцності. Виникає питання застосування даного алгоритму до визначення розмірів конструкцій з матеріалу, що розглядається.

Найпростіша перевірка адаптивності алгоритму можлива шляхом порівняння параметрів міцних розмірів елементів конструкції для конкретного судна у порівнянні з результатами прямих розрахунків. Зрозуміло, що ця схема застосовна лише для грубої оцінки можливості адаптації алгоритму. Для порівняння обрано пластину днищової обшивки і балок повздовжнього регулярного набору. Необхідна їй товщина і параметри повздовжнього набору визначаються прямим розрахунком та відповідно до вимог стандарту. Паралельно визначається потрібна товщина за рекомендаціями Турецького Ллойду.

У якості об'єкту для розрахунків обрано катер проекту (Проект GS 7300) з наступними головними розмірами – див. табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Головні розміри судна

L_H, m	L_{WL}, m	B_H, m	B_{WL}, m	T_C, m	Δ, kg	B_C, m	$V, knot$
7,3	6,34	2,45	2,3	0,3	2500	1,92	30

Судно спроектоване та побудовано компанією «Гольфстрім» (м. Миколаїв). Зовнішній вигляд та формоутворення корпусу показані на рис. 4.1 та 4.2.



Рис. 4.1 Зовнішній вигляд судна

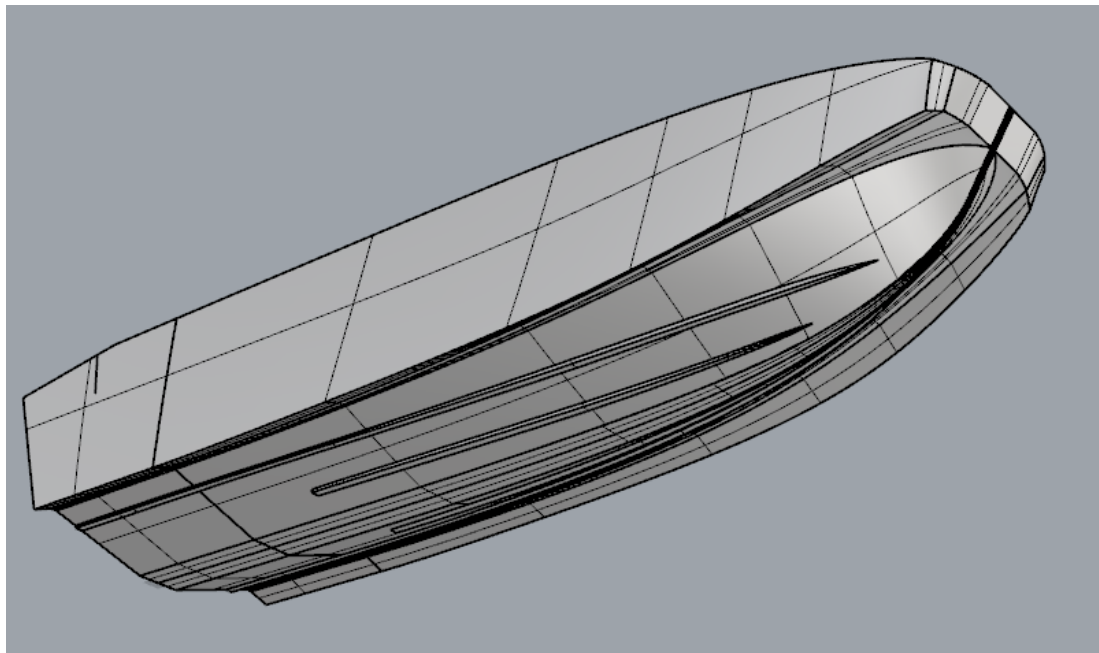


Рис. 4.2 Формоутворення корпусу

Розрахункове навантаження визначалося як за алгоритмом стандарту ISO, так і за нормативами Турецького Ллойду. Конструкція передбачається звареною з поздовжньою системою набору. Шпація за поперечним (рамним) набором фіксована – 1000 мм. Шпація за стрингерами змінюється в межах від 200

до 400 мм. Варіації шпаций необхідні для врахування динамічної складової зовнішнього навантаження. Дане коригування проводиться за співвідношенням розмірів пластини, що навантажується. Допустимі напруги приймалися наступні— см. таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 Допустимі напруження

Матеріал	HDPE
σ_y, MPa	25
σ_d, MPa	22,5

Величини розрахункових навантажень залежно від розмірів шпаций та результати розрахунків необхідної товщини пластини наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Розрахункові навантаження та необхідна товщина пластини

l, mm	1000		
b, mm	200	300	400
$P_{bl}, \text{kN} / \text{m}^2$	69,9	54,9	45,2
t_{HE}, mm	7,9	10,5	12,7

Прямі розрахунки необхідних товщин пластини проводилися методом скінчених елементів (ANSYS) під впливом розрахункових навантажень. Для аналогічних розмірів шпаций варіювали товщину пластини. Ітерації припинялися при досягненні максимумів величин допустимих напружень (22.5 Мпа). Результати у таблиці 4.4

Таблиця 4.4 Потрібна товщина пластини (розрахункова)

l, mm	1000		
b, mm	200	300	400
$P_{bl}, \text{kN} / \text{m}^2$	69,9	54,9	45,2
t_{HE}, mm	6,8	9,3	11,4

Товщини, що визначаються відповідно до вимог TENTATIVE RULES FOR POLYETHYLENE CRAFTS 2014 Турецького ллойд наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Потрібна товщина пластини (TL)

l, mm	1000		
b, mm	200	300	400
$P_{bl}, kN / m^2$	44,7		
t_{HE}, mm	8,1	12,2	16,2

Порівняння необхідних товщин показано на діаграмі див. рис. 4.3.

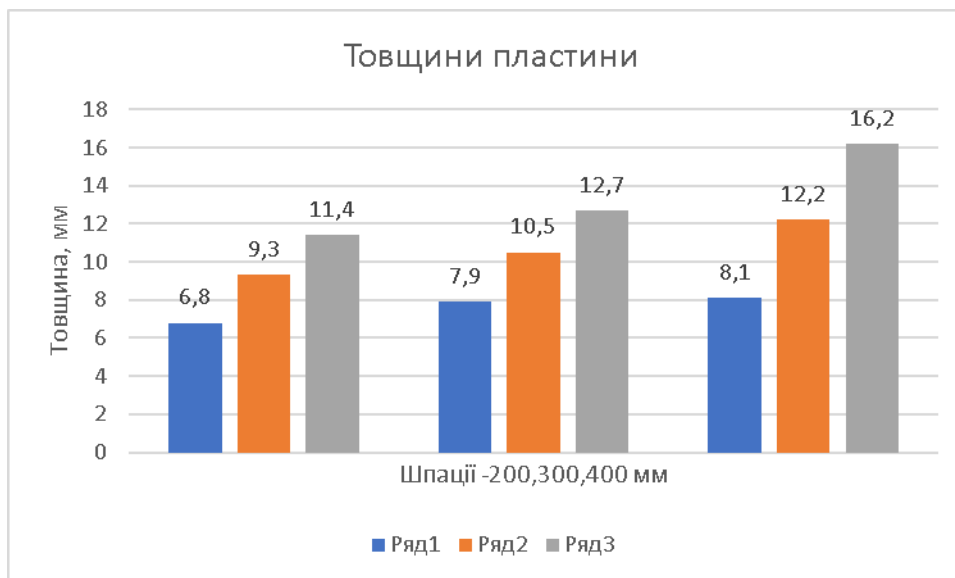


Рис. 4.3 Порівняння необхідних товщин

Потрібні товщини пластини, визначені розрахунковим методом, за вимогами стандарту ISO та за рекомендаціями TL при різних розмірах шпаций відрізняються досить суттєво. Вимоги стандарту ISO та рекомендації TL перевищують розрахункові значення товщини панелі при шпациях 200, 300, 400 мм 36 та 67%, 32 та 60%, 50 та 100% відповідно. Вимоги нормативних документів (ISO та TL) щодо стратегії створення нормативних документів є «обмеженнями зверху». Збільшення розбіжності зі збільшенням розмірів шпаций пояснюється тими самими причинами. Загалом вимоги стандарту ISO до товщини панелей у даному випадку можливо вважати обґрунтованими, а рекомендації TL надмірними.

