

УДК 629.5.023
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.4\(502\).2](https://doi.org/10.15589/znp2025.4(502).2)

FEATURES OF DESIGNING AND STANDARDIZING THE STRUCTURAL PARAMETERS OF SUPPORTING STRUCTURES OF PROPULSION COMPLEXES FOR SMALL VESSELS WITH STRUCTURES MADE OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА НОРМУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРОПУЛЬСИВНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ МАЛИХ СУДЕН З КОНСТРУКЦІЯМИ ІЗ ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ

Anatoliy I. Kuznetsov
anatolii.kuznetsov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5149-3181

Igor V. Lysytskyi
igor.lisitsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1505-199X

А. І. Кузнєцов,
канд. техн. наук
І. В. Лисицький,
аспірант

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. Directions for further research on the design of high-density polyethylene hull structures for small vessels are proposed. The ability of the transom structure of a small vessel made of HDPE to withstand thrust with acceptable structural parameters with additional reinforcements is simulated.

Modeling was conducted and a positive result was obtained regarding the possibility of using bolted connections when using composite structures.

Purpose. It consists in an attempt to create a structural solution with truss reinforcement of the light alloy (ALg) transom structure and a method of engineering calculation of its parameters in the case of using water jet propulsion. Testing the possibility of using bolted connections when using composite structures.

Methodology. The research methodology is based on simplified calculations using structural mechanics methods and modeling in the Solid Works environment using the finite element method.

Results. The obtained results are quite satisfactory, since the results of the simplified calculation demonstrate higher stresses than the simulation results (18–20 %), the error is in the safe side.

The level of stresses arising in the elements of the reinforcing structure is significantly lower than the level of permissible stresses for this material $\sigma_d = 108$ MPa.

The results of the study demonstrate the possibility of applying the requirements of the ISO Small Craft group standards to the inclusion of power structures made of other materials (AMg) in the composition of HDPE hull structures and ensuring reliable connections of these structures for small vessels.

Scientific novelty. It consists in confirming the possibility of using a structural solution with truss reinforcement of a light alloy (AMg) transom structure and a method of engineering calculation of its parameters in the case of using water jet propulsion. Checking the possibility of using bolted connections when using composite structures.

Practical significance. The positive trend in the growth of the number of service and auxiliary fleet vessels with HDPE assumes the availability of structural solutions from composite structures confirmed by calculations.

Key words: Small craft; hull structure; design requirements; high density polyethylene; ISO standards.

Анотація. Запропоновано напрями подальших досліджень щодо проєктування корпусних конструкцій із поліетилену високої щільності для малих суден. Проведено моделювання здатності конструкції транця малого судна з HDPE витримувати упор при прийнятних параметрах конструкцій з додатковими підкріпленнями. Проведено моделювання та отримано позитивний результат щодо можливості застосування болтових з'єднань при використанні композитних конструкцій.

Мета. Полягає у спробі створення конструктивного рішення з фермовим підкріпленням конструкції транця з легкого сплаву (АМг) та методу інженерного розрахунку його параметрів у разі застосування водометних

рушіїв. Перевірки можливості застосування болтових з'єднань при використанні композитних конструкцій під дією експлуатаційних навантажень.

Методика. Методика дослідження базується на спрощених розрахунках методами будівельної механіки та моделюванні у середовищі Solid Works за методом скінчених елементів.

Методика передбачає можливість заміни прямих розрахунків методом скінчених елементів (моделювання конструкцій) стандартними інженерними розрахунками, доступними в традиційній практиці проектування при неможливості забезпечити моделювання із застосуванням відповідного програмного забезпечення.

Результати. Отримані результати цілком задовольняють оскільки результати спрощеного розрахунку демонструють більш високі напруження ніж за результатами моделювання (18–20 %), похибка у безпечний бік.

Рівень напружень, що виникають у елементах підкріплюючої конструкції суттєво нижчий рівня допустимих напружень для даного матеріалу $\sigma_d = 108$ МПа.

У разі потреби оптимізації конструкцій використання спрощеної схеми неможливе, доведеться переходити до прямого моделювання. Слід зауважити, що ця процедура суттєво збільшить бюджет проектування.

Результати дослідження демонструють можливість застосування вимог стандартів ISO групи Small Craft до включення силових конструкцій з інших матеріалів (AMг) у склад корпусних конструкцій з HDPE та забезпечення надійних з'єднань цих конструкцій, для малих суден.

Наукова новизна. Полягає у пропозиції ряду конструктивних рішень для застосування пропульсивних установок великої потужності з конструкціями відносно невеликої міцності. Пропонуються конструктивні рішення щодо передачі навантажень від упору при встановленні водометних рушіїв та кутових колонок. Розглядається можливість визначення параметрів конструкцій найпростішими інженерними способами. Окремі рішення пропонуються передачі навантажень від ГД на корпусні конструкції в МО. Пропонується варіант з'єднання фундаментів ГД з корпусними конструкціями.

Практична значимість. Позитивна тенденція щодо зростання кількості суден службово-допоміжного флоту з HDPE передбачає наявність підтверджених розрахунками конструктивних рішень з композитних конструкцій. Спрощені схеми розрахунків, що пропонуються для з'єднання композитних конструкцій (поліетилен+метал), показуючи відхилення в безпечну сторону, можуть бути прийняті в процедурах реального проектування без залучення дорогого моделювання методом кінцевих елементів.

