

УДК 539.3: 331.45: 685.7

С. В. КУЦЕНКО, А. Ю. ВАСИЛЬЄВ, Д. С. МУХІН, Ю. К. ВАСИЛЬЄВ

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ІНДИВІДУАЛЬНОГО СПОРЯДЖЕННЯ ШЛЯХОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НДС, НА ПРИКЛАДІ КАРАБІНІВ

У статті наводиться опис і класифікація індивідуального спорядження, описується постановка задачі для подальших досліджень. Створено геометричні та скінченно-елементні моделі досліджуваних об'єктів. В геометричну модель закладені основи для подальших досліджень впливу конструктивних особливостей на НДС виробу. Проводиться аналіз розмірності і пошук оптимального розміру скінченно-елементної сітки. Також частково піднімається питання концентраторів напружень та їх впливу на результати. Наведено результати попередніх розрахунків карабіна на міцність. За отриманими результатами проведено порівняння з різними марками сталей.

**Ключові слова:** метод скінчених елементів, напружено-деформований стан, статичний аналіз, альпінізм, елементи страховки, індивідуальне спорядження, карабін

В статье приводится описание и классификация индивидуального снаряжения, описывается постановка задачи для дальнейших исследований. Созданы геометрические и конечно-элементные модели исследуемых объектов. В геометрическую модель заложены основы для дальнейших исследований влияния конструктивных особенностей на НДС изделия. Проводится анализ размерности и поиск оптимального размера конечно-элементной сетки. Также частично поднимается вопрос концентраторов напряжений и их влияния на результаты. Приведены результаты предварительных расчетов карабина на прочность. По полученным результатам проведены сравнения с различными марками сталей.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, статический анализ, альпинизм, элементы страховки, индивидуальное снаряжение, карабин

The article provides a description and classification of individual equipment, described formulation of the problem for future research. The purpose of work-processing technique of full-scale tests in computer simulations for this type of constructs using CAE packages. In the work was given the task of building a solid three-dimensional parametric model to the real model. As the object of study tourist steel carbine was taken trapezoidal shape with latch. Created geometric and finite element models of the objects. The analysis of the dimensions and the search for the optimum size of the finite element mesh. The results are compared with several brands of steels and conclusions about the applicability of certain brands in this type of structures. Just it noted that part of steel requires additional calculations and research.

**Keywords:** finite element method, mode of deformation, static analysis, climbing elements insurance, personal equipment, carabiner

**Вступ.** Тема безпеки життя має досить велику актуальність, тому що запобігання травматизму або смерті людей під час виконання своїх обов'язків має дуже важливе значення для створення безпечних умов життя і здоров'я [1-7]. Особливо це важливо для ситуацій, що пов'язані з екстремальними умовами: альпінізм, туризм, рятувальні операції, військова справа. Нещасні випадки були і залишаються трагедією, вони наносять матеріальні та моральні збитки, крім того, тягнуть за собою величезні втрати робочого часу для надання першої допомоги і подальшого медичного лікування. Для запобігання травматизму розроблено безліч нормативних документів, розпорядчих правил поведінки і використання обладнання [4-17]. Крім цього, були винайдені засоби індивідуального спорядження людини для захисту від травматизму. До них відносяться і карабіни, про які піде мова в роботі. Карабін – це пристрій, який дозволяє швидко і надійно з'єднати два і більше виробу, зазвичай він має форму скоби з пружинною засувкою. Застосовуються дані пристрої в самих різних галузях і напрямках [3-7, 18-20]. Їх використання дуже поширене в альпінізмі, промисловому та спортивному, як частина індивідуального спорядження військових та спецпідрозділів, в якості спускових і переправних ланок, як кріплення в рюкзаках, сумках і так далі. Головним методом перевірки відповідності індивідуального спорядження щодо висунутих вимог [8-17] на даний момент є натурні випробування, в ході яких індивідуальне спорядження, виготовлене відповідно до конструкторської та технологічної документації,

піддають руйнуванню. Процес виготовлення – довгий, а руйнування – незворотні. Це призводить до істотних витрат, часових та фінансових. Для зменшення витрат на експерименти доцільно переробити методику натурних випробувань до числових розрахунків для даного типу конструкцій з використанням САЕ пакетів і порівняти результати комп'ютерних розрахунків з результатами експериментів [21-29].

