



**ШІСТЯ АННА МИКОЛАЇВНА**

учениця 10 класу  
комунального закладу  
«Центральноукраїнський науковий ліцей-інтернат  
Кіровоградської обласної ради».

# ШТУЧНА ЛЬОДОВА ПЕРЕПРАВА

## НАУКОВІ КЕРІВНИКИ:

**СІРІКОВ ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ**,  
доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту  
Центральноукраїнського національного технічного університету, кандидат технічних наук;

**ШЕРЕМЕТ ПАВЛО МИКОЛАЙОВИЧ**,  
заступник директора з наукової роботи комунального закладу «Центральноукраїнський  
науковий ліцей-інтернат Кіровоградської обласної ради», кандидат педагогічних наук.



# АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сьогодні, під час воєнного стану, питання переправи через водойми є надзвичайно важливим, адже мости є однією з головних цілей ворога. Через них переміщують озброєння, важку техніку, військових, гуманітарні грузи та тому подібне.

Ми вирішили, що звичайну льодову переправу можливо створити штучно на заміну понтонним мостам і цим зменшити кількість обладнання і техніки на його побудову та демонтаж. Сьогодні під час війни переправи користуються великим попитом, тому ідеї подібні нашій є і будуть корисними та потрібними зараз і в майбутньому.



## Воєнні дії.

[[https://defence-ua.com/army\\_and\\_war/kontseptsija\\_bagatodomennih\\_operatsij\\_armiji\\_j\\_morskoji\\_pihoti\\_ssha\\_v\\_teatri\\_vojennih\\_dij\\_v\\_indo\\_aziatsko\\_tihook\\_eanskomu\\_regioni-405.html](https://defence-ua.com/army_and_war/kontseptsija_bagatodomennih_operatsij_armiji_j_morskoji_pihoti_ssha_v_teatri_vojennih_dij_v_indo_aziatsko_tihook_eanskomu_regioni-405.html)]

### **МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ:**

полягає в підвищенні простоти та скритності створення переправ для подолання водних перешкод.

### **ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ:**

створення переправ для подолання водних перешкод.

### **ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ:**

концепція створення «штучної льодової переправи».

### **ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ:**

- 1 ➤ проаналізувати конструкції відомих переправ та способів їх побудови;
- 2 ➤ розробити концепцію штучної льодової переправи;
- 3 ➤ обґрунтувати можливість технічної реалізації штучної льодової переправи.

### **ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ**

полягає в розробці концепції створення переправ для подолання водних перешкод, шляхом заморожування води річки та ґрунту берегів, що дозволяє спрощувати створення переправ та підвищує їх скритність.

### **МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ:**

#### **ТЕОРЕТИЧНІ:**

- **аналізу та індукції** – при дослідженні конструкцій понтонних переправ;
- **синтезу** – для створення концепції «штучної льодової переправи»;
- **моделювання та абстрагування** – для визначення питомої кількості рідкого азоту для заморожування води.

#### **ЕМПІРИЧНІ:**

- **підрахунок** – для обчислення загальної кількості рідкого азоту для створення штучної льодової переправи.

# АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПЕРЕПРАВ

З післявоєнного періоду до початку 1980-х армія США, НАТО та інші союзники використовували три основні типи понтонних мостів/плотів:

- Міст М4;
- Міст М4Т6;
- Міст класу 60;
- Також пізніше і ПМП.

## Склад ПМП:

- Річкові ланки;
- Берегові ланки;
- Вистілки;
- Буксирні катери.



Вантажні автомобілі, з понтонами.