Ключові слова: малі судна; корпусні конструкції; пропульсивні комплекси; вимоги до проектування; поліетилен високої щільності; стандарти ISO.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Останнім часом динамічно розвивається флот малих суден із конструкціями з поліетилену високої щільності (HDPE). У той же час виникає чимало питань при проектуванні їх конструкцій, особливо, конструктивного забезпечення деяких типів пропульсивних комплексів щодо їх суміщення з такими корпусними конструкціями.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Складність пов'язана з наявністю особливостей конструктивного матеріалу, що розглядається. Докладно особливості матеріалу наведено у роботі [1]. Головними особливостями, що впливають на архітектуру та необхідні розміри конструкцій з HDPE є його відносно мала жорсткість. Приклади застосування наведеного матеріалу для малих суден різного призначення наведено у роботах [2], [3].

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

Встановлення водометних рушіїв на таких судах є проблемною, практично неможливо забезпечити адекватну міцність конструкцій транця за реальних технологічних обмежень за параметрами корпусних

конструкцій. У роботі [4] показано, що фактичні деформації конструкцій у цьому разі будуть занадто великі. Така сама проблема виникає при встановленні на транці кутових колонок. Схема навантажень дещо інша, але наголос забезпечувати потрібно.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Таким чином, для конструкцій швидкісного судна при застосуванні у якості матеріалу корпусних конструкцій HDPE, неможливо забезпечити міцність конструкцій транця при прийнятних параметрах обшивки транцю та його набору. Це призводить до необхідності створення підкріплювальних конструкцій для сприйняття упору рушіїв без появи критичних деформацій конструкцій транця з більш міцного матеріалу.

Завдання цих конструкцій полягає у сприйнятті більшої частини навантаження від упору та перерозподіл її на основні корпусні конструкції.

Крім того, фундаменти ГД великої потужності не можуть бути виконані з основного матеріалу корпусних конструкцій. Необхідно забезпечити адекватне кріплення (згідно з вимогами РУ) на металевому фундаменті. Цей фундамент потрібно встановити на корпусні конструкції. При цьому корпусні конструкції повинні приймати навантаження, що діють, без пошкоджень і значущих деформацій.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Полягає у пошуку конструктивних рішень забезпечення міцності корпусних конструкцій малого судна з конструкціями із застосуванням водометних двигунів і кутових колонок великої потужності, а також кріплення ГД в умовах застосування металевих конструкцій для забезпечення прийняття навантажень, що діють. Передбачається, що чисельні методи моделювання та їх порівняння з існуючими простими розрахунковими оцінками елементів конструкцій у процесі проектування можуть бути коректними, при відхиленні в безпечну сторону при застосуванні традиційних розрахункових схем, то ці стандартні методи можуть застосовуватися в процесі проектування.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводиться шляхом порівняння результатів визначення міцних розмірів підкріплюючої конструкції за спрощеним методом розрахунку з результатами моделювання поведінки підкріплюючої конструкції у середовищі SolidWorks методом скінчених елементів.

Об'єкт дослідження – підкріплююча конструкція транця з легкого сплаву (АМг) спільно з корпусними конструкціями у цій зоні та можливості забезпечення міцності фундаментних конструкцій на механічних болтових кріпленнях.

Предмет дослідження – спроможність підкріплюючої конструкції витримувати напруження, що виникають у наслідок дії навантажень від упору рушія та параметрів болтового кріплення ГД.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

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 проектування. Окремим питанням застосування пропульсивних комплексів є встановлення водометних рушіїв та кутових колонок. Навантаження, що діють, від упору водомета або кутових колонок прикладаються до конструкцій транця і днища і передаються через опорні кромки рушія. Загалом можна прийняти рівномірний розподіл по кромках контакту рушія з корпусними конструкціями. Розглянемо пропульсивний комплекс із застосуванням двох водометних рушіїв.

При цьому навантаження від упору передається на конструкції за допомогою транцевої та днищової плит рушія. Дія навантаження спрямована в поздовжньому напрямку і може мати знакозмінний характер (передній та задній хід).

Найбільші навантаження на конструкції корпусу виникають при русі з максимальною швидкістю переднім ходом (при реверсі ПУ навантаження змінює знак і зазвичай за абсолютною величиною менше, ніж під час руху вперед повним ходом).

Якщо розглянути найбільш загальну схему встановлення водометних рушіїв на швидкісне судно (два водомети на судні з достатньою кілюватістю по транцю), то загальна концепція необхідних підкріплень може виглядати наступним чином (див. рис. 1).

При цьому частина навантаження від упору сприйматиметься днищовими пластинами, що має досить високу несучу здатність у площині пластин. Підкріплююча конструкція (ферма) сприйматиме згинальні навантаження на власні елементи, розташовані в площині транця і стискаючі/розтягуючі навантаження в розкосах ферми закріплені на вертикальному кілі та стрінгерах днища.