**Опис і класифікація карабінів.** За матеріалом розрізняють карабіни, виготовлені зі сталі і різних сплавів, переважно алюмінієвих. Сталеві карабіни менше схильні до зносу і витримують великі навантаження, до 40 кН [18-20]. Однак, вони значно важчі за алюмінієві і застосовуються, в основному, в промисловому альпінізмі. Дюралеві карабіни застосовуються повсюди. Вони легкі і достатньо міцні (до 30 кН по головній вісі). Крім того, до 1991 року вироблялися титанові карабіни «Ірбіс» [20]. У світовій практиці такі карабіни зустрічаються рідко, через високу ціну та складність технологічного процесу. За формою карабіни поділяються на: трапеція, трикутник, овал, дельта, рис. 1, а–г.

За конструкцією поділяються: з муфтою, рис. 1, д, і без муфти, рис. 1, е. Карабіни з муфтою (муфтованні) – засувка фіксується накручуванням муфти на частину карабіна, рис. 1, д. Їх теж існує два підвиди: ручні та автоматичні. У перших муфта накручується користувачем, а в других реалізовано пружинний механізм, що переміщує муфту в положення, яке перешкоджає розкриттю карабіна. Карабіни без муфти (безмуфтові) використовують у своїй конструкції тільки засувку, без додаткової фіксації, рис. 1, е

© С. В. Куценко, А. Ю. Васильєв, Д. С. Мухін, Ю. К. Васильєв, 2017



Рис. 1 – Форми і види карабінів

а – трапецевидний; б – трикутний; в – дельтаобразний; г – овальний; д – муфтований; е – безмуфтовий; ж – система Key-Lock; з – рапід; і – розважувальний; к – монтажний; л – система Frog; м – система Soleymioux

Зараз багато карабінів виготовляється з системою Key-Lock, рис. 1, ж. Це означає, що в місці, де при закритті карабіна клямка примикає до гака, відсутній так званий «зуб». Такі карабіни зручніше, оскільки не чіпляються «зубом» за гаки, троси закладок, мотузки, тощо. Окремим видом карабінів є так звані рапіди, рис. 1з. Їх конструктивною особливістю є те, що у них немає клямки, її роль виконує муфта, що перекриває собою зазор для вчіплення.

Крім того, існують розважувальні карабіни, рис. 1і. Вони виробляються з пластику або дюралю і не переносять великих навантажень. Ці карабіни призначені для розвішування спорядження (здебільшого льодобурів). Монтажні карабіни, рис. 1к, призначені для організації самострахування при роботі на різних конструкціях. Також до карабінів можна віднести системи Frog і Soleymioux фірми Kong, рис. 1, л–м. Це з'єднувальні ланки, інтегровані в відтяжку.

Таким чином, в категорію карабіни входить велика кількість різних пристосувань, різних за формою, матеріалом, способами і місцями застосування. В рамках роботи підхід до їх автоматизованого дослідження буде розглянутий на прикладі сімейства муфтованих карабінів типу трапеція.

**Постановка задачі.** Дослідження надійності особистого спорядження, переважно експериментальні, показали, що деякі їх елементи в процесі експлуатації схильні до залишкових деформацій і руйнування, що зумовило необхідність проведення аналізу слабких місць і розробки рекомендацій щодо поліпшення конструкції.

У роботі була поставлена задача побудови твердотільної параметричної тривимірної моделі за реальним зразком. В якості об'єкта дослідження було взято туристський сталевий карабін трапеційдальної форми з муфтованною засувкою.

Переважає більшість характеристик матеріалів, що застосовуються при виготовленні карабінів, є комерційної таємницею.

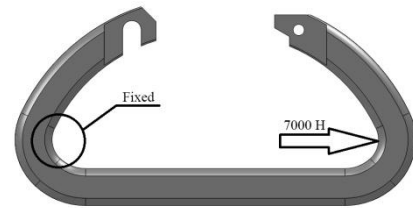


Рис. 2 – Граничні умови

Але так як робота присвячена розробці методів автоматизації, то для тестових розрахунків була взята високоміцна загартована сталь з межею міцності не менше 800 МПа. Такі сталі здебільшого мають модуль пружності, рівний  $1,9 \cdot 10^{11}$  Па і коефіцієнт Пуассона, який дорівнює 0,3, табл. 1.

