

Л.Ф. Дзюба¹, Х.І. Ліщинська², А.С. Сомик²

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,

²Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

ОЦІНКА МІЦНОСТІ СТЕРЖНЕВИХ ОПОР ПОХИЛОГО РЯТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

Потреба у спеціальних рятувальних пристроях виникає під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Такі ситуації пов'язані з вивільненням людей чи тварин з глибоких вузьких отворів або ж навіть з-під завалів споруд. За допомогою рятувальних пристроїв можливим є підняття вантажу на певну висоту, якщо інші шляхи доставки відсутні. Основними конструктивними елементами рятувальних пристроїв є три стержні-опори. Верхні кінці стержнів з'єднані у кріпильному вузлі. Часто рятувальний пристрій обладнано лебідкою. Лебідка може кріпитися до однієї зі стержневих опор або мати окреме розташування.

Рятувальні пристрої відрізняються видом стержневої конструкції (пряма чи похила), вантажністю, матеріалом для виготовлення стержнів, видом з'єднання стержнів конструкції між собою, можливістю застосування на похилих схилах з розташуванням опор у різних площинах, модифікаціями лебідок, компактністю під час транспортування. Рятувальних пристроїв є велике розмаїття, проте на ринку України пропонують переважно прямі стержневі рятувальні пристрої. Тому виникає потреба у створенні конструкції та перевірці міцності похилого стержневого рятувального пристрою, який можна було б застосовувати для проведення рятувальних робіт з мостів, будівель та інших споруд.

Метою роботи є оцінити міцність конструкції похилого стержневого рятувального пристрою. Розглянуто три випадки розміщення стержнів-опор. У першому випадку опори похилого рятувального пристрою розміщені в одній горизонтальній площині. Другий випадок – найдовша стержнева опора розміщена на певному виступі. Третій випадок – дві коротші стержневі опори розміщені на виступі. Для кожного з випадків встановлено вид деформації стержнів конструкції рятувального пристрою. Стержні конструкції працюють на розтяг або стиск та навантажені поздовжніми силами. З умови міцності на розтяг підібрано поперечний переріз сталевих стержнів.

Ключові слова: стержень, стержнева конструкція, поздовжня сила, розтяг, стиск, статичне напруження, міцність.

Dzyuba L.¹, Lishchynska Kh², Somyk A.²,

(¹Lviv State University of Life Safety,

²Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy)

VALUATION OF DURABILITY OF ROD PILLARS OF THE SLOPY RESCUING DEVICE

The need for special saving devices arises during emergency response. Such situations are connected with rescuing of people or animals from deep narrow holes or even from under blockages of constructions. By using the saving devices the cargo raising on a certain height is possible if other ways of delivery are absent. Main structural elements of saving devices are three rod pillars. Top ends of rods are connected in a mounting knot. Often the saving device is equipped with the winch. The winch could be fasten to one of the rod pillars or have individual placing.

Rescuing devices differ in a type of a rod design (straight or a slopy plane), loading capacity, rods production material, type of rods connection, a possibility of using on slopes with pillars location in the different planes, modifications of winches, compactness during transportation. There is a big variety of rescuing devices, however in the market of Ukraine offer mostly straight rod rescuing devices. Therefore there is a need for creation of design and durability checking of the slopy rod rescuing device which could be applied to carrying out rescue operations from bridges, buildings and other constructions.

In this work it is performed an estimation of durability of a design of the slopy rod rescuing device. It is considered three cases of the support pillars placement. The first case is when pillars of the slopy rescuing device are placed in one horizontal plane. The second case - the longest rod pillar is placed on a ledge. The third case - two shorter rod pillars are placed on a ledge. For each of these cases it is established a type of deformation of rods of the saving device. Construction

rods are stretching or compression during work are and loaded with longitudinal forces. From the stretching durability condition the cross section of steel rods is picked up.

Keywords: rod, rod construction, longitudinal force, stretching, compression, static tension, durability.