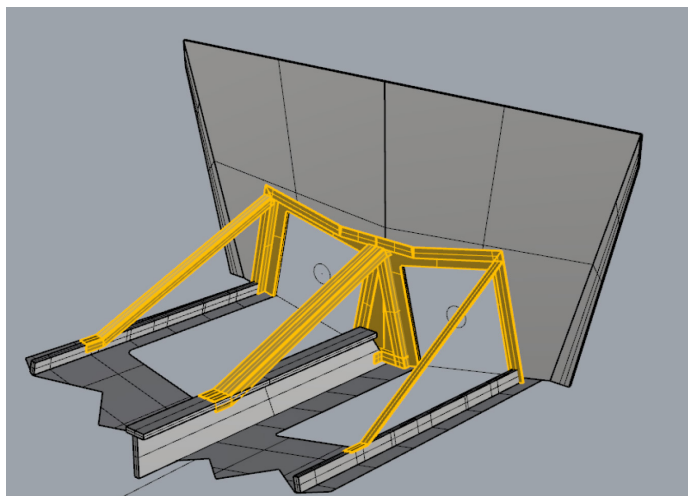


Рис. 1. Концепція необхідних підкріплень

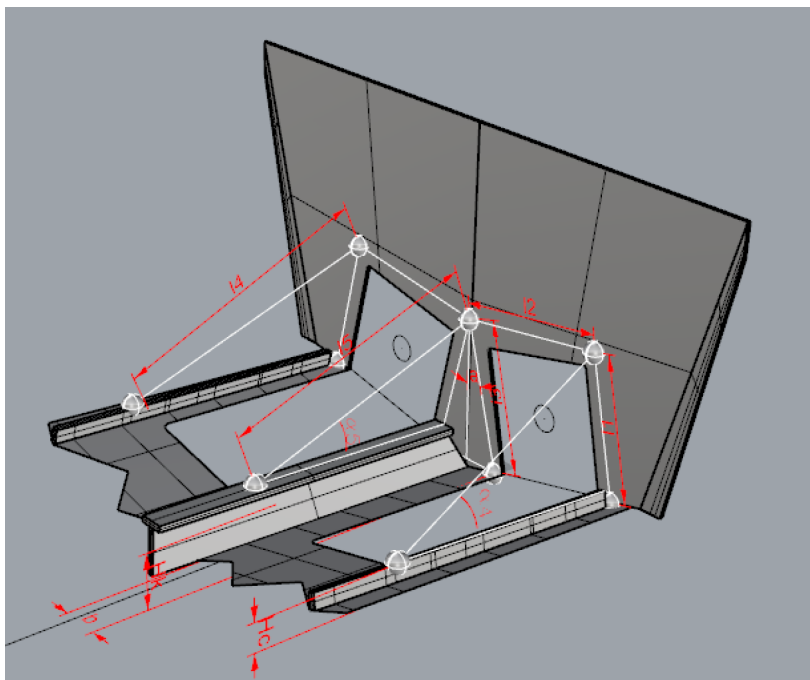


Рис. 2. Підкріплююча ферма

У загальному випадку структурна схема ферми, що підкріплює, може виглядати наступним чином (рис. 2).

Для дослідження обрано найбільш загальний варіант компонування водометних рушіїв на малому швидкісному судні (два водомети). Розміри в'язей призначені конструктивно. У процесі реального проєктування передбачається ітераційна схема зміни параметрів фермової конструкції для отримання оптимального рішення.

Таблиця 1. Розрахунок елементів конструкції

З'язок	Схема розрахунку	Навантаження
1		$R_1 = ql_1/2$ $M_1 = ql_1^2/8$
2		$R_2 = ql_2/2$ $M_2 = ql_2^2/8$
3		$R_3 = ql_3/2$ $M_3 = ql_3^2/8$
4		$R_4 = (R_2 + R_1)/\cos a_4$ $P_{kp4} = p^2 EI_4 / l_4^2$
5		$R_5 = 2(R_2 + R_3)/\cos a_5$ $P_{kp5} = p^2 EI_5 / l_5^2$

Балки ферми 1–3 будуть сприймати рівномірно розподілене навантаження від упору рушія без урахування частини навантаження, що діє у площині днищового перекриття. Перерізи цих балок розглядаються з приєднаними поясами корпусних конструкцій. З помилкою у безпечний бік всі опори приймаються шарнірними. Розкоси 4–5 слід розраховувати на стійкість (див. табл. 1). Опорна схема показана на рис. 3.

У загальному випадку ставиться мета створення максимально простого алгоритму призначення адекватних розмірів балок підкріплюючої ферми (матеріал, профілі прокату). Звичайно, дана спрощена схема не може враховувати розподіл навантажень у вузлових точках схеми.