Таблиця 1 – Приклади характеристик матеріалів

| Матеріал  | $\sigma_r$ , МПа | $\sigma_r$ змцнення, МПа | $\sigma_b$ , МПа | $\sigma_b$ змцнення, МПа | Е, ГПа | $\mu$ |
|-----------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------|-------|
| Ст3       | 185-250          | 250-350                  | 380-490          | 380-490                  | 2,05   | 0,27  |
| Ст45      | 245-395          | 410-830                  | 470-690          | 610-980                  | 2,0    | 0,31  |
| 30Г2      | 375              | 375                      | 590              | 590                      | 1,98   | 0,33  |
| 30ХГСН2А  | 1375             | 1500                     | 1620             | 1900                     | 1,95   | 0,29  |
| 30ХНЗМ2ФА | 750              | 750                      | 900              | 900                      | 1,95   | 0,28  |
| 50ХГ      | 1177             | 1177                     | 1275             | 1275                     | 1,85   | 0,3   |
| Ст85      | 980              | 1650                     | 1130             | 1750                     | 1,91   | 0,31  |

Далі необхідно було накласти умови закріплення, задати навантаження у вигляді сили в 7000 Н уздовж поздовжньої осі карабіна, рис. 2. Таке навантаження зумовлене середнім значенням граничного навантаження при відкритій засувці для даного виду карабінів [8-17, 24-25].

У даній роботі розглядається карабін у відкритому, незамуфтованому, положенні, через те, що в такому стані карабін витримує значно менші навантаження, ніж у інших. Такий стан вважається більш небезпечним для життя людини [17, 24-25]. Карабін може знаходитися в такому положенні при зчепленні/розчепленні різних вузлів і згідно з ДСТУ EN 362–2001 [15] повинен проходити перевірку у відкритому положенні. З метою зменшення ресурсоемності завдання, розрахункова модель була спрощена до однієї дуги, без механізму замикавання.

**Побудова моделі.** За початковими даними, заміряними з реальної конструкції була побудована твердотільна модель карабіна в SolidWorks. Для параметризації моделі за основу взяті її розміри та ескізи, модернізовано дерево побудови та взаємозв'язки між і усередині ескізів з урахуванням тих параметрів, які плануються варіювати. Також були додані керуючі ескізи та конфігурації, що змінюють форму карабіна, рис. 3 та 4.

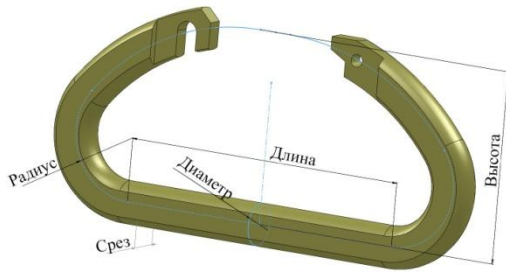


Рис. 3 – Основні варійовані параметри

На рис. 3 зображено керуючі параметри для трапецієвидної форми карабіну. Взаємозв'язки між ескізами реалізовані не лише додаванням обмежень та посилань на інші ескізи, а й з використанням рівнянь. Це частково спрощує перебудову моделі, тому що не треба кожного разу звертатися до кожного ескізу, щоб змінити всі розміри. Також, для можливих подальших досліджень у функціонал моделі була долучена можливість принципово змінювати форму карабіну, рис. 4. Окрім трапецієвидної форми модель включає в себе овальну та трикутну форми. Це значно розширює область досліджень.

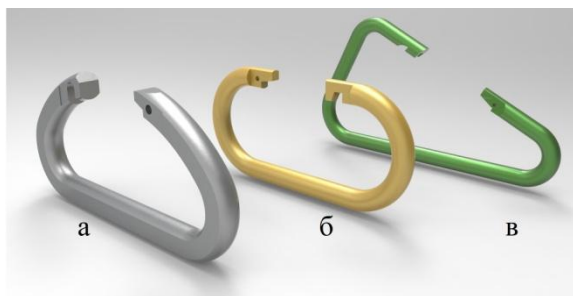


Рис. 4 – Реалізовані форми карабінів  
а – трапецієвидний; б – овальний; в – дельтаобразний;

Таким чином, була побудована спрощена твердотільна параметрична модель карабіна, що включає в себе кілька різних форм, рис. 4. Дослідження будуть проводитися тільки з трапецієвидним карабіном, рис. 4, а. Інші форми були побудовані в якості додаткового завдання і плануються досліджуватися надалі.