Питання допустимих напружень для матеріалу конструкцій, насамперед, пов'язано з високою податливістю поліетилену так як нормування міцності цілком обґрунтоване. На рис. 4.4-4.6 наведено епюри напружень і деформацій для розрахункового випадку, що розглядається, при шпаціях 200, 300, 400 мм.

Рис. 4.4 Епюри напружень та деформацій при шпації 200 мм

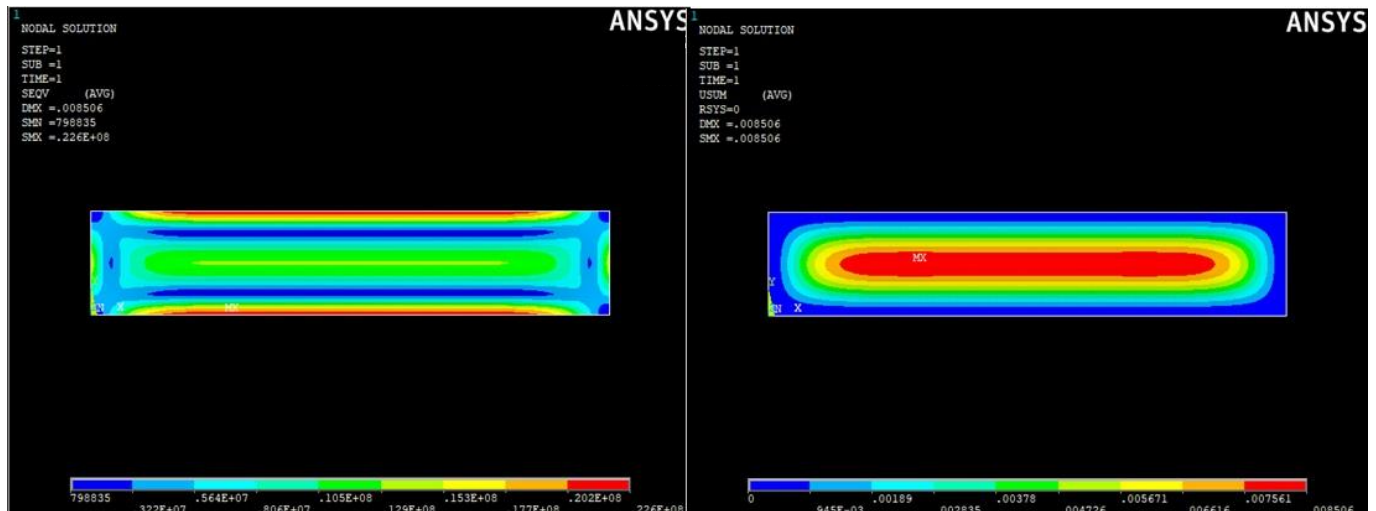


Рис. 4.5 Епюри напружень та деформацій при шпації 300 мм

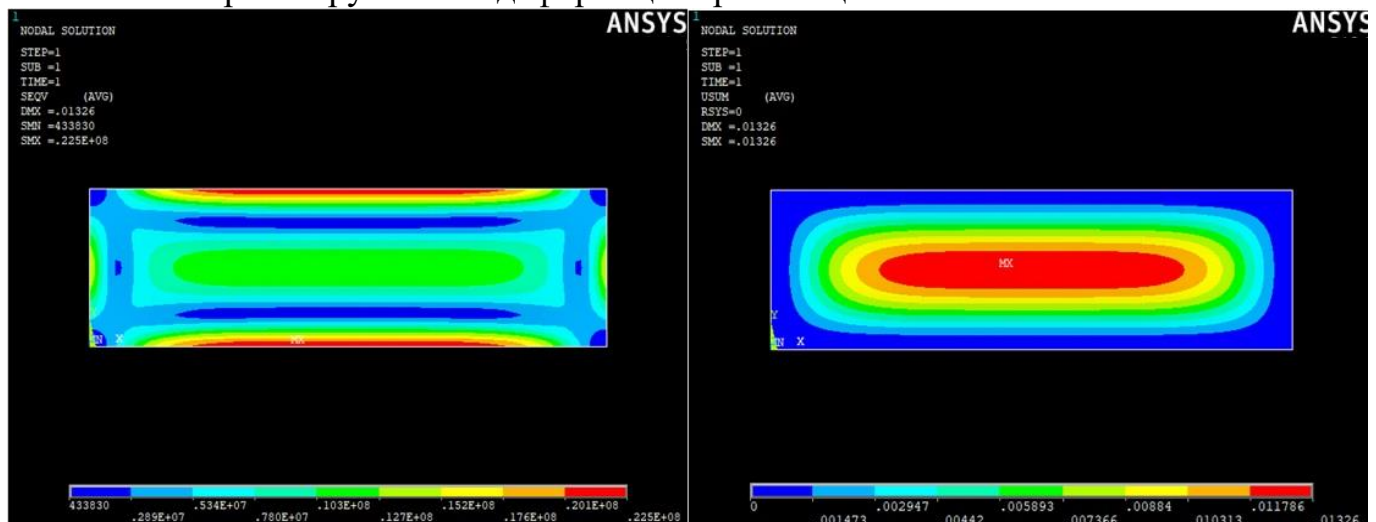
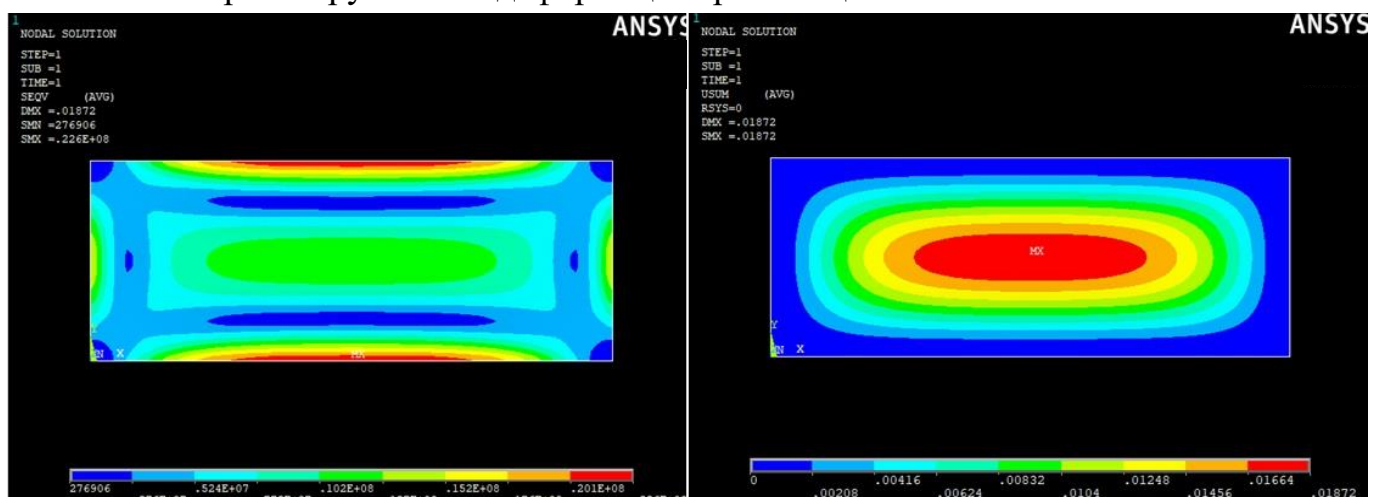


Рис. 4.6 Епюри напружень та деформацій при шпації 400 мм



Прямі розрахунки необхідних елементів повздовжніх ребер жорсткості проводилися методом скінчених елементів (ANSYS) під впливом розрахункових погонних навантажень. Для аналогічних розмірів шпаций та попередньо отриманих товщин пластини днища було розраховано ширину приєднаного пояску. Необхідна за ISO величина моменту опору приймалася за відповідним нормативом.