Постановка проблеми та аналіз літературних джерел. Під час ліквідації надзвичайних ситуацій може виникати необхідність у спеціальних рятувальних пристроях [1-4]. Це пов'язано з вивільненням людей чи тварин з глибоких вузьких отворів або ж навіть з-під завалів споруд. Також за допомогою рятувальних пристроїв можливе підняття вантажу на певну висоту в тому випадку, коли інші шляхи доставки вантажу відсутні. Основними конструктивними елементами таких рятувальних пристроїв є три стержні-опори, що шарнірно з'єднані верхніми кінцями у кріпильному вузлі. Для підняття вантажу рятувальний пристрій, зазвичай, обладнано лебідкою, яка кріпиться до однієї з опор. Також є конструкції пристроїв, у яких лебідка розміщена поруч, зокрема прикріплена до рами автомобіля. Три стержні в якості опор застосовують також в інших конструкціях [5]. Тому забезпечення міцності стержневих конструкцій є актуальною проблемою.

Рятувальні пристрої відрізняються видом стержневої конструкції (пряма чи похила), вантажністю, матеріалом, з якого виготовлені стержні-опори пристроїв, видами з'єднань елементів конструкції між собою, можливістю застосування на похилих схилах з розташуванням опор у різних площинах, модифікаціями лебідок, компактністю під час транспортування. Рятувальних пристроїв є велике розмаїття [1-3] (рис. 1), проте на ринку України пропонують переважно прямі стержневі рятувальні пристрої [4]. Похилі стержневі рятувальні пристрої є доцільними для проведення спеціальних робіт з мостів, схилів, багатопверхової забудови тощо.



а)



б)

Рисунок 1 – Загальний вигляд рятувальних пристроїв: а) триніога рятувальна «KROK-1» пряма; б) рятувальний пристрій «Гриніг»

Фахівцями Львівського державного університету безпеки життєдіяльності був розроблений рятувальний пристрій «Гриніг», який значно дешевший за закордонні аналоги та достатньо практичний (рис. 1 б). Статична міцність елементів конструкції пристрою була оцінена у роботі [6] у випадку, коли нижні кінці стержнів-опор пристрою розміщено в одній горизонтальній площині, та у роботі [7] у випадку, коли нижні кінці стержнів-опор пристрою розміщено у різних площинах. Однак стержнева конструкція пристрою – також пряма. Тому виникає потреба у створенні конструкції та перевірці міцності похилого стержневого рятувального пристрою, який можна було б застосовувати для проведення рятувальних робіт з мостів, будівель та інших споруд.

Мета роботи. Перевірка міцності елементів конструкції похилого рятувального пристрою у разі розміщення стержнів-опор пристрою в одній або різних площинах.

Виклад основного матеріалу. Розрахункову схему похилого рятувального пристрою показано на рис. 2. Сталеві опори 1, 2, 3 виконано з стержневих елементів, що мають поперечний переріз у вигляді квадратного короба зі стороною a мм і товщиною стінки δ мм. На опорі 1 за допомогою болтового з'єднання на відстані l_2 від верхнього кріпильного вузла 6 розмістимо лебідку 4. Від лебідки через блок, закріплений у вузлі B , який в розрахунковій схемі замінено шарніром, протягнуто рятувальний канат 5. Розрахункова схема має такі геометричні параметри: довжина опори 1 пристрою $AB = 3$ м, опори 2 та 3 мають однакову довжину – $BC = BD = 2,2$ м. Опорна площа є рівностороннім трикутником ΔADC , площа якого

$S = 1,277 \text{ м}^2$. Відстань між опорами пристрою на опорній площині дорівнює $c = 1,72 \text{ м}$. Висота пристрою від площини основи становить $BO = 1,8 \text{ м}$.