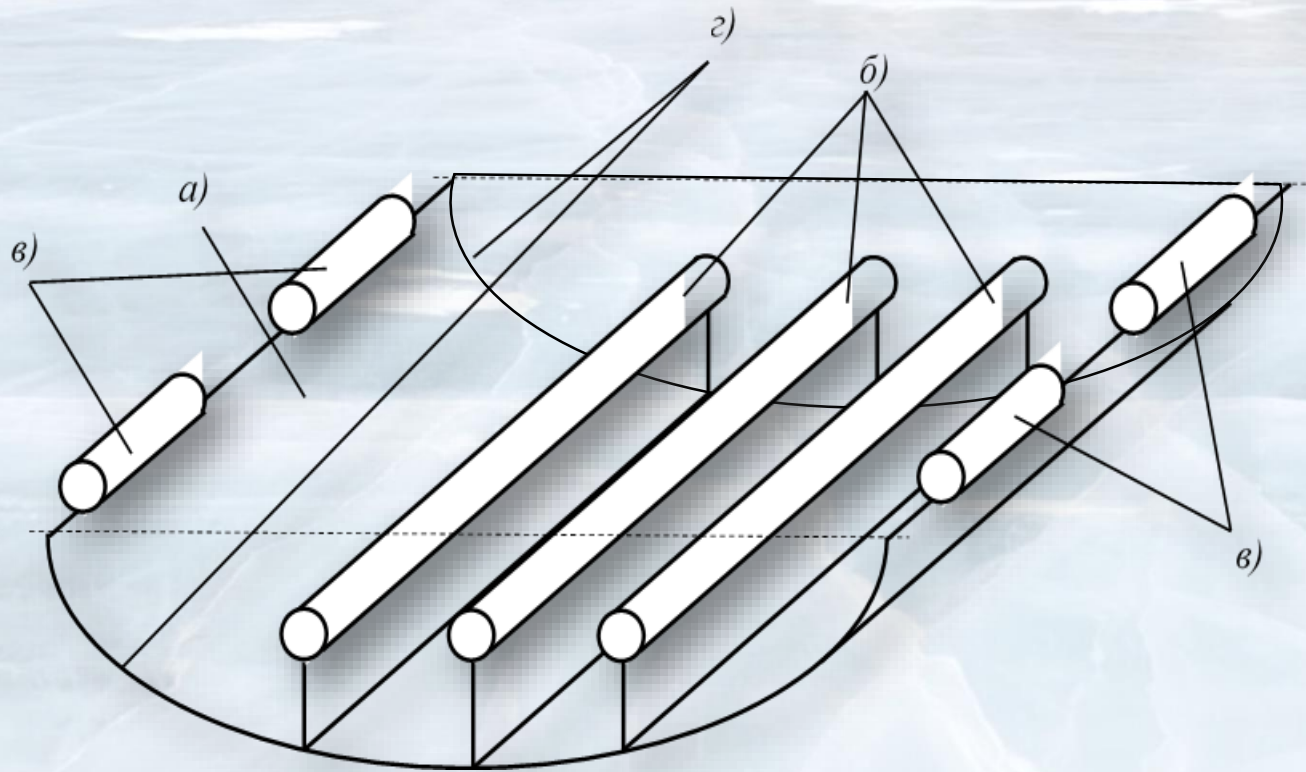
[[https://www.youtube.com/watch?v=EGF4qQGk\\_JM](https://www.youtube.com/watch?v=EGF4qQGk_JM)]



Встановлення понтонної переправи.

[<https://www.rbc.ua/ukr/news/rossiyane-vozveli-vremennuyu-perepravu-harkovskoy-1654528511.html>]

# БУДОВА «ШТУЧНОЇ ЛЬОВОЇ ПЕРЕПРАВИ»



## КОНСТРУКЦІЯ СКЛАДАЄТЬСЯ З НАСТУПНИХ ЕЛЕМЕНТІВ:

- а** - тканина або плівка (яка не дасть воді, що охолоджується змиватися течією і перемішуватися з водою річки);
- б** - трубки (по яким буде текти рідкий азот, а після випаровування буде проходити охолоджений газ);
- в** - поплавки (для утримання на поверхні води всієї конструкції, що не дадуть їй потонути);
- г** - ребра жорсткості (для підтримання форми жолоба);  
- деталі або матеріали для з'єднання.

Будова «штучної льової переправи» (розроблено автором)

# РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ЕНЕРГІЇ, ЯКУ ВИДІЛИТЬ ВОДА (ОБ'ЄМ 1 М3) ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ

## ТРИ ЕТАПИ ВИДІЛЕННЯ ЕНЕРГІЇ:

- ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ ДО ТЕМПЕРАТУРИ ЗАМЕРЗАННЯ:

$$Q_1 = c_{\text{води}} \cdot m_{\text{води}} \cdot (t_1 - 0)$$
$$Q_1 = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 1000 \text{ кг} \cdot (15^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 63000 \text{ кДж}$$

- КРИСТАЛІЗАЦІЯ ВОДИ – УТВОРЕННЯ ЛЬОДУ:

$$Q_2 = m_{\text{води}} \cdot \lambda_{\text{льоду}}$$
$$Q_2 = 1000 \text{ кг} \cdot 332 \text{ кДж}/\text{кг} = 332000 \text{ кДж}$$

- ОХОЛОДЖЕННЯ ЛЬОДУ:

$$Q_3 = c_{\text{льоду}} \cdot m_{\text{води}} (0 - t_2),$$
$$Q_3 = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 1000 \text{ кг} \cdot (0^\circ\text{C} - (-5)^\circ\text{C}) = 9660 \text{ кДж}$$