У подальшому варіювали висоту стінки ребра жорсткості при постійній товщині (10 мм.). Ітерації припинялися при досягненні максимумів величин допустимих напружень (22.5 МПа). Аналогічно підбиралися ребра жорсткості у разі прямого розрахунку та розрахунку за вимогами TL. Розміри приєднаного паска у всіх випадках приймалися за вимогами стандарту ISO. Результати у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

l, mm	1000		
b, mm	200	300	400
ISO Small craft			
$P_{bl}, kN / m^2$	69,9	54,9	45,2
t_{HE}, mm	7,9	10,5	12,7
w, mm	99,6	132,3	160,1
SM, cm^3	51,8	61	67
$t / h, mm$	10/143	10/149	10/153
MCE			
t_{HE}, mm	6,8	9,3	11,4
w, mm	85,7	117,2	143,7
SM, cm^3	51,8	61	67
$t / h, mm$	10/143	10/146	10/148
σ, MPa	22,13	22,23	22,11
TL			
$P_{bl}, kN / m^2$	100		

t_{HE}, mm	8,1	12,2	16,2
w, mm	102	153,7	204,2
SM, cm^3	74	111	148
$t / h, mm$	10/173	10/201	10/226

При цьому, остаточні розрахунки значень напружень, що виникли, для несиметричної балки розраховувались окремо, на підставі даних, отриманих в результаті моделювання. З результатами моделювання можливо ознайомитись на Рис. 4.7, 4.8, 4.9, 4.10.

Рис. 4.7

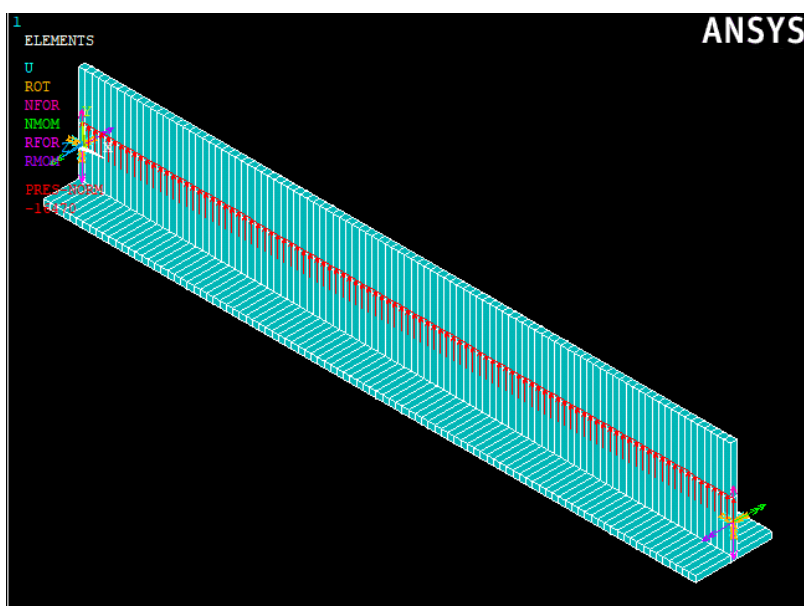
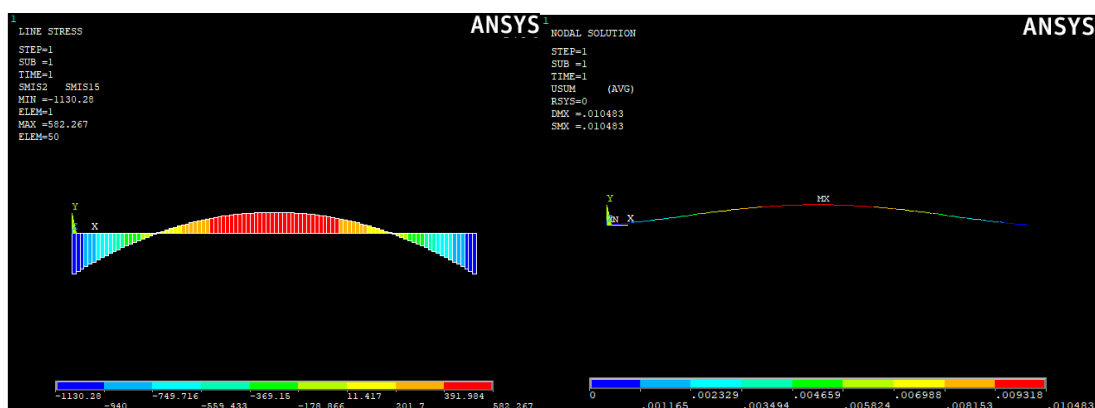