Однак, якщо вона дозволить коректно призначити параметри перерізів балок ферми, її застосування можна буде вважати обґрунтованим. Вузлові ефекти

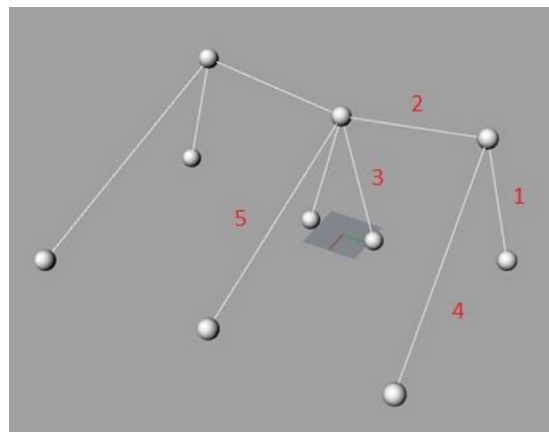


Рис. 3. Опорна схема ферми

Таблиця 2. Вихідні дані щодо спрощеного розрахунку

Параметр	Позначення	Величина
Упор рушія, кН	P	$P := 40$
Проліт балки № 1, м	l_1	$l_1 := 0.9$
Проліт балки № 2, м	l_2	$l_2 := 0.95$
Проліт балки № 3, м	l_3	$l_3 := 0.9$
Проліт балки № 4, м	l_4	$l_4 := 0.76$
Проліт балки № 5, м	l_5	$l_5 := 1.74$
Розподілене навантаження, кН/м	q	$q := \frac{P}{(l_1 + l_2 + l_3)}$ $q = 14.184$
Підвищення точки кріплення розпірки (5) над нижньою опорою балки (3), м	H_k	$H_k := 0.35$
Підвищення точки кріплення розпірки (4) над нижньою опорою балки (1), м	H_c	$H_c := 0.18$
Відстань нижньої опори балки № 3 від ДП, м	b	$b := 0.25$
Кут між балкою № 3 та ДП, рад	a	$a := \arcsin\left(\frac{b}{l_3}\right)$ $a = 0.261$
Кут нахилу розкосу при ВК до ВП, рад	a_5	$a_5 := \arcsin\left(\frac{l_3 \cdot \cos(a) - H_k}{l_5}\right)$ $a_5 = 0.344$
Кут нахилу розкосу при стрінгери до ВП, рад	a_4	$\alpha_4 := \arcsin\left(\frac{l_1 - H_c}{l_4}\right)$ $\alpha_4 = 0.312$
Момент опору балки № 1, см ³	W_1	$I_1 = 417$ $W_1 := 65$
Момент опору балки № 2, см ³	W_2	$I_1 = 417$ $W_1 := 65$
Момент опору балки № 3, см ³	W_3	$I_1 = 417$ $W_1 := 65$
Момент інерції розкосу № 4, см ⁴	I_4	$I_4 := 73.4$
Момент інерції розкосу № 5, см ⁴	I_5	$I_5 := 147.4$
Площа поперечного перерізу розкосу № 4, см ²	F_4	$F_4 := 12.2$
Площа поперечного перерізу розкосу № 5, см ²	F_5	$F_5 := 24.3$
Модуль пружності матеріалу, МПа	E	$E := 0.71 \cdot 10^5$

можуть компенсуватися відповідним конструктивним оформленням вузлів ферми. Висновки про застосування запропонованої розрахункової схеми можна буде зробити за результатами порівняння результатів розрахунку з результатами розрахунку методом скінчених елементів.

У табл. 2 представлені вихідні дані для спрощеного розрахунку

Максимальні навантаження у зв'язках, що згинаються і критичні навантаження у зв'язках, що стискаються наведено у табл. 3.

Моделювання навантаження запропонованої конструкції за методом скінчених елементів відбувалось у середовищі Solid Works. На рис. 4–7 наведено схему навантаження корпусної конструкції, сітку скінчених елементів, напруження та переміщення, що виникатимуть у результаті навантаження.

Найбільші напруження, що виникають у прольотах елементів ферми, що підкріплює (рис. 8–10),

Таблиця 3. Навантаження у зв'язках

Елемент конструкції	Результат розрахунку
Балка транцю № 1	$M_1 := q \cdot \frac{l_1^2}{8}$ $M_1 = 0.691$ $\sigma_1 := \frac{M_1 \cdot 10^3}{W_1}$ $\sigma_1 = 22,1$ МПа
Балка транцю № 2	$M_2 := q \cdot \frac{l_2^2}{8}$ $M_2 = 1.415$ $\sigma_2 := \frac{M_2 \cdot 10^3}{W_1}$ $\sigma_2 = 24,6$ МПа
Балка транцю № 3	$M_3 := q \cdot \frac{l_3^2}{8}$ $M_3 = 1.255$ $\sigma_3 := \frac{M_3 \cdot 10^3}{W_1}$ $\sigma_3 = 25,6$ МПа
Розпорка № 4	$R_4 := (R_2 + R_1) \cos(\alpha_4)$ $R_4 = 8.883$ кН $P_{kr4} := 3.14^2 \cdot E \cdot \frac{I_4 \cdot 10^{-5}}{l_4^2}$
Розпорка № 5	$R_5 := 2(R_2 + R_3) \cos(\alpha_5)$ $R_5 = 20.082$ кН $P_{kr5} := 3.14^2 \cdot E \cdot \frac{I_5 \cdot 10^{-5}}{l_5^2}$ $P_{kr5} = 960.038$ кН