- ПОВНА ЕНЕРГІЯ:

$$Q_{\text{води}} = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$
$$Q_{\text{води}} = 63000 \text{ кДж} + 332000 \text{ кДж} + 9660 \text{ кДж} = 404660 \text{ кДж}$$

$c$  - питома теплоємність [кДж/(кг·°C)];  $t_1$  - початкова температура [°C];  
 $t_2$  - температура до якої потрібно охолодити [°C];  $Q$  - кількість теплоти [кДж]

# РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ЕНЕРГІЇ, ЯКУ ПОГЛИНЕ РІДКИЙ АЗОТ (МАСА 1 КГ)

КІЛЬКІСТЬ ЕНЕРГІЇ, ЯКУ РІДКИЙ АЗОТ ПОГЛИНАЄ ПРИ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ:

$$Q_n = c \cdot m \cdot (t_n - t_{n+1});$$

$$Q_1 = 75 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-210,5^\circ\text{C}) - (-185,5^\circ\text{C})) = -1875 \text{ кДж};$$

$$Q_2 = 100 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-185,5^\circ\text{C}) - (-160,5^\circ\text{C})) = -2500 \text{ кДж};$$

$$Q_3 = 125 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-160,5^\circ\text{C}) - (-135,5^\circ\text{C})) = -3125 \text{ кДж};$$

$$Q_4 = 150 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-135,5^\circ\text{C}) - (-110,5^\circ\text{C})) = -3750 \text{ кДж};$$

$$Q_5 = 175 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-110,5^\circ\text{C}) - (-85,5^\circ\text{C})) = -4375 \text{ кДж};$$

$$Q_6 = 200 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-85,5^\circ\text{C}) - (-60,5^\circ\text{C})) = -5000 \text{ кДж};$$

$$Q_7 = 225 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-60,5^\circ\text{C}) - (-35,5^\circ\text{C})) = -5625 \text{ кДж};$$

$$Q_8 = 250 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-35,5^\circ\text{C}) - (-12,5^\circ\text{C})) = -5750 \text{ кДж};$$

$$Q_9 = 275 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)} \cdot 1 \text{ кг} \cdot ((-12,5^\circ\text{C}) - (-5^\circ\text{C})) = -2062,5 \text{ кДж};$$

ПОВНА ЕНЕРГІЯ:

$$Q_\Sigma = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_8 + Q_9;$$

$$Q_\Sigma = (-1875) \text{ кДж} + (-2500) \text{ кДж} + (-3125) \text{ кДж} + (-3750) \text{ кДж} + (-4375) \text{ кДж} + (-5000) \text{ кДж} + (-5625) \text{ кДж} + (-5750) \text{ кДж} + (-2062,5) \text{ кДж} = -34062,5 \text{ кДж}.$$

ТЕПЛОТА ПАРООУТВОРЕННЯ:

$$Q_r = r_{\text{азоту}} \cdot m = 200 \text{ кДж/кг} \cdot 1 \text{ кг} = 200 \text{ кДж}.$$

СУМАРНА ЕНЕРГІЯ:

$$Q_{\text{азоту}} = Q_\Sigma + Q_r = 34062,5 \text{ кДж} + 200 \text{ кДж} = 34262,5 \text{ кДж}.$$

c - питома теплоємність [кДж/(кг·°C)]; m - маса [кг]; t - температура [°C]; r - питома теплота пароутворення;  
Q - кількість теплоти [кДж].

# РОЗРАХУНОК ПИТОМОЇ КІЛЬКІСТЬ АЗОТУ

- КІЛЬКІСТЬ РІДКОГО АЗОТУ В КГ ( $N_m$ ), ЯКА ПОТРІБНА ДЛЯ ЗАМОРОЖЕННЯ 1 МЗ ВОДИ

$$N_m = Q_{\text{води}} / Q_{\text{азоту}}$$

$$N_m = 404660 \text{ кДж} / 34062,5 \text{ кДж} \approx 11,81 \text{ (кг}_{\text{азоту}}/\text{М}^3_{\text{води}})$$

- КІЛЬКІСТЬ РІДКОГО АЗОТУ В М<sup>3</sup> ( $N_v$ ), ЯКА ПОТРІБНА ДЛЯ ЗАМОРОЖЕННЯ 1М<sup>3</sup> ВОДИ

$$N_v = N_m / \rho_{\text{азоту}}$$

$$N_v = 11,81 \text{ (кг}_{\text{азоту}}/\text{М}^3_{\text{води}}) / 808 \text{ (кг}_{\text{азоту}}/\text{М}^3_{\text{азоту}}) \approx 0,015 \text{ (М}^3_{\text{азоту}}/\text{М}^3_{\text{води}})$$