Рис. 4.8



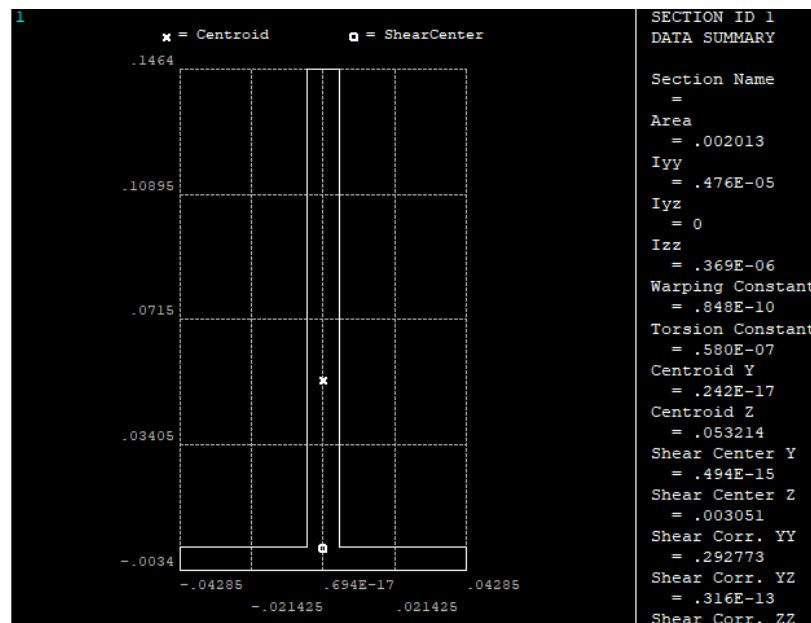


Рис. 4.9

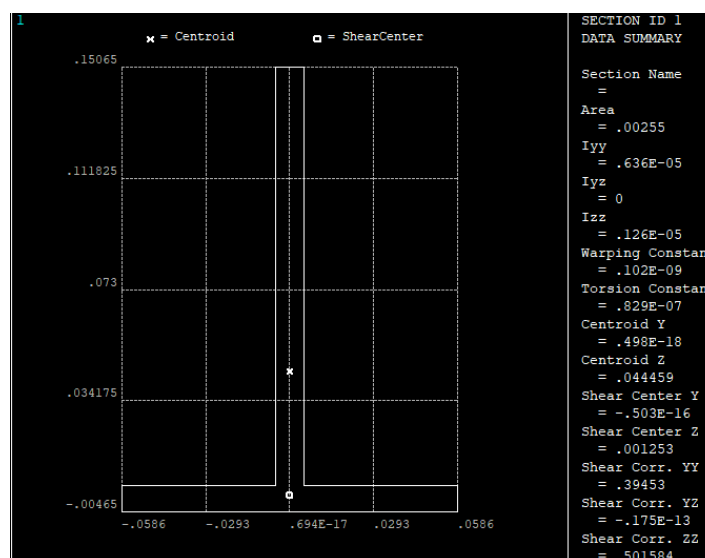
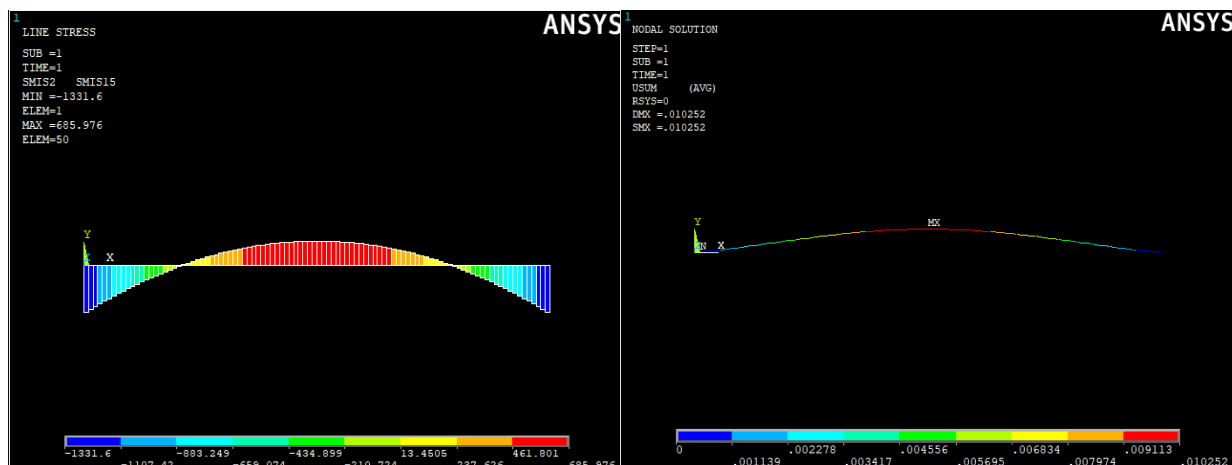
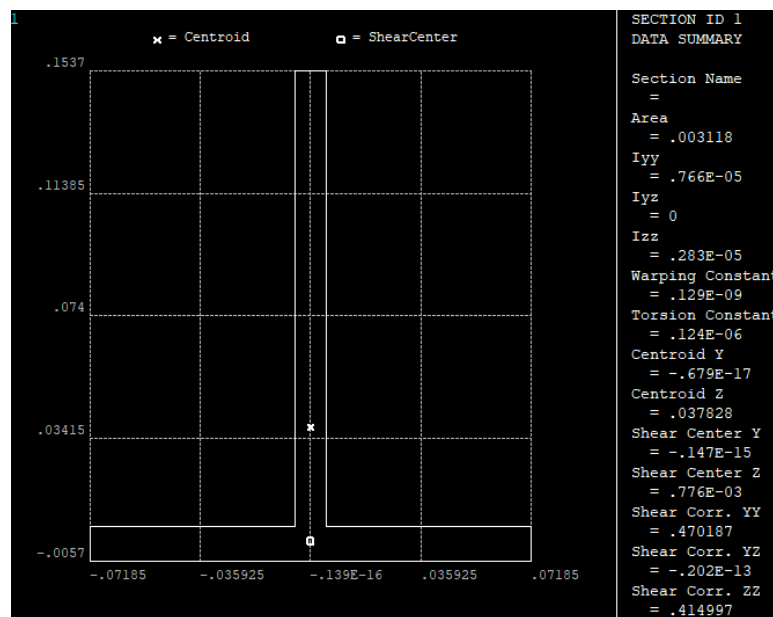
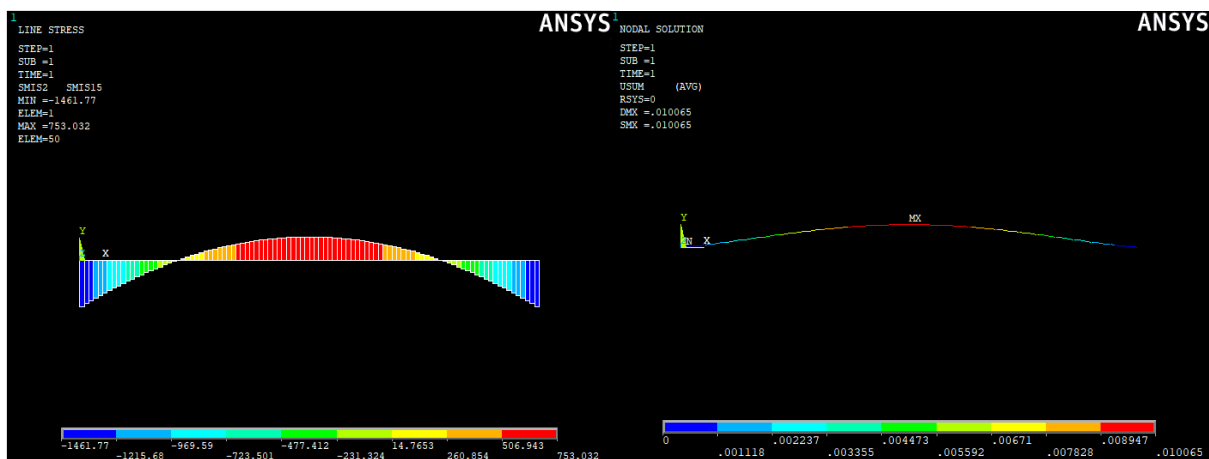


Рис. 4.10



Порівняння величин необхідних моментів опору показано на рис. 4.11.

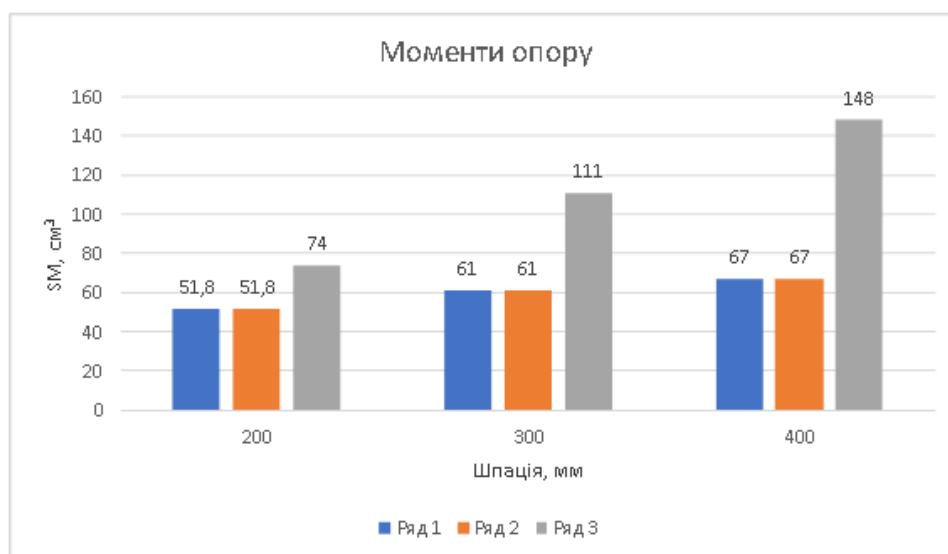


Рис. 4.11 Порівняння величин моментів опору.