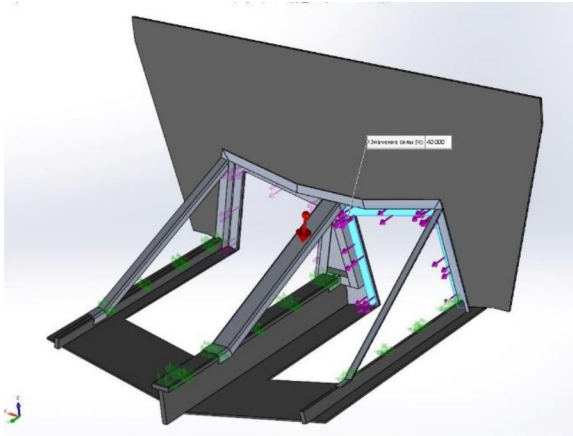


Рис. 4. Конструкція транцю

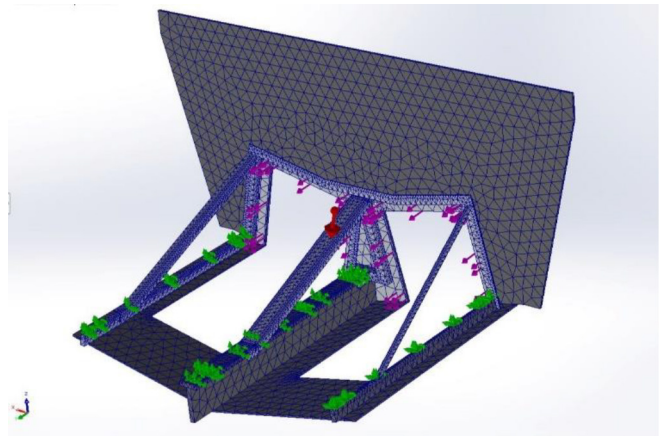


Рис. 5. Сітка скінчених елементів

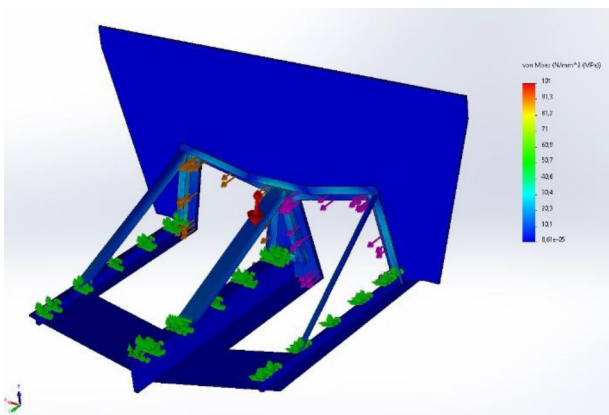


Рис. 6. Напруження у конструкції

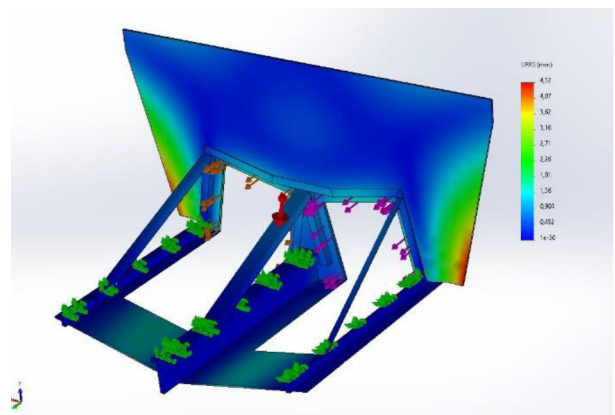


Рис. 7. Переміщення у конструкції

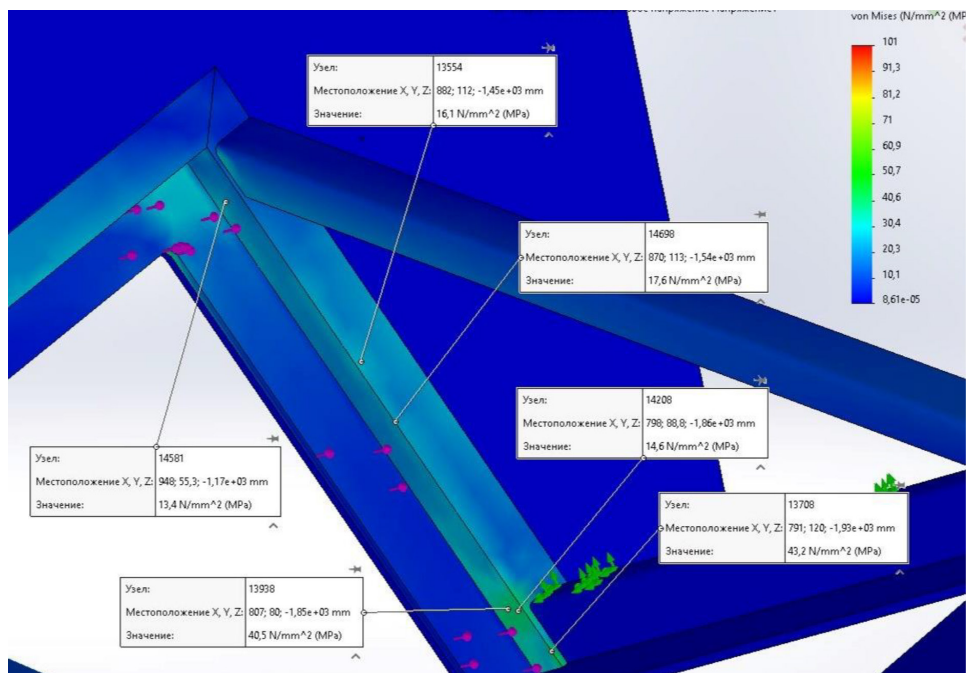


Рис. 8. Напруження у елементах конструкції

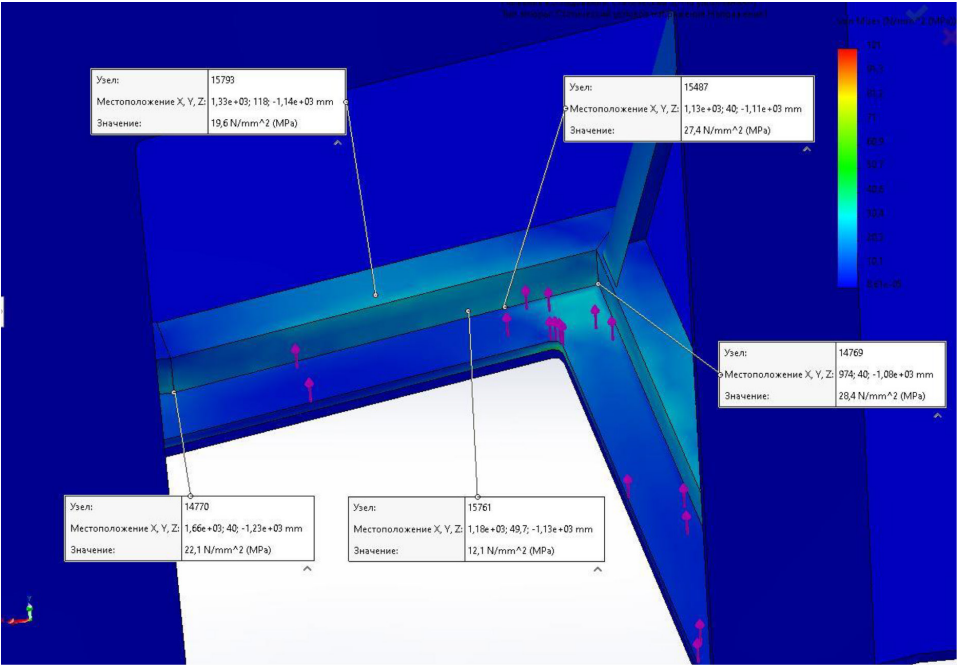