**Тестові результати розрахунків.** Перед тим, як приступити до досліджень впливу конструктивних параметрів на НДС, необхідно провести ряд тестових розрахунків, в тому числі, визначити прийнятну розмірність скінченно-елементної (СЕ) сітки. Основними критеріями для цього виступають швидкість проведеного розрахунку і різниця отриманих результатів щодо більшої СЕ сітки. Конструкція перебувала під дією сили, прикладеної на одну з поверхонь. Протягом розрахунків не змінювалися характеристики матеріалу ( $E$ ,  $\mu$ ,  $\rho$ ), закріплення, тип скінченного елемента (тетраїдальний). На рис. 5 та 6, наведені картини деформування та напружено-деформованного стану карабіну при початкових значеннях параметрів геометрії (діаметр, довжина, висота, зріз та радіус). В рамках поточної

публікації наданий аналіз лише для цього варіанта геометрії.

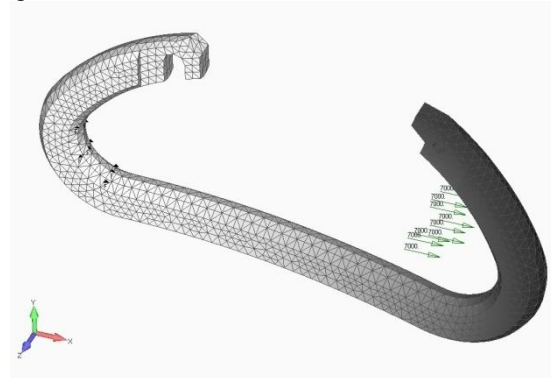


Рис. 5 – Картина деформацій

У табл. 2 наведені значення еквівалентних напружень, розміри використовуваних сіток, приблизне число вузлів і елементів. Порівнювати напруження за максимальним значенням не зовсім доречно: при подрібненні СЕ сітки з'являються концентратори напружень, обумовлені розмірністю сітки, а не особливостями конструкції. Згідно з європейською термінологією, hotspots stress (HS) – напруження в концентраторі і general stress (GS) – загальний напружений стан без урахування концентраторів. У табл. 2 наведені напруження безпосередньо в концентраторі (HS) та без його урахування (GS).

Таблиця 2 - Розмірність сітки

| Розмір елемента, мм | Вузлів, тис | Елементів, тис | Напруження, МПа |     | Різниця, % | Переміщення, мм | Різниця, % | Відносний час розрахунку |
|---------------------|-------------|----------------|-----------------|-----|------------|-----------------|------------|--------------------------|
|                     |             |                | HS              | GS  |            |                 |            |                          |
| 44                  | 0,9         | 3,2            | 863             | 781 |            | 3,51            |            | 0,7                      |
| 22                  | 4           | 17             | 1117            | 798 | 2          | 3,67            | 4,3        | 1                        |
| 11                  | 20          | 98             | 1437            | 797 | 0,1        | 3,69            | 0,5        | 5,88                     |
| 0,5                 | 106         | 540            | 1843            | 802 | 0,6        | 3,69            | 0          | 255,2                    |

Як видно з таблиці, розмірність елемента 2 мм цілком задовольняє вимогам до якості сітки - більш висока швидкість проведення розрахунку спільно з незначними відмінностями від сітки з розміром елемента 1 мм. Для наочності швидкості розрахунку за одиницю прийнятий розрахунок з розміром СЕ сітки в 2 мм, і в графі відносний час розрахунку наводяться значення у скільки разів інші розрахунки перевищують одиничний. Ці значення актуальні для конфігурації ПК Intel i3 2.5ГГц та 4 Гб оперативної пам'яті.

З таблиці 2 видно, що реальні максимальні напруження в конструкції складають  $\sim 800$  МПа і не змінюються з подрібненням СЕ сітки. На рис. 7 наведено графік розподілу напружень. На ньому чорним кольором зображено об'єм, який займають концентратори. Більш розгорнуто питання концентраторів напружень буде розглянуте у подальших роботах.