Моменти опору, що визначаються за вимогами стандарту ISO і розрахунковим методом практично збігаються. Момент опору визначений за Правилами TL значно вищий. Насамперед це пов'язано із завищеними розрахунковими навантаженнями, що застосовуються.

Висновки. Результати дослідження демонструють можливість адаптації вимог стандартів ISO групи Small craft до проектування корпусних конструкцій із поліетилену високої щільності для малих суден. Доцільно провести більш широкі дослідження з включенням до їхньої області рамних зв'язків. Потрібно додатково розглянути вимоги до напружень, що допускаються, і деформацій конструкцій виготовлених з HDPE.

Оскільки дослідження проводилися при напруженнях, що допускаються при 90% межі плинності матеріалу і деформації досить значні, у подальшому, вважається за доцільне проведення досліджень щодо їх обмежень в реальних конструкціях. Для даного матеріалу питання нормування напружень і деформацій, що допускаються, є досить важливими.

Чимало питань виникає при проектуванні конструкцій малих суден, особливо, конструктивного забезпечення деяких типів пропульсивних комплексів щодо їх суміщення з такими корпусними конструкціями.

Складність пов'язана з наявністю особливостей конструктивного матеріалу, що розглядається. Головними особливостями, що впливають на архітектуру та необхідні розміри конструкцій з HDPE є високий коефіцієнт температурного розширення матеріалу та його відносно мала жорсткість.

Більшість малого флоту з такими конструкціями представлена швидкісними суднами з підвісними двигунами. Установка таких двигунів на транцях не викликає проблем.

Певна податливість транця у цьому разі не впливає на експлуатаційні характеристики судна. Деякі труднощі при визначенні міцних розмірів конструкцій становить відсутність прямих вимог до проектування конструкцій з

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.04	Лист
						59
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

HDPE у вітчизняних Правилах Регістру судноплавства України та стандартах ISO групи Small Craft. Рекомендації Турецького Ллойд не вирішують проблеми.

Інша картина виникає при встановленні пропульсивних комплексів з кутовими колонками та гвинтових прямо-вальних пропульсивних комплексів з двигуном усередині корпусу.

Інтерес становить виявлення напрямів дослідження корпусних конструкцій з HDPE з метою адаптації даного матеріалу до створення малих суден із пропульсивними комплексами різних типів.

Конструювання корпусів малих суден із HDPE потребує окремого розгляду. Якщо для традиційно застосовуваних матеріалів є певні вимоги до конструктивного забезпечення у вигляді типових вузлів з конкретними необхідними параметрами, то конструктивне забезпечення елементів корпусних конструкцій з HDPE на даний момент відсутнє. Певною мірою можлива адаптація до застосування конструктивів з інших матеріалів, що підтверджується поточною практикою проєктування. Окремим питанням застосування пропульсивних комплексів є встановлення водометних рушіїв.

Складність полягає в тому, що сприйняття корпусними конструкціями упору від джета передбачається за контуром його приєднувальних розмірів, див. Рис 4.12. При цьому, транцева плита Джета викликає згинальні навантаження у площині транця ($A \times B$), а днищова плита Джета передає навантаження від упору осевого характеру в площині днища ($C \times A$).

Однак, особливістю матеріалу є нездатність до сприйняття скільки-небудь значних зусиль від упору у площині днища, тому весь упор має сприйматися транцем.

Таким чином, при проєктуванні виникає задача:

- забезпечення здатності конструкції транця витримувати упор при прийнятних параметрах конструкцій без додаткових підкріплень.

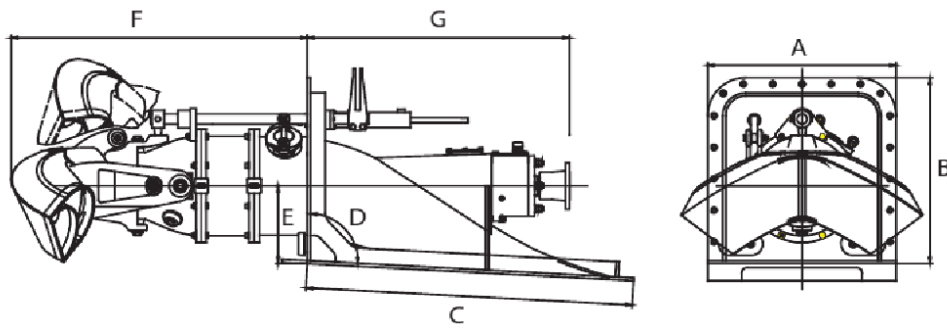


Рис. 4.12 Встановлення водометного рушія у корпусі судна.

Задача вирішувалась у програмному середовищі Ansys workbench методом скінчених елементів. Допустимі напруження приймалися наступні – див. таблицю 4.7.

Таблиця 4.7

Матеріал	HDPE
σ_y, MPa	25
σ_d, MPa	22,5

Розрахункове навантаження від дії упору водометного двигуна потужністю 1100 кВт для максимальної швидкості близько 40 вузлів дорівнює 40 кН. Розрахунок проводився для прийнятної товщини пластини транцю 40 мм.

За результатами розрахунку максимальні деформації склали 112 мм, див. Рис. 4.13, максимальні еквівалентні напруження за Мізесом дорівнюють 47 МПа, Рис. 4.14, що суттєво перевищує рівень допустимих напружень для даного матеріалу.

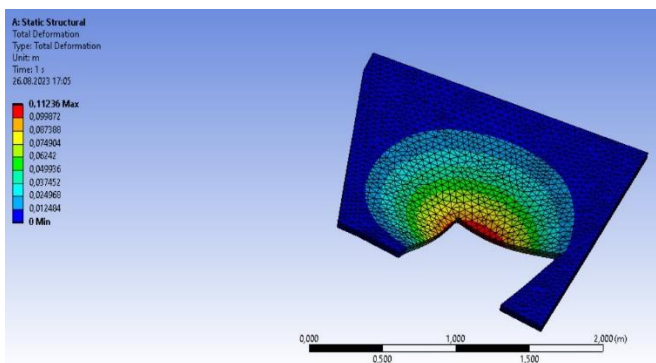


Рис. 4.13

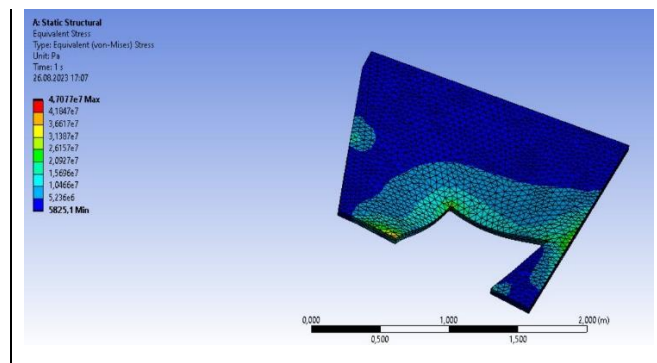


Рис. 4.14

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що забезпечення здатності конструкції транця витримувати упор при прийнятних параметрах конструкції неможливе, оскільки напруження, що виникають від дії упору

водомерного двигуна суттєво перевищують допустимі напруження для даного матеріалу при реально можливих товщинах панелей транцю. Тому, поставлена задача має вирішуватись шляхом встановлення додаткових підкріплень.

У подальшому дослідженні, також, підлягає розгляду задача забезпечення механічного кріплення плити джета до обшивки днища при допущенні горизонтальних зміщень від упору (податливість транця +/-) та непроникності кріплення.

Крім того, складнощі при проектуванні можуть виникнути через можливі досить значні зміни в процесі експлуатації лінійних розмірів конструкцій пов'язаних зі зміною температурного режиму.