Рис. 9. Напруження у елементах конструкції

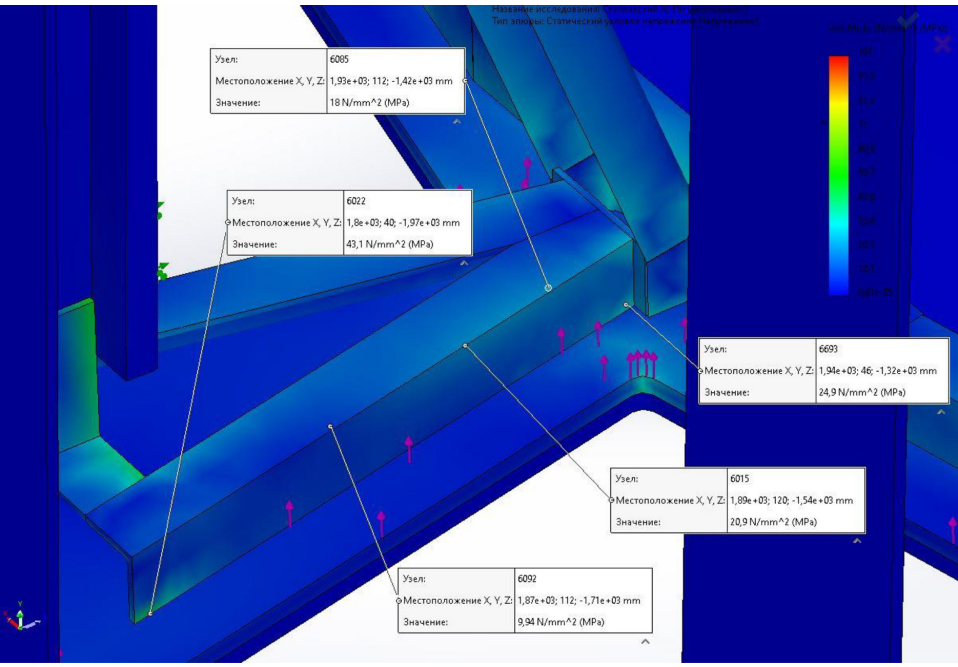


Рис. 10. Напруження у елементах конструкції

Таблиця 4. Максимальні напруження у прольотах елементів ферми

Зв'язок	Напруження за спрощеною схемою, мПа	Напруження за моделлю, мПа	Різниця %
Балка № 1	22,1	17,6	20
Балка № 2	24,6	19,6	20
Балка № 3	25,6	20,9	18

у порівнянні з результатами моделювання МСЕ показані у Табл. 4.