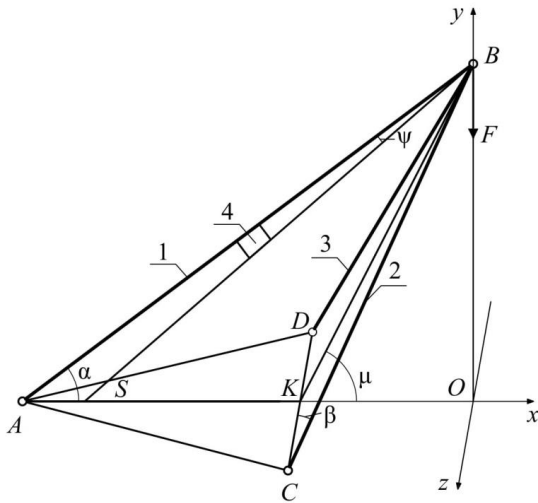


Рисунок 2 – Розрахункова схема похилого рятувального пристрою

З $\triangle ADC$ $AK = 1,48 \text{ м}$, з $\triangle ABO$
 $AO = \sqrt{AB^2 - BO^2} = 2,4 \text{ м}$,
 $KO = AO - AK = 0,92 \text{ м}$. Значення обчислених за геометричними розмірами кутів дорівнюють:
 $\alpha = \angle BAO = 36,87^\circ$, $\alpha' = \angle ABO = 90 - \alpha = 53,13^\circ$,
 $\beta = \angle KCB = 66,95^\circ$, $\beta' = \angle KBC = 90 - \beta = 23,05^\circ$,
 $\mu = \angle BKO = 62,93^\circ$, $\mu' = \angle KBO = 90 - \mu = 27,07^\circ$.

На опори пристрою під час піднімання вантажу діє сила F , що спрямована вертикально, та така ж за величиною сила, яка спрямована вздовж канату лебідки. Остання нахилена до вертикальної осі y під кутом $(\alpha' - \psi)$ (рис. 2). Від дії цих сил в опорі 1 виникає поздовжня сила N_1 , а в опорах 2 та 3 пристрою – однакові поздовжні сили $N_2 = N_3$. Для визначення цих поздовжніх сил складемо рівняння рівноваги:

$$\begin{cases} -N_1 \cdot \cos \alpha' - 2N_2 \cdot \cos \beta' \cdot \cos \mu' - F = \\ -F \cdot \cos(\alpha' - \psi) = 0; \\ -N_1 \cdot \cos \alpha' \cdot AO - 2N_2 \cdot \cos \beta' \cdot \cos \mu' \cdot KO - \\ -F \cdot SO \cdot \cos(90 - (\alpha' - \psi)) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Значення величин SO , ψ знаходимо, розглянувши $\triangle ABO$ (рис. 3). На цьому рисунку кут $\angle HBV = \psi$. Для визначення відстані SO з рис. 3 маємо:

$$BV = \sqrt{l_2^2 + h_F^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,16^2} = 1,51 \text{ м},$$

$$\cos \psi = \frac{l_2}{BV} = 0,993 \text{ і } \psi = 6,78^\circ,$$

де h_F – відстань від центра перерізу опори 1 до лінії дії сили F .

$$\text{Як видно з рис. 3: } \operatorname{tg}(\alpha' - \psi) = \frac{SO}{BO} \text{ і}$$

$$SO = 1,8 \cdot \operatorname{tg}(53,13 - 6,78) = 1,887 \text{ м}.$$

Після підстановки в систему (1) отриманих величин, вона набуває вигляду

$$\begin{cases} -0,6N_1 - 1,6388N_2 = 1,6903F; \\ -1,44N_1 - 1,5077N_2 = 1,3653F. \end{cases} \quad (2)$$

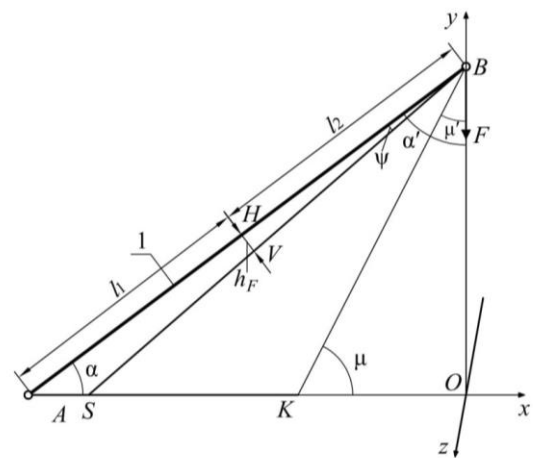


Рисунок 3 – Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів у разі розміщення нижніх кінців опор в одній горизонтальній площині