На даний час, поширення набув поліетилен чорного кольору, найбільш придатного в цілях протидії ультрафіолетовому випромінюванню. Наприклад, в умовах Гвінейської затоки, палубні конструкції можуть нагріватися до температури $+50^{\circ}\text{C}$ і вище, а конструкції днища в цей же час можуть мати температуру $+12^{\circ}\text{C}$ за рахунок апвелінгу. Тобто, градієнт температури може бути близько 40°C . За цих умов корпус судна отримає перегин.

Тому, необхідні дослідження температурного впливу на загальний поздовжній вигин корпусу. Окремо, у подальшому, підлягає розгляду питання концентрації напружень для HDPE.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.05			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент		Лисицький І.В.						
Керівник		Кузнецов А.І.				НУК ім. адм. Макарова		
Консульт.		Шарун Г.В.						
Зав. каф.		Коростильов Л.І.						

Вступ

Однією з найбільш розповсюджених технологій виготовлення виробів з поліетилену високої щільності є технологія на основі зварювання елементів конструкцій, що супроводжується наявністю шкідливих та небезпечних факторів, які є потенційними джерелами захворювань та нещасних випадків.

Проводячи аналогію з широко розповсюдженою технологією зварювання металевих суден, слід зазначити, що забезпеченню заходів з охорони праці на зварювальному виробництві присвячена велика кількість досліджень, результати яких знайшли відображення у методичних рекомендаціях та інструктивних матеріалах. Загальна організація збирально-зварювальних робіт у випадку використання поліетилену високої щільності у якості основного матеріалу корпусних конструкцій практично не відрізняється від організації робіт за використанням розповсюджених видів зварювання металевих конструкцій. Відповідно, джерела загроз безпеці праці та заходи боротьби з ними майже тотожні. Відмінності у характері загроз пов'язані з властивостями основного матеріалу, що зварюється, та присадкового матеріалу, мають хімічне походження. Основні властивості поліетилену високої щільності наведено у таблиці 1.1.

Сутність загроз полягає у виділенні шкідливих речовин при нагріванні зварювального матеріалу та зварювальної поверхні, що мають негативний вплив на органи дихання, центральну нервову систему, тощо.

Спираючись на зазначене подальше дослідження загроз безпеці праці, що виникають при організації виробництва малих суден з поліетилену високої щільності доцільно зосередити на забезпеченні безпекових заходах щодо запобіганню впливу викидам шкідливих речовин шляхом вентилявання виробничого приміщення, враховуючи що виробництво відбувається у закритих приміщеннях.

Вентиляція – процес повітрообміну у виробничих приміщеннях, який забезпечує нормовані значення параметрів мікроклімату та чистоту повітря.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						64
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1 Аналіз особливостей небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при виробництві малих суден з ПЕВЩ

Незважаючи на наявну різноманітність способів зварювання, при виробництві малих суден з поліетилену високої щільності широке використання набув спосіб екструзійного зварювання. Наведеному способу зварювання характерні простота, висока продуктивність, широкі технологічні можливості та висока якість зварних швів.

При цьому способі зварювання екструдер подає розплав, що утворюється з присадкового матеріалу (гранули, прутки) шляхом його нагріву, в пристрої прямооточного типу та подальшого видавлювання у зону зварювання.

Діапазон температур, при якому відбувається зварювання становить 220 – 270°C На рис. 3.1 Зображено ручний зварювальний екструдер Велдінг Хорс-1,5 призначений для зварювання виробів з поліетилену ПЕ та поліпропілену ПП завтовшки до 15 мм.

При зварюванні поліетилену високої щільності виділяються шкідливі речовини, характеристика котрих у відповідності до ДСТУ Б В.2.7-73-98 наведена нижче:

Формальдегід – високонебезпечна речовина другого класу небезпеки за ГОСТ 12.1.005. Має загальнотоксичний вплив, здатний викликати гострі та хронічні отруєння, алерген, чинить подразнюючу дію на слизисті оболонки очей та верхніх дихальних шляхів, та шкіру.

Вміст формальдегіду в повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК 0,5 мг/м³.

Контроль повітря робочої зони на вміст формальдегіду проводять фотоколориметричним методом з хромотроповою кислотою або газорідинною хроматографією (Методические указания по определению вредных веществ в воздухе № 1986-79).

Ацетальдегід - небезпечна речовина третього класу небезпеки за ГОСТ 12.1.005. Має загальнотоксичний вплив, здатний викликати гострі та хронічні отруєння, чинить подразнюючу дію на слизисті оболонки очей та верхніх дихальних шляхів.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						65
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Вміст ацетальдегіду в повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК 5,0 мг/м³

Контроль повітря робочої зони на вміст ацетальдегіду проводять згідно з "Методическими указаниями по измерению концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны" № 2563-82.

Окис вуглецю - небезпечна речовина, відноситься до четвертого класу небезпеки за ГОСТ 12.1.005. Має загальнотоксичний вплив, здатний викликати гострі та хронічні отруєння, викликає задуху, ураження центральної нервової системи.

Вміст окису вуглецю в повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК 20,0 мг/м³.

Контроль повітря робочої зони на вміст окису вуглецю проводять згідно з "Методическими указаниями по хроматографическому определению водорода, метана, окиси углерода, этана, двуокиси углерода, этилена, ацетилен, пропилен, изопентана, бензола, толуола, стирола, этилбензола в воздухе рабочей зоны" № 1993-79 та ГОСТ 12.1.014.

Вміст пилу в повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК 2 мг/м³, а аерозолі поліетилену - 10 мг/м³. Пил та аерозоль поліетилену викликає подразнення верхніх дихальних шляхів та відноситься до четвертого класу небезпеки за ГОСТ 12.1.005.

При порушенні вимог безпеки та довготривалому впливі на організм шкідливих речовин можливі порушення обміну кисню в організмі, ураження центральної нервової системи, подразнення слизових оболонок очей та верхніх дихальних шляхів.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						66
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

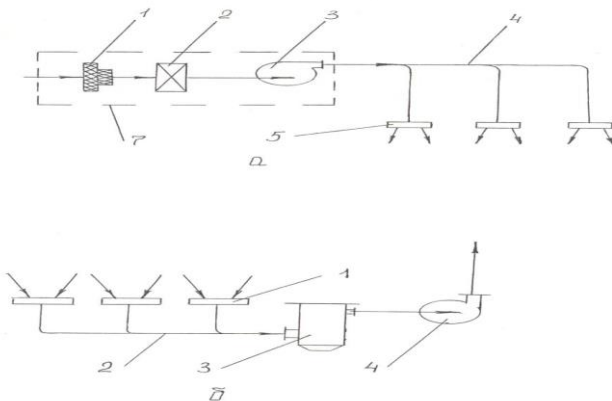
5.2 Розрахунок обсягу повітря на вентиляцію збирально-зварювального приміщення

При проектуванні вентиляції збирально-зварювального приміщення виробництва малих суден з поліетилену високої щільності необхідно дотримуватися наступних вимог:

1. Вентиляція повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря та параметри мікроклімату виробничого приміщення відповідно до ГОСТ 12.1.005-88.
2. Загальнообмінна вентиляція повинна забезпечувати ефективний баланс між об'ємами повітря, що надходять в приміщення та видаляються з нього.
3. Система вентиляції не повинна створювати додаткових шкідливих і небезпечних факторів (переохолодження, перегрів, шум, вібрація, пожежовибухонебезпека).
4. Вентиляційне обладнання не повинно заважати рухові внутрішньо-цехового транспорту, знижувати продуктивність праці, впливати на якість зварювання.
5. Вентиляція повинна забезпечувати економічність та надійність при експлуатації.