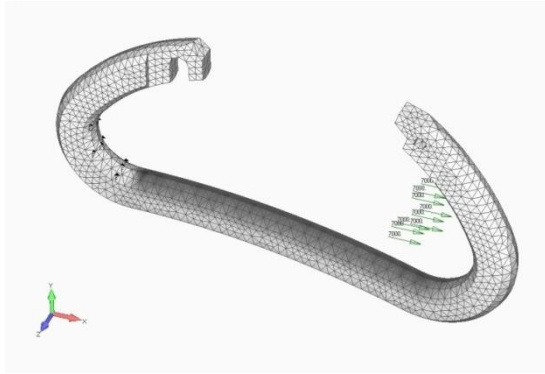


Рис. 6 – Напруження по Мізесу

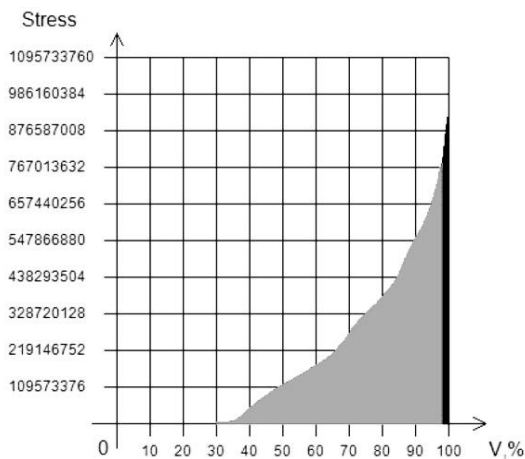


Рис. 7 – Розподіл напружень

У табл. 3 та 4 наведено порівняння отриманих напружень в концентраторі, 1117 МПа, та без його врахування, 800 МПа, (HS та GS відповідно) з  $\sigma_t$  та  $\sigma_b$ .

Таблиця 3 – Порівняння напружень з  $\sigma_t$ 

| Матеріал  | $\sigma_t$ , МПа | Запас $\sigma_t$ |           | $\sigma_t$ зміцнення, МПа | Запас $\sigma_t$ зміцнення |           |
|-----------|------------------|------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|-----------|
|           |                  | HS               | GS        |                           | HS                         | GS        |
| Ст3       | 185-250          | 0,16-0,22        | 0,23-0,31 | 250-350                   | 0,22-0,31                  | 0,23-0,43 |
| Ст45      | 245-395          | 0,22-0,35        | 0,3-0,49  | 410-830                   | 0,37-0,74                  | 0,51-1,03 |
| 30Г2      | 375              | 0,33             | 0,46      | 375                       | 0,34                       | 0,46      |
| 30ХГСН2А  | 1375             | 1,23             | 1,71      | 1500                      | 1,34                       | 1,87      |
| 30ХНЗМ2ФА | 750              | 0,67             | 0,93      | 750                       | 0,67                       | 0,93      |
| 50ХГ      | 1177             | 1,05             | 1,47      | 1177                      | 1,05                       | 1,47      |
| Ст85      | 980              | 0,88             | 1,22      | 1650                      | 1,48                       | 2,06      |

За наведеними в таблицях 3 і 4 коефіцієнтами запасу щодо  $\sigma_t$  і  $\sigma_b$  можна зробити висновки, що сталі з коефіцієнтом запасу менше 1 щодо  $\sigma_b$  незастосовні для даного типу конструкцій. Марки сталей, в яких коефіцієнт запасу щодо  $\sigma_t$  менше 1, при цьому максимальні напруження не перевищують  $\sigma_b$ , можуть застосовуватися. Але в такому випадку, при піковому навантаженні виріб стане непридатним для подальшого використання через залишкові пластичні деформації. Так як розглядається лінійна задача без урахування пластичної поведінки матеріалу, то матеріали, які в даній постановці визнані непридатними, можливо можуть використовуватися

після уточнюючих розрахунків та додаткових досліджень.

Таблиця 4 – Порівняння напружень з  $\sigma_b$ 

| Матеріал  | $\sigma_b$ , МПа | Запас $\sigma_b$ |           | $\sigma_b$ зміцнення, МПа | Запас $\sigma_b$ зміцнення |           |
|-----------|------------------|------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|-----------|
|           |                  | HS               | GS        |                           | HS                         | GS        |
| Ст3       | 380-490          | 0,34-0,44        | 0,47-0,61 | 380-490                   | 0,34-0,44                  | 0,47-0,61 |
| Ст45      | 470-690          | 0,42-0,62        | 0,58-0,86 | 610-980                   | 0,55-0,88                  | 0,76-1,23 |
| 30Г2      | 590              | 0,53             | 0,73      | 590                       | 0,53                       | 0,74      |
| 30ХГСН2А  | 1620             | 1,45             | 2,02      | 1900                      | 1,7                        | 2,38      |
| 30ХНЗМ2ФА | 900              | 0,81             | 1,13      | 900                       | 0,81                       | 1,13      |
| 50ХГ      | 1275             | 1,14             | 1,59      | 1275                      | 1,14                       | 1,59      |
| Ст85      | 1130             | 1,01             | 1,41      | 1750                      | 1,57                       | 2,19      |