З системи (2) визначаємо:

$$N_1 = -1,109F, \quad N_2 = N_3 = 0,214F.$$

Поздовжні сили в стержнях-опорах пристрою мають різні знаки, а це означає, що стержень-опора 1 працюватиме на розтяг, а стержні-опори 2 та 3 працюватимуть на стиск. З отриманих значень видно, що найбільша поздовжня сила виникає в стержні-опорі 1. Числові значення для цієї поздовжньої сили а також для сил $N_2 = N_3$ визначено для двох значень сили F та наведено в табл. 1.

Трапляються випадки, коли виникає необхідність розмістити рятувальний пристрій таким чином, що стержень-опора 1 пристрою має бути встановлений на певному виступі. Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів у разі розміщення опори 1 на відстані h_n від горизонтальної площини показана на рис. 4.

Нехай опора 1 розміщена на відстані $h_n = 0,1 \text{ м}$ від горизонтальної площини. З рис. 4 знайдемо значення кута між горизонтальною площиною та

площиною, утвореною нижніми кінцями опор пристрою

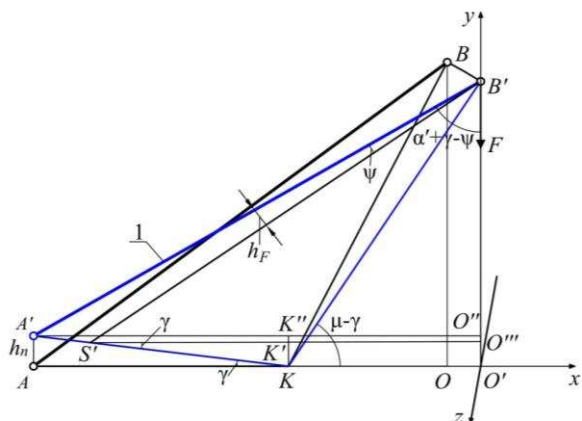


Рисунок 4 – Розрахункова схема для визначення геометричних параметрів у разі розміщення опори 1 на відстані h_n від горизонтальної площини

$$\gamma = \arctg \frac{h_n}{AK} = 3,86^\circ.$$

Сила, яка спрямована вздовж канату лебідки, нахилена до вертикальної осі у під кутом $(\alpha' + \gamma - \psi)$ (рис. 4). Внаслідок дії цієї сили та такої ж за величиною вертикальної сили в опорі 1 пристрою виникає поздовжня сила N_1' , а в опорах 2 та 3 – однакові поздовжні сили $N_2' = N_3'$.

Для визначення цих поздовжніх сил складемо рівняння рівноваги

$$\begin{cases} -N_1' \cdot \cos(\alpha' + \gamma) - 2N_2' \cdot \cos\beta' \cdot \cos(\mu' + \gamma) - F - \\ -F \cdot \cos(\alpha' + \gamma - \psi) = 0; \\ -N_1' \cdot \cos(\alpha' + \gamma) \cdot A'O'' - 2N_2' \cdot \cos\beta' \cdot \cos(\mu' + \gamma) \cdot KO' - \\ -F \cdot S'O''' \cdot \cos(90^\circ - (\alpha' + \gamma - \psi)) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

У співвідношеннях (3) невідомими є довжини відрізків $A'O''$, KO' і $S'O'''$. Ці відрізки знаходимо з рис. 4. В $\Delta B'KO'$ сторона $KO' = \sin(90 - (\mu - \gamma)) \cdot KB' = 1,038$ м. Тоді $A'O'' = AO' = AK + KO' = 2,518$ м. З $\Delta S'BK$ визначаємо $S'K = 0,97$ м і тоді з $\Delta S'KK'$ маємо $S'K' = 0,968$ м. Тоді $S'O''' = S'K' + K'O''' = 0,968 + 1,038 = 2,006$ м.