Застосування композитних конструкцій унеможливує зварювання та передбачає наявність механічних кріплень. Природно виникає питання щодо кількості і розмірів кріпильних виробів. З метою дослідження поведінки матеріалу було обрано таврову балку з HDPE з отвором для болтового з'єднання. У отвір попередньо вставлена втулка з нержавіючої сталі. Навантаження прикладались уздовж горизонтальної осі балки. Допустимі напруження приймалися спираючись на рекомендації ДСТУ EN ISO 12215-5:2019, Табл. 6

Таблиця 6. Допустиме напруження

Матеріал	HDPE
σ_y , МПа	25
σ_d , МПа	12,5

Розрахункове навантаження визначалося спираючись на реальний діапазон навантажень, що виникають у ході експлуатації.

Моделювання проводилося методом скінчених елементів (Solid Works) під впливом обраних навантажень. Для розмірів болтів у діапазоні $d = 10\text{--}20$ мм

розміри стінки та пояску таврової балки варіювались ($t = 10, 14, 20$ мм). Результати моделювання представлено на рис. 11.

Результати моделювання демонструють можливість застосування номенклатури болтів різних діаметрів, у діапазоні прийнятних, від 10 до 20 мм для прийнятних розмірів балок набору $t = 10\text{--}20$ мм. При цьому, напруження, що виникають, знаходяться у межах значень нижче допустимих (12,5 МПа). Спостерігається зменшення напружень у отворі при збільшенні діаметрів.

Допустимі області застосування механічних кріплень для з'єднань силових конструкцій з основним матеріалом елементів корпусу представлено на рис. 12–14.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Застосування спрощеної моделі розрахунку (за балочною схемою) показує, що загальний характер напруження в основній і спрощеній моделі, в основному (за максимальними напруженнями у перерізах балок ферми, що проєктуються), досить близький. При цьому результати спрощеного розрахунку демонструють більш високі напруження ніж за результатами моделювання (18–20 %), похибка у безпечний бік