**Висновки.** Таким чином, відповідно до державних і міжнародних стандартів були розроблені геометричні та розрахункові моделі найбільш поширених типів карабінів, що дозволяє в подальшому перейти до дослідження залежності напружено-деформівного стану і міцності від геометричних і механічних параметрів. Це дозволить здійснити задачу синтезу раціональних діапазонів для характеристик карабінів. З метою автоматизації проведення задачі аналізу і синтезу необхідно розробити методику таких досліджень і створити програмні розроблення, які спростять рішення зазначених задач за рахунок автоматизації процесу проектного пошуку, з урахуванням необхідних критеріїв. На основі однієї з моделей були підібрані параметри розрахункової сітки і показана принципова можливість проведення розрахунків міцності. Шляхом варіювання розмірності сітки, був знайдений раціональний розмір, який становить 2 мм. При цьому максимальні напруження становили 1117 МПа у зоні концентратора напружень, та 800 МПа без його врахування, максимальні переміщення склали – 3,67 мм, а маса – 112,76 г. Отримані результати порівняні з декількома марками сталей і зроблені висновки щодо застосовності тих чи інших марок в даному типі конструкцій. Так само зазначено, що для частини сталей необхідні додаткові розрахунки і дослідження.

Якщо карабіни, індивідуальне спорядження і розроблювані конструкції використовуються не тільки в цивільних цілях, але і як частина військового спорядження, може знадобитися рішення задачі аналізу та синтезу в більш точній постановці, за рахунок більш високих вимог до спорядження і його використання. Для більш точного рішення задачі аналізу та синтезу параметрів досліджуваних об'єктів (в даному випадку карабінів), після пошуку первинних зон для допустимих параметрів, слід проводити повторні дослідження, в уточненій постановці: карабін моделювати як складальний об'єкт з урахуванням всіх наявних деталей і контактів між ними, використовувати моделі матеріалів з урахуванням їх нелінійного поведіння, проводити розрахунки на багаточислову і динамічну міцність. Зазначені питання є напрямком для подальших робіт.

Список літератури

References (transliterated)