Наведеним вимогам повною мірою відповідає припливно-витяжна система вентиляції, що складається з двох окремих систем – припливної та витяжної, які одночасно подають у приміщення чисте повітря та витягують із нього забруднене, рис 5.1.

Рис 5.1 Схеми механічної вентиляції:



а) припливна: 1 – пилоочисний фільтр; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4 – магістральний повітровід; 5 – вентиляційні нагнітальні насадки;

б) витяжна: 1 – вентиляційні забірні насадки; 2 □ магістральний повітровід; 3 – очисник забрудненого повітря; 4 – вентилятор.

Припливно-витяжні вентиляційні системи є найбільш поширеними у промисловості тому, що вони більш повно задовольняють умовам створення нормованих параметрів повітря у робочій зоні виробничих приміщень.

Повітрообмін виробничого приміщення розраховується за формулою:

$$L = \frac{1000 \cdot \beta \cdot V}{K \cdot C_{gdk}}$$

де β - коефіцієнт нерівномірності розподілу шкідливих речовин у повітрі приміщення, приймається = 1,5. V - інтенсивність виділення шкідливої речовини в одиницю часу г/год, для даного типу екструдеру = 0,012. K - коефіцієнт повітрообміну, приймається = 1,3. C_{gdk} - гранично допустима концентрація шкідливих речовин, приймається = 0,5 для найбільш небезпечної речовини – формальдегіду.

$$L = \frac{1000 \cdot 1,5 \cdot 0,012}{1,3 \cdot 0,5} = 27,69 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Таким чином, із розрахунку на інтенсивність виділення шкідливих речовин по формальдегіду при роботі одного зварювального екструдеру у збирально-зварювальному приміщенні має забезпечуватися повітрообмін 27,69 м³/год.

Оскільки об'єм повітрообміну залежить від інтенсивності виділення шкідливих речовин, що, у свою чергу, пов'язано з інтенсивністю виробництва, при проєктуванні вентиляційної системи необхідно враховувати перспективні показники продуктивності виробничого процесу у кожному конкретному випадку.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						68
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Заходи з техніки безпеки

В даному розділі на підставі аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, виявлених на об'єкті, розроблено заходи, направлені на створення здорових і безпечних умов праці та пожежної безпеки.

Всі збирально-зварювальні роботи щодо виготовлення малих суден з поліетилену високої щільності слід виконувати у спеціально обладнаному цеху або дільниці. Ці приміщення мають бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією з місцевим відсмоктуванням.

Ручні зварювальні екструдери створюються з використанням найновіших технічних розробок та відповідають сучасним вимогам безпеки. Неналежне використання агрегату може спричинити небезпеку для оператора або третіх осіб, а також стати причиною пошкодження машин та матеріальних цінностей. Застосування зварювального екструдера дозволяється тільки в повністю справному стані для здійснення належних робіт, а також за умови виконання всіх положень інструкції з експлуатації.

Виконувати роботи з обслуговування електроустаткування екструдера дозволяється лише фахівцям електрикам та відповідно до всіх електротехнічних правил.

Підключати прилад дозволяється лише до легкодоступних штепсельних розеток із заземлюючим контактом. Перед увімкненням агрегату до мережі необхідно перевірити номінальну напругу зварювального екструдера. Показники напруги мережі повинні збігатися з номінальною напругою ручного зварювального екструдера, вказаною на фірмовій заводській табличці, експлуатувати екструдер слід разом із запобіжним вимикачем або розділовим трансформатором.

Не дозволяється проводити зварювальні роботи у вибухонебезпечних та пожеже-небезпечних приміщеннях.

У ході виконання збирально-зварювальних робіт необхідно користуватись засобами індивідуального захисту.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						69
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до ГОСТ 12.4.011-89 “ССБТ. Средства защиты работающих. Классификация” усі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) можливо поділити, в залежності від призначення, на такі класи:

1. Засоби захисту органів дихання;
2. Засоби захисту обличчя;
3. Засоби захисту очей;
4. Спеціальний захисний одяг;
5. Ізолюючі костюми;
6. Засоби захисту ніг, засоби захисту рук, засоби захисту голови;
7. Засоби захисту слухових органів;
8. Захисні дерматологічні засоби.

Належне використання засобів індивідуального захисту полягає у їх коректному виборі та експлуатації. При виборі засобів індивідуального захисту необхідно враховувати особливості виробництва суден з поліетилену високої щільності та індивідуальні особливості працівника. Особливу увагу слід приділяти захисту органів дихання, центральної нервової системи та слизових оболонок від впливу викидів шкідливих речовин, про які йшла мова у попередньому розділі.

Особливості типових вимог щодо безпеки на виробництві малих суден з поліетилену високої щільності включають наступні положення:

- використовувати апарат дозволяється лише для виконання робіт, передбачених інструкцією заводу виробника;
- забороняється використовувати екструдер непідготовленим персоналом;
- небезпечні роботи по зварюванню пластмас слід проводити користуючись засобами індивідуального захисту (протигаз марки "А", кисневий респіратор, захисні окуляри);
- користування відкритим полум'ям, паління в зоні проведення робіт дозволяється тільки у відведеному для цього місці;
- механічну обробку пластмас слід виконувати з температурою не нижче 5°C; - нагрівати пластмаси слід не вище 270 °C;

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						70
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- зварювання необхідно проводити електроінструментом і обладнанням з напругою не вище 25 В;
- працюючи з електронагрівачами, інструмент з метою запобігання опікам, необхідно утримувати в теплозахисних чохлах;
- забороняється залишати нагрівальний інструмент з увімкненим електроживленням у разі перерв у роботі;
- блок живлення зварювального обладнання слід заземлити;
- виконувати роботи необхідно інструментом, що виключає іскроутворення;
- не можна виконувати роботи зі зварювання пластмас з хронічними або респіраторними захворюваннями;
- зони проведення робіт слід оснащати попереджувальними табличками, плакатами ("Без протигазу не входити". "Гази")
- забороняється контакт з усіма відкритими металевими частинами, оскільки існує загроза займання та отримання опіків. Температура цих деталей може сягати 350оС.
- екструдер слід встановлювати на підставку, плоску негорючу поверхню.
- шнур живлення не повинен торкатися нагрівача.

З метою запобігання короткому замиканню необхідно повністю виключити попадання бризок води на екструдер.

У ході дослідження розроблено рекомендації з охорони праці. Встановлено, що особливості загроз безпеці праці при роботі з поліетиленом високої щільності полягають у виділенні шкідливих речовин при нагріванні зварювального матеріалу та зварювальної поверхні, що мають негативний вплив на органи дихання, центральну нервову систему.

Враховуючи зазначене особливості запобігання загрозам небезпеці праці, що виникають при організації виробництва малих суден з поліетилену високої щільності доцільно зосередити на забезпеченні безпекових заходів щодо запобіганню впливу викидам шкідливих речовин шляхом вентилявання виробничого приміщення, враховуючи що виробництво відбувається у закритих приміщеннях.

					19.MP.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						71
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Наведена розрахункова схема може використовуватись при проєктуванні вентиляційної системи збирально-зварювального приміщення враховуючи перспективні показники продуктивності виробничого процесу у кожному конкретному випадку.

					19.МР.135.6116м.09.ПЗ.05	Лист
						72
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Магістерська атестаційна робота виконана згідно завдання, виданого кафедрою.

Тема магістерської роботи:

«Дослідження особливостей проєктування корпусних конструкцій малих суден із поліетилену високої щільності».

«Research of the features of design hull constructions of high- density polyethylene small vessels».