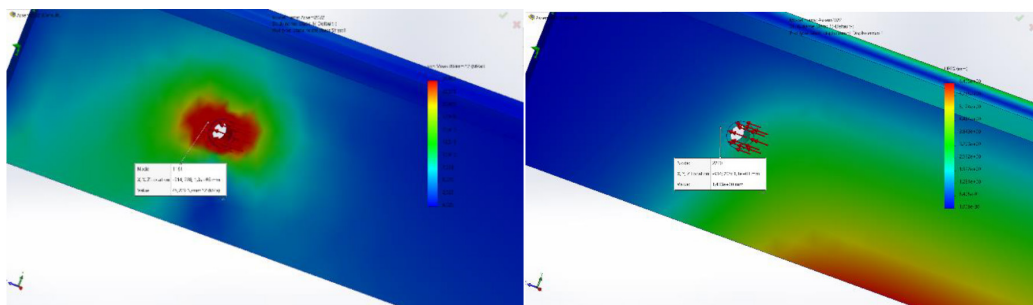


Рис. 11. Напруження та переміщення у отворі балки

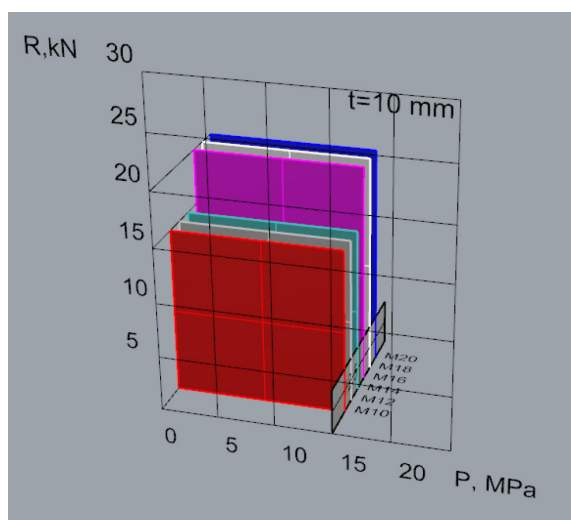


Рис. 12. З'єднання для $t = 10$ мм

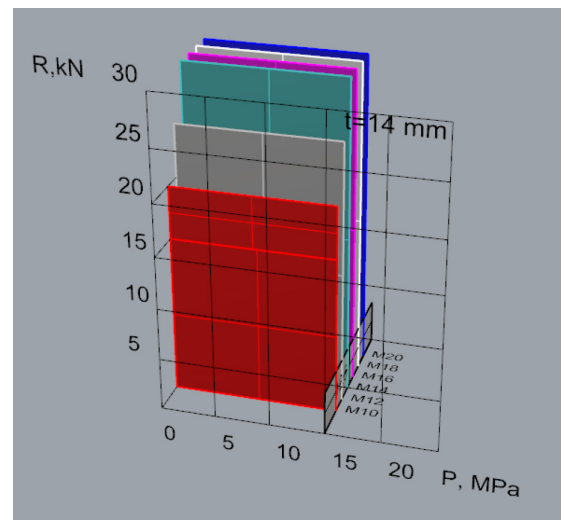


Рис. 13. З'єднання для $t = 14$ мм

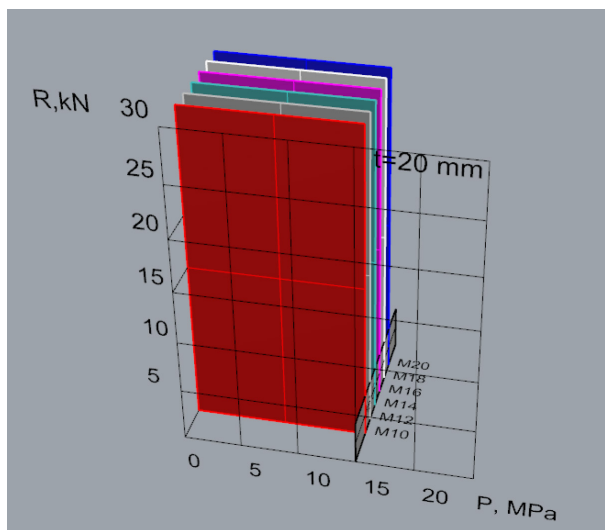


Рис. 14. З'єднання для $t = 20$ мм

(це дозволяє застосувати прості балкові теорії для розрахунку конструкцій).

Напруження у прольотах елементів ферми розподіляються нерівномірно і зростають з наближенням до місць концентрації напружень, що підлягає окремому розгляду, з урахуванням конструкції вузлів ферми. мови закріплення опор ферми можуть суттєво впливати на розподіл напруги. Однозначно більш жорстке закріплення переважно.

Рівень напружень, що виникають у елементах підкріплюючої конструкції суттєво нижчий

рівня допустимих напружень для даного матеріалу $\sigma_d = 108$ МПа.

Параметри розпірок (балка № 4 та балка № 5) можуть визначатися за формулою Ейлера.

У цілому, спроба створення спрощеної схеми розрахунку, придатної з метою нормування розмірів проєктованих в'язей підкріплень, здається досить перспективною за умови призначення коректних коефіцієнтів запасу міцності проєктованих в'язей. Необхідні подальші дослідження та формалізація алгоритму спрощеного розрахунку.

ВИСНОВКИ

1. Результати спрощеного розрахунку демонструють більш високі напруження ніж за результатами моделювання (18–20 %), похибка у безпечний бік.

2. Рівень напружень, що виникають у елементах підкріплюючої конструкції суттєво нижчий рівня допустимих напружень для даного матеріалу $\sigma_d = 108$ МПа. Можлива оптимізація параметрів

3. Результати дослідження демонструють можливість застосування вимог стандартів ISO групи Small Craft до включення силових конструкцій з інших матеріалів (АМг) у склад корпусних конструкцій з HDPE та забезпечення надійних з'єднань цих конструкцій, для малих суден. Пропоновані конструктивні рішення підтверджені результатами моделювання та можуть бути обґрунтовані для практичних інженерних розробок.

REFERENCES

- [1] Hrabenko, A. A., & Kuznetsov, A. I. (2021). Osoblyvosti zastosuvannya polietylenu nyzkoho tysku yak materialu korpusnykh konstrukttsii malykh suden [Features of using low-pressure polyethylene as a material for hull structures of small vessels]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK*, (2), 3–7.
- [2] Siswandi, B. (2016). High density polyethylene (HDPE) vessel of *pompong* as a fishing vessel for Bengkalis fishermen. In *Proceedings of the 2nd International Seminar on Science and Technology*. Postgraduate Program, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- [3] Ridwan, M., Sulaiman, & Sugeng, S. (2022). Mechanical properties of small boat construction from HDPE blue drum scrap. Diponegoro University, Semarang, Indonesia; SLV Mannheim GmbH, Mannheim, Germany.
- [4] Lysytskyi, I. V., & Kuznetsov, A. I. (2023). Ways of standardizing HDPE hull structure parameters for small vessels. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho universytetu korablebuduvannya imeni admiral Makarova*, (2(491)), 44–54.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Грабенко, А. А., Кузнєцов, А. І. (2021). Особливості застосування поліетилену низького тиску в якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден. *Збірник наукових праць НУК* № 2, С. 3–7.
- [2] Siswandi, B. (2016). High Density Polyethylene (HDPE) Vessel of Pompong as a Fishing Vessel for Bengkalis Fishermen. [Text]/ The 2 nd International Seminar on Science and Technology, Postgraduate Program Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya, Indonesia;
- [3] Ridwan, M., Sulaiman, Sugeng, S. (2022). Mechanical Properties of Small Boat Construction from HDPE Blue Drum Scrap. [Text]/ Diponegoro University – Semarang, Indonesia, SLV Mannheim GmbH – Mannheim, Germany;
- [4] Lysytskyi, I. V., Kuznetsov, A.I. (2023). Ways of standardizing HDPE hull structures parameters for small vessels. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. № 2 (491). С. 44–54.

© Кузнєцов А. І., Лисицький І. В.

Дата надходження статті до редакції: 08.11.2025

Дата затвердження статті до друку: 26.11.2025

Опубліковано: 30.12.2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0