- 1 Васильев А. Ю. К вопросу исследования надежности индивидуального снаряжения / А. Ю. Васильев, Ю. К. Васильев // Вестник НТУ «ХПИ». Вып. 53 : Машиноведение и САПР. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. – С. 35-39.
- 2 Бондаренко О. В. Проектування засобів організації штучних точок страхівки та опори для альпінізму / О. В. Бондаренко // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПИ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Машинознавство та САПР. – Харків : НТУ «ХПИ». – 2015. – № 31 (1140). – С. 20-28.
- 3 Bright C. M. A History of Rock Climbing Gear Technology and Standards : дис. – 2014.
- 4 О. Кондратьев, О. Добров. Техника промышленного альпинизма. – Новосибирск, Сибирское соглашение, 2000г. – 118 с.
- 5 Кузнецов В.С. Учебное пособие по изучению и использованию методов выполнения высотно-верхолазных работ с применением специальной оснастки и страховочных систем. – Симферополь: Таврия, 2004г. – 235 с.
- 6 Аркин Я. Г. Промышленный альпинизм. Методическое пособие. УМЦ. Эльбрус. При Управлении альпинизма ВСДФСО Профсоюзов. Москва. 1990 г.
- 7 И.И. Антонович Альпинизм: Пособие.– Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981г. – 344 с.
- 8 ASTM F2291 (2004): Standard Practice for Design of Amusement Rides and Devices
- 9 ISO 17842-1:2015: Safety of amusement rides and amusement devices
- 10 BS EN 12275:2013 Mountaineering equipment. Connectors. Safety requirements and test methods
- 11 Сертификация снаряжения. Стандарты. – <http://krok.biz/info/docs/gosty>
- 12 ТУ 62-4239-78 Зажимы альпинистские.
- 13 ТУ 62-7791-82 Устройства для спуска по веревке.
- 14 ТУ 62-01-00-9401-90 Карабины альпинистские.
- 15 ДСТУ EN 362–2001 Індивідуальне спорядження для захисту від падіння з висоти. З'єднувачі.
- 16 ГОСТ 7041-71\* Карабин пожарный.
- 17 Технічний регламент засобів індивідуального захисту. – від 27.08.2008
- 18 Средства защиты от падения с высоты, Vento. – 2012г. – 7с.
- 19 Каталог компании Petzl. – 2005г. – 290 с.
- 20 Разновидности карабинов – <http://goo.gl/AWLGR>.
- 21 M. Walk, “Strain/displacement of a carabiner via interferometry,” *Laser Interferometry X*, 4101, 409–417 (2000).
- 22 K. B. Blair, D. Custer, J. M. Graham, et al., “Analysis of fatigue failure in D-shaped carabiners,” *Sports Eng.*, 8, 107–113 (2005).
- 23 Aliha M. R. M., Bahmani A., Akhondi S. Fracture and Fatigue Analysis for a Cracked Carabiner Using 3D Finite Element Simulations //Strength of Materials. – 2015. – Т. 47. – №. 6. – С. 890-902.
- 24 Okal M. Carabiner Testing //16.621 Final Report. – 2001. – С. 8-10.
- 25 Scott V. Design of a composite carabiner for rock climbing. – 2008.
- 26 Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем// Механіка та машинобудування. – 2002г. – №1, С.6-13.
- 27 Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975г. – 541 с.
- 28 А. О. Шимановский, А. В. Путято. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики. – Гомель 2008г. – 64 с.
- 29 Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0 Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. – К.: НТУУ «КПИ», 2011г. – 317с.
- 1 Vasil'yev A. Y. K voprosu issledovaniya nadezhnosti individual'nogo snaryazheniya / A. Y. Vasil'yev, Y. K. Vasil'yev // Vestnik NTU "KHP". Vyp. 53 : Mashinovedeniye i SAPR. – Khar'kov : NTU "KHP", 2005. – P. 35-39.
- 2 Bondarenko O. V. Proyektuvannya zasobiv organizatsii shtuchnikh tochok strakhovki ta opori dlya al'pinizmu / O. V. Bondarenko // Visnik Nats. tekhn. un-tu "KHP" : zb. nauk. pr. Temat. vip. : Mashinoznavstvo ta SAPR. – Kharkiv : NTU "KHP". – 2015. – No 31 (1140). – P. 20-28.
- 3 Bright C. M. A History of Rock Climbing Gear Technology and Standards : дис. – 2014.
- 4 O. Kondrat'yev, O. Dobrov. Tekhnika promyshlennogo al'pinizma. – Novosibirsk, Sibirskoye soglasheniye, 2000. – 118 p
- 5 Kuznetsov V.S. Uchebnoye posobiye po izucheniyu i ispol'zovaniyu metodov vypolneniya vysotno-verkholaznykh rabot s primeneniyem spetsial'noy osnastki i strakhovochnykh sistem. – Simferopol': Tavriya, 2004. – 235 p.
- 6 Arkin Y. G. Promyshlennyy al'pinizm. Metodicheskoye posobiye. UMTS. El'brus. Pri Upravlenii al'pinizma VSDFSO Profsoyuzov. Moscow. 1990
- 7 I.I. Antonovich Al'pinizm: Posobiye.– Kiev: Vishcha shkola. Golovnoye izd-vo, 1981. – 344 p.
- 8 ASTM F2291 (2004): Standard Practice for Design of Amusement Rides and Devices
- 9 ISO 17842-1:2015: Safety of amusement rides and amusement devices
- 10 BS EN 12275:2013 Mountaineering equipment. Connectors. Safety requirements and test methods
- 11 Certification of equipment. Standards. – <http://krok.biz/info/docs/gosty>
- 12 TU 62-4239-78 Zazhimy al'pinistskiye.
- 13 TU 62-7791-82 Ustroystva dlya spuska po verevke.
- 14 TU 62-01-00-9401-90 Karabiny al'pinistskiye.
- 15 DSTU EN 362–2001 Individual'ne sporyadzhennya dlya zakhistu vid padinnya z visoti. Z'ednuvachi.
- 16 GOST 7041-71\* Karabin pozharный.
- 17 Technical Regulations means Individual protection. - On 27.08.2008
- 18 Sredstva zashchyty ot padenyya s vysoty, Vento. – 2012. – 7 p.
- 19 Catalog Company Petzl. - 2005. – 290 p.
- 20 Varieties carabines - <http://goo.gl/AWLGR>.
- 21 M. Walk, “Strain/displacement of a carabiner via interferometry,” *Laser Interferometry X*, 4101, 409–417 (2000).
- 22 K. B. Blair, D. Custer, J. M. Graham, et al., “Analysis of fatigue failure in D-shaped carabiners,” *Sports Eng.*, 8, 107–113 (2005).
- 23 Aliha M. R. M., Bahmani A., Akhondi S. Fracture and Fatigue Analysis for a Cracked Carabiner Using 3D Finite Element Simulations //Strength of Materials. – 2015. – Т. 47. – No 6. – P. 890-902.
- 24 Okal M. Carabiner Testing //16.621 Final Report. – 2001. – p. 8-10.
- 25 Scott V. Design of a composite carabiner for rock climbing. – 2008.
- 26 Gritsenko G.D., Malakey A.N., Mirgorodskiy Y.JA., Tkachuk A.V., Tkachuk N.A. Integrirovannyye metody issledovaniya prochnostnykh, zhestkostnykh i dinamicheskikh kharakteristik elementov slozhnykh mekhanicheskikh sistem// Mekanika ta mashinobuduvannya. – 2002. – No 1, p.6-13/
- 27 Zenkevich O.K. Metod konechnykh elementov v tekhnike. – Moscow: Mir, 1975 – 541 p.
- 28 A. O. Shimanovskiy, A. V. Putyato. Primeneniye metoda konechnykh elementov v reshenii zadach prikladnoy mekhaniki. – Gornel' 2008. – 64 p.
- 29 Rudakov K.N. FEMAP 10.2.0 Geometricheskoye i konechno-elementnoye modelirovaniye konstruksiy. – Kharkov.: NTU «KPI», 2011. – 317p.