$\rho$  - густина [кг/м<sup>3</sup>];  $m$  - маса [кг];

$Q$  - кількість теплоти [кДж];

$V$  - об'єм [м<sup>3</sup>]



# РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ РІДКОГО АЗОТУ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПЕРЕПРАВИ

Маса вантажу, (m), т	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5
Товщина криги, (d), см	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Маса вантажу, (m), т	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50
Товщина криги, (d), см	70	75	80	85	90	95	100	105	110	110	120

Навантажувальна здатність криги  
(таблиця автора)

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРЕПРАВИ		ТОВЩИНА КРИГИ, (C), М							
		0,7		0,8		0,9		1	
довжина (ширина річки), (a), м	ширина, (b) м	об'єм води, (V <sub>в</sub> ), м <sup>3</sup>	об'єм азоту, (V <sub>а</sub> ), м <sup>3</sup>	об'єм води, (V <sub>в</sub> ), м <sup>3</sup>	об'єм азоту, (V <sub>а</sub> ), м <sup>3</sup>	об'єм води, (V <sub>в</sub> ), м <sup>3</sup>	об'єм азоту, (V <sub>а</sub> ), м <sup>3</sup>	об'єм води, (V <sub>в</sub> ), м <sup>3</sup>	об'єм азоту, (V <sub>а</sub> ), м <sup>3</sup>
1000	5	3500	52,5	4000	60	4500	67,5	5000	75
900	5	3150	47,25	3600	54	4050	60,75	4500	67,5
800	5	2800	42	3200	48	3600	54	4000	60
700	5	2450	36,75	2800	42	3150	47,25	3500	52,5
600	5	2100	31,5	2400	36	2700	40,5	3000	45
500	5	1750	26,25	2000	30	2250	33,75	2500	37,5
400	5	1400	21	1600	24	1800	27	2000	30
300	5	1050	15,75	1200	18	1350	20,25	1500	22,5
200	5	700	10,5	800	12	900	13,5	1000	15
100	5	350	5,25	400	6	450	6,75	500	7,5

Результати розрахунку необхідної кількості азоту для переправ  
(таблиця автора)

# РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

В проведеній науково-дослідній роботі розроблена концепція створення «штучної льодової переправи», що дозволяє підвищити простоту та скритність створення переправ для подолання водних перешкод.

1

Аналіз існуючих конструкцій та способів побудови понтонних мостів показав, що створення понтонного мосту вимагає значних зусиль – великої кількості важких вантажних автомобілів, що перевозять деталі мосту, а це в свою чергу робить наведення мосту легко помітним та витратним у зберіганні (необхідно підтримувати в робочому стані велику кількість автомобілів), вимагає значну кількість спеціально навчених інженерних військ.

2

Замерзла крига водою може слугувати твердим покриттям для створення переправ. Так, на росії і досі наводяться льодові переправи на річках.

3

Запропонована концепція створення «штучної льодової переправи», яка значно полегшує процес розгортання та згортання переправ через водні перешкоди. Кількість автомобільної техніки значно скорочена, а отже скритність розгортання такої переправи значно підвищується. Вартість плівки, з якої робиться жолоб, значно менше за металеві герметичні конструкції понтонів, а отже дешевизна такої конструкції очевидна.

4

Проведені розрахунки показали, що для замороження 1 м<sup>3</sup> води з температурою 15°C до льоду з температурою - 5°C потрібно 0,015 м<sup>3</sup> рідкого азоту.

5

Проведені розрахунки показали, що для створення навіть довгих переправ (500-1000 м з шириною 5 м) кількість рідкого азоту знаходиться в прийнятних межах (до 75 м<sup>3</sup>), тобто для створення переправи достатньо декількох автомобільних цистерн з рідким азотом. Цим обґрунтована можливість технічної реалізації «штучної льодової переправи».



**ШІСТЯ АННА МИКОЛАЇВНА**

учениця 10 класу  
комунального закладу  
«Центральноукраїнський науковий ліцей-інтернат  
Кіровоградської обласної ради».

# ШТУЧНА ЛЬОДОВА ПЕРЕПРАВА

## НАУКОВІ КЕРІВНИКИ:

**СІРІКОВ ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ**,  
доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту  
Центральноукраїнського національного технічного університету, кандидат технічних наук;

**ШЕРЕМЕТ ПАВЛО МИКОЛАЙОВИЧ**,  
заступник директора з наукової роботи комунального закладу «Центральноукраїнський  
науковий ліцей-інтернат Кіровоградської обласної ради», кандидат педагогічних наук.