Проведено аналіз особливостей поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден. Встановлено, що у подальшому необхідні дослідження температурного впливу на загальний поздовжній вигин корпусу. Також, вважається доцільним встановлення граничних головних розмірів малих суден з даного матеріалу, при збереженні прийнятних розмірів елементів корпусних конструкцій.

Здійснено порівняльний аналіз міцних розмірів елементів корпусних конструкцій малих суден розрахунковим методом, за вимогами стандарту ISO та за рекомендаціями TL. Перевірено можливість адаптації вимог стандартів ISO групи Small craft до проєктування корпусних конструкцій із поліетилену високої щільності для малих суден, встановлено можливість їх адаптації.

У подальшому, доцільно провести дослідження з включенням до їхньої області рамних зв'язків. Потрібно додатково розглянути вимоги до напружень, що допускаються, і деформацій конструкцій виготовлених з HDPE.

Було досліджено можливості адаптації поліетилену високої щільності до створення малих суден із пропульсивними комплексами різних типів.

Виконано розрахунок здатності конструкції транця витримувати упор при прийнятних параметрах конструкцій без додаткових підкріплень. За результатами дослідження встановлено, що забезпечення здатності конструкції транця витримувати упор при прийнятних параметрах конструкції неможливе, оскільки напруження, що виникають від дії упору водометного двигуна суттєво перевищують допустимі напруження для даного матеріалу при реально можливих товщинах

					19.MP.135.6116 м.09.ПЗ	Лист
						73
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

панелей транцю. Тому, поставлена задача має вирішуватись шляхом встановлення додаткових підкріплень.

Встановлено, що у подальшому, підлягає розгляду задача забезпечення механічного кріплення плити джета до обшивки днища при допущенні горизонтальних зміщень від упору (податливість транця +/-) та непроникності кріплення.

Розроблено рекомендації з охорони праці. Встановлено, що особливості загроз безпеці праці при роботі з поліетиленом високої щільності полягають у виділенні шкідливих речовин при нагріванні зварювального матеріалу та зварювальної поверхні, що мають негативний вплив на органи дихання, центральну нервову систему.

Враховуючи зазначене особливості запобігання загрозам небезпеці праці, що виникають при організації виробництва малих суден з поліетилену високої щільності доцільно зосередити на забезпеченні безпекових заходів щодо запобіганню впливу викидам шкідливих речовин шляхом вентилявання виробничого приміщення, враховуючи що виробництво відбувається у закритих приміщеннях.

Наведена розрахункова схема може використовуватись при проєктуванні вентиляційної системи збирально-зварювального приміщення враховуючи перспективні показники продуктивності виробничого процесу у кожному конкретному випадку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Баадер Х. Разъездные туристские и спортивные катера, Судостроение – 1979 – 382с;

[2] Аврух М.Г. Проектирование судов из пластмассы, Судпромгиз – 1960 – 340 с;

[3] Кротов О.І., Голіков В.І., Єганов О.Ю., Бондаренко О.В. Проектування малотонажних суден. УДМТУ, 2003;

[4] Кузнецов А.И. Определение весовых показателей корпусных конструкций парусно-моторных, моторных яхт и малотоннажных служебных судов на ранних

					19.МР.135.6116 м.09.ПЗ	Лист
						74
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

стадиях проектирования. Сборник «Международная научно-практическая конференция в честь 80-летнего юбилея профессора В.В.Козлякова. Одесса 2010г. С. 300 – 311;

[5] Кузнецов А.И., Дромашко О.В. Приоритеты нагрузок при проектировании корпусных конструкций малых скоростных судов. Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, №2 (397), 2010;

[6] Кузнецов А.И., Атрощенко М.А. Поле ограничений и его влияние на качество конструктивных решений при проектировании конструкций малых судов. East European Scientific Journal.–2016, #12(16).Part 1–P.89-104;

[7] Кузнецов А.И. Анализ целесообразности применения материалов корпусных конструкций для малых судов [Текст] / А. И. Кузнецов // East European Scientific Journal. – 2015. – т.2, – С. 126–132;

[8] Кузнецов А.И., Грабенко А.А. Полиэтилен низкого давления в качестве материала корпусных конструкций : матеріали науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», НУК. Миколаїв, 2020.;

[9] Кузнецов А.И., Грабенко А.А. Критерии применимости полиэтилена низкого давления в качестве материала корпусных конструкций малых судов. [Текст] / А. И. Кузнецов, А. А. Грабенко // Матеріали всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд», НУК. – Миколаїв, 2020.;

[10] Грабенко, А. А. Кузнецов, А. І. Особливості застосування поліетилену низького тиску в якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден. Збірник наукових праць НУК №2, 2021, с.3-7.;

[11] Siswandi B., Wasis Dwi Aryawan, High Density Polyethylene (HDPE) Vessel of Pompong as a Fishing Vessel for Bengkalis Fisherman. [Text]/ The 2 nd International Seminar on Science and Technology, Postgraduate Program Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya, Indonesia, 2016;

					19.MP.135.6116 м.09.ПЗ	Лист
						75
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[12] Ridwan M., Sulaiman, Sugeng S., Sarwoko & Nies H., Mechanical Properties of Small Boat Construction from HDPE Blue Drum Scrap. [Text]/ Diponegoro University – Semarang, Indonesia, SLV Mannheim GmbH – Mannheim, Germany, 2022;

[13] Юрженко М.В., Аналіз виробництва та використання поліетиленових труб для будівництва трубопроводів різного призначення (Огляд). Науковий вісник НЛТУ України №2, 2019;

[14] Шестопад А.Н., Васильев Ю.С., Минеев Э.А. и др., Справочник по сварке и склеиванию пластмасс.; Под общ. Ред. А.Н. Шестопада.- К.: Техника, 1986.- 192 с.;

[15] Юрженко М.В., Кораб М.Г., Зварювання високотехнологічних пластмас : монографія М.В. Юрженко., М.Г. Кораб. – Суми : Університетська книга, 2016. – 319 с.;

[16] Демченко В.Л., Юрженко М.В., Особливості наноструктурної організації, властивості та релаксаційна поведінка зварних з'єднань поліетиленів. [Text]/ Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii, т. 15, № 3, 2017. – 535–546с.;

[17] Valeriy Demchenko, Maksym Iurzhenko, Andriy Shadrin, Anatoliy Galchun, Relaxation behavior of polyethylene welded joints, Nanoscale Research Letters, 2017;

[18] Правила класифікації та побудови малих суден [Текст] / Регістр судноплавства України. – Том 2. – Київ: Регістр судноплавства України, 2015. – 404 с.;

[19] European standard NF EN ISO 12215-3. Small craft. Hull constructions and scantlings Part 3: Materials: Steel, aluminium alloys, wood, other materials [Text] / August, 2002. – 8p.;

[20] Turk Lloyd. Tentative Rules for polyethylene crafts. [Text] / 2002. – 9p.;

[21] European standard NF EN ISO 12215-5. Small craft. Hull constructions and scantlings Part 5: Design pressures. Design stresses, scantling determination/ [Text] / August, 2002. – 45 p.;

[22] Кузнецов А.И., Лисицький І.В. Особливості проєктування малих суден з HDPE : матеріали науково-технічної конференції «Сучасні технології проєктування,

					19.MP.135.6116 м.09.ПЗ	Лист
						76
ИЗ	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд », НУК. Миколаїв, 2023;

[23] Lysytskyi I.V., Kuznetsov A.I. Ways of standardizing HDPE hull structures parameters for small vessels. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. № 2 (491). 2023. С. 44-54;

[24] Кузнецов А.И., Лисицький І.В. Особливості застосування пропульсивних комплексів для малих суден з HDPE : матеріали науково-техничної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», НУК. Миколаїв, 2023.

					19.МР.135.6116 м.09.ПЗ	Лист
						77
Из	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		