Надійшла (received) 31.01.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження міцності індивідуального спорядження шляхом комп'ютерного моделювання НДС, на прикладі карабінів / С. В. Куценко, А.Ю. Васильєв, Д.С. Мухін, Ю.К. Васильєв // Вісник НТУ «ХПИ», – Харків: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 5 (1227). – С. 135-140. – Бібліогр.: 29 назв. – ISSN 2079-0066.

**Исследование прочности индивидуального снаряжения путем компьютерного моделирования НДС на примере карабинов / С. В. Куценко, А. Ю. Васильев, Д.С. Мухин, Ю.К. Васильев // Вестник НТУ «ХПИ» – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 5 (1227). – С. 135-140. – Библиогр.: 29 назв. – ISSN 2079 0066.**

**Strength investigation of individual equipment based on example of carbines stress state computer simulation./ S. V. Kutsenko, A. Y. Vasiliev, D. M. Mukhin, Y. K. Vasiliev// Bulletin of NTU "KhPI". – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, No 5 (1227), P. 135–140. – Bibliogr.: 29. – ISSN 2079 0066.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Куценко Сергій Володимирович** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", викладач-стажист кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; м. Харків, Україна; e-mail: skutsenko@tmm-sapr.org.

**Куценко Сергей Владимирович** – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", преподаватель-стажер кафедры "Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин"; г. Харьков, Украина; e-mail: skutsenko@tmm-sapr.org.

**Kutsenko Serhii Vladimirovych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", teacher-trainee at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, Kharkiv; e-mail: skutsenko@tmm-sapr.org

**Васильев Антон Юрійович** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", Харків; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

**Васильев Антон Юрьевич** – кандидат технических наук, – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», докторант кафедры "Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин", Харьков; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

**Vasiliev Anton Yrievych** – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", doctorante at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, Kharkiv; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

**Мухін Дмитро Сергійович** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", аспірант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; м. Харків, Україна; e-mail: s814@tmm-sapr.org

**Мухин Дмитрий Сергеевич** – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", аспирант кафедры "Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин"; г. Харьков, Украина; e-mail: s814@tmm-sapr.org

**Mukhin Dmitriy Sergeevych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, Kharkiv; e-mail: s814@tmm-sapr.org

**Васильев Юрій Константинович** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший викладач; м. Харків, Україна;

**Васильев Юрий Константинович** – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", старший преподаватель; г. Харьков, Украина;

**Vasiliev Yuriy Konstantinovich** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", senior Lecturer, Kharkiv;