Після підстановки в систему (3) отриманих величин вона набуває вигляду:

$$\begin{cases} -0,5448N_1' - 1,5787N_2' = 1,64F; \\ -1,3718N_1' - 1,6386N_2' = 1,5414F. \end{cases} \quad (4)$$

Звідси:

$$N_1' = -1,108F, \quad N_2' = N_3' = 0,199F.$$

Числові значення для поздовжніх сил N_1' та

$N_2' = N_3'$, що виникають в опорах пристрою за такого варіанта їх розміщення, визначено для двох значень сили F та наведено в табл. 1.

Поздовжні сили в стержнях-опорах рятувального пристрою у разі розміщення двох коротших опор на виступі висотою h_n визначимо з рис. 5. Нехай опори 2 та 3 розміщена на відстані $h_n = 0,1$ м від горизонтальної площини. Кут між горизонтальною площиною та площиною, утвореною нижніми кінцями опор пристрою, дорівнює $\gamma = 3,86^\circ$.

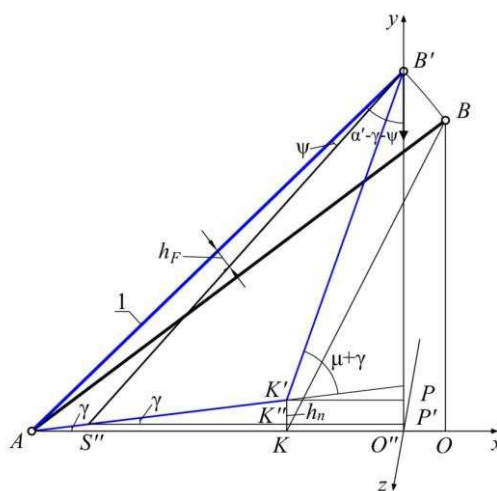


Рисунок 5 – Схема для розрахунку кутів та довжин відрізків при розміщенні однієї ноги опори на виступі висотою h_n

Сила, яка спрямована вздовж канату лебідки, нахилена до вертикальної осі у під кутом $(\alpha' - \gamma - \psi)$ (рис. 5). Внаслідок дії цієї сили та такої ж за величиною вертикальної сили в опорі 1 пристрою виникає поздовжня сила N_1'' , а в опорах 2 та 3 – однакові поздовжні сили $N_2'' = N_3''$.

Для визначення цих поздовжніх сил запишемо рівняння рівноваги

$$\begin{cases} -N_1'' \cdot \cos(\alpha' - \gamma) - 2N_2'' \cdot \cos\beta' \cdot \cos(\mu' - \gamma) - F - \\ -F \cdot \cos(\alpha' - \gamma - \psi) = 0; \\ -N_1'' \cdot \cos(\alpha' - \gamma) \cdot AO'' - 2N_2'' \cdot \cos\beta' \cdot \cos(\mu' - \gamma) \cdot K'P - \\ -F \cdot S''P' \cdot \cos(90^\circ - (\alpha' - \gamma - \psi)) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

У співвідношеннях (5) невідомими є довжини відрізків AO'' , $K'P$ і $S''P'$. Ці відрізки знаходимо з рис. 5. В $\Delta K'B'P'$ сторона

$K'P = \sin(90 - (\mu + \gamma)) \cdot K'B' = 0,796$ м. Тоді
 $AO'' = AK + KO'' = 1,48 + 0,796 = 2,276$ м. З
 $\Delta S''B'K'$ знаходимо $S''K' = 0,97$ м і тоді з
 $\Delta S''K'K''$ маємо $S''K'' = 0,968$ м. Тоді
 $S''P' = S''K'' + K''P' = 0,968 + 0,796 = 1,764$ м. Після
підстановки в систему (5) цих величин маємо:

$$\begin{cases} -0,6525N_1'' - 1,6915N_2'' = 1,7374F; \\ -1,4459N_1'' - 1,3464N_2'' = 1,1915F. \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язок системи (6) матиме вигляд

$$N_1'' = -1,107F, \quad N_2'' = N_3'' = 0,207F.$$

Числові значення для поздовжніх сил N_1'' та $N_2'' = N_3''$, що виникають в опорах пристрою за такого варіанта їх розміщення, визначені для двох значень сили F та наведено в табл. 1. З отриманих значень видно, що, як і в попередніх випадках, найбільша поздовжня сила виникає в стержні-опорі 1.

Як було вказано раніше, для опори пристрою запропоновано сталеві стержні, що мають

$$A \geq \frac{N_{i\max}}{[\sigma]}.$$

Максимальна поздовжня сила виникла в 1 опорі у разі розміщення нижніх кінців усіх опор в одній горизонтальній площині. Її величина становить $N_1 = 1,109F$. Розглянемо два варіанти навантаження пристрою, а саме $F = 5,0$ кН та $F = 8,0$ кН. При максимальному навантаженні матимемо $N_1 = 8,87$ кН. Тоді

$$A \geq \frac{8,87}{16} = 0,56 \text{ см}^2.$$

Приймаємо для виготовлення стержнів-опор пристрою сталевий квадратний профіль з розмірами поперечного перерізу 30×30 мм і товщиною стінки $\delta = 4$ мм, для якої площа поперечного перерізу становить $A = 3 \cdot 3 - 2,6 \cdot 2,6 = 2,24 \text{ см}^2$.

Напруження стиску, які виникнуть в опорах пристрою, обчислено за формулою

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A}.$$

Результати обчислень зведено у табл. 1.

Таблиця 1

Поздовжні сили та статичні напруження в опорах похилого рятувального пристрою

№ з/п	Навантаження пристрою	Схема навантаження пристрою					
		Рис. 3		Рис. 4		Рис. 5	
		N , кН	σ , МПа	N , кН	σ , МПа	N , кН	σ , МПа
1.	$F = 5,0$ кН	$N_1 = 5,55$	$\sigma_1 = 24,75$	$N_1 = 5,54$	$\sigma_1 = 24,73$	$N_1 = 5,53$	$\sigma_1 = 24,71$
		$N_2 = N_3 = 1,07$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 4,78$	$N_2 = N_3 = 1,00$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 4,44$	$N_2 = N_3 = 1,04$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 4,62$
2.	$F = 8,0$ кН	$N_1 = 8,87$	$\sigma_1 = 39,61$	$N_1 = 8,86$	$\sigma_1 = 39,57$	$N_1 = 8,85$	$\sigma_1 = 39,54$
		$N_2 = N_3 = 1,71$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 7,64$	$N_2 = N_3 = 1,59$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 7,11$	$N_2 = N_3 = 1,66$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 7,39$

поперечний переріз у вигляді квадратного короба. Допустиме нормальне напруження для сталі у разі розтягу або стиску становить $[\sigma] = 160$ МПа. Підберемо розміри поперечного перерізу опор пристрою, виходячи з умови міцності [8, 9]:

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A} \leq [\sigma].$$

де A – площа поперечного перерізу опори. Тоді $A \geq \frac{N_i}{[\sigma]}$, де N_i – поздовжня сила у i -му стержні-опорі ($i = 1, 2, 3$). Остаточоно:

Для обох випадків навантаження та трьох способів розміщення нижніх кінців опор рятувального пристрою значення напружень стиску в опорах є значно меншими за допустимі напруження. Умови міцності на розтяг і стиск у разі статичного навантаження рятувального пристрою виконуються.

Висновки

1. На підставі проведених розрахунків внутрішніх поздовжніх сил у стержнях-опорах рятувального пристрою у випадках їх розміщення у різних площинах визначено максимальні статичні напруження в опорах пристрою.

2. За проведеними дослідженнями статичної міцності встановлено, що використання цього пристрою на нерівному рельєфі при підніманні

вантажу силою до 8 кН є можливим, оскільки в ногах виникають напруження, менші від допустимих для сталі. Проведення робіт за умов незначних перепадів висот горизонтальної поверхні є можливим.

3. З умови міцності для виготовлення стержнів-опор пристрою підібрано сталевий квадратний профіль з відповідними розмірами поперечного перерізу з достатнім запасом міцності.

Список літератури:

1. MSA Workman Tripod. User instructions [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: 10103973 Workman Tripod Instruction Manual - EN.pdf.

2. Rescue tripods keep “falling over” [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: ITRS 2015-RopeLab-Tripods.pdf.

3. AZ VORTEX. User’s manual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: 727300_AZ_Vortex_Manual.pdf.

4. Електронний ресурс – Режим доступу до ресурсу: https://zaxid.net/u/lvovi_skonstruyuvani_noviy_ryatuvalniy_pristriy_trinig_foto_n10.

5. Domarski C. Design and strength calculations of the tripod support structure for offshore power plant [Elektronic recourse] / C. Domarski, D. Domarski, J. Zywicki. – Polish Maritime Research 1(85), 2015. – Vol. 22. – pp. 36-46. – Accessed mode: https://www.researchgate.net/publication/276512078_Design_and_Strength_Calculations_of_the_Tripod_Support_Structure_for_Offshore_Power_Plant.

6. Ольховий І.М. Дослідження міцності елементів рятувального пристрою «Триніг» / Ольховий І. М., Боднар Г. Й., Воробець Б. С., Лаш В. А. // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – Львів: ЛІПБ, 2009. №15. – С.118-124.

7. Ольховий І.М. Оцінка міцності опор рятувального пристрою при їх розміщенні на різних рівнях / Ольховий І.М., Дзюба Л. Ф., Меньшикова О.В., Гузаревич О.М. // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – Львів: ЛІПБ, 2012. - №20. – С. 124-131.

8. Гуліда Е. М. Прикладна механіка: Підручник / Е. М. Гуліда, Л. Ф. Дзюба, І. М. Ольховий – Львів: Світ, 2007. – 384 с.

9. Яцков А. Д. Методика расчёта монтажной и ремонтной оснастки / А. Д. Яцков, Н. Ю. Холодилин, О. А. Холодилина. – Тамбов: ТГТУ, 2008. 116 с.

References:

1. MSA Workman Tripod. User instructions [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: 10103973 Workman Tripod Instruction Manual - EN.pdf.

2. Rescue tripods keep “falling over” [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: ITRS 2015-RopeLab-Tripods.pdf.

3. AZ VORTEX. User’s manual [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: 727300_AZ_Vortex_Manual.pdf.

4. Elektronnyi resurs – Rezhym dostupu do resursu: https://zaxid.net/u/lvovi_skonstruyuvani_noviy_ryatuvalniy_pristriy_trinig_foto_n10.

5. C. Domarski, D. Domarski, & J. Zywicki (2015). Design and strength calculations of the tripod support structure for offshore power plant (Working Paper 1(85), Vol. 22). Polish Maritime Research. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/276512078_Design_and_Strength_Calculations_of_the_Tripod_Support_Structure_for_Offshore_Power_Plant.

6. Ol'khovyi I.M., Bodnar H.Y., Vorobets' B.S., & Lashch V. A. (2009). Research of durability of elements of the rescuing device “Tripod”. Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. pr. (Fire safety: Sci. collected works). – L’viv: LIPB, 15, 118-124 (in Ukr.).

7. Ol'khovyi I.M., Dzyuba L. F., Men'shykova O.V., & Huzarevych O.M. (2012). Valuation of durability of pillars of the rescuing device while locating them on different levels. Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. pr. (Fire safety: Sci. collected works). – L’viv: LIPB, 20, 124-131 (in Ukr.).

8. Hulida E. M., Dzyuba L. F., & Ol'khovyi I.M. (2007). Prykladna mekhanika: pidruchnyk [Applied mechanics: textbook]. – L’viv: Svit (in Ukr.).

9. Yatskov A.D., Kholodilin N.YU, & Kholodilina O.A. (2008). Metodika raschota montazhnoy i remontnoy osnastki [Methods of calculation of installation and repair equipment]. – Tambov: TGTU (in Rus.).