ISSN 2306-5478

УДК 621.67.01: 62-75 https://doi.org/10.31713/vt2202621

Філіпович Ю. Ю., (1:ORCID: 0009-0007-0232-7559)
к.т.н., доцент
Сунічук С. В., (1:ORCID: 0000-0002-9763-731X)
к.т.н., доцент
Рябенко О. А., (1:ORCID: 0000-0002-1923-3061)
д.т.н., професор

[1] Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ІНТЕНСИВНОГО РУЙНУВАННЯ РОБОЧИХ КОЛІС НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті виконано аналіз фактичних гідравлічних режимів роботи насосного обладнання, проведена оцінка умов експлуатації та визначення факторів, що можуть впливати на інтенсивність зношування елементів проточної частини насосів, визначено причини інтенсивного корозійного та ерозійного спрацювання робочих коліс насосів. Проведено аналіз можливого впливу фізико-хімічних характеристик води на матеріал робочих коліс. Надано рекомендації щодо запобігання подальшому руйнуванню насосів.
Ключові слова: насосна станція, кавітаційний запас, всмоктувальний патрубок, насосні агрегати, корозія, сталь GSC25.

Після підриву 6 червня 2023 року російськими загарбниками Каховської ГЕС відбулося обміління Каховського водосховища в Дніпропетровській та Запорізькій областях. У зв'язку з цим з Каховського водосховища припинила надходити вода до Південного водосховища – залишились без водопостачання Кривий Ріг, Нікополь, Марганець, Покров та частина Криворізького і Нікопольського районів.

16 червня 2023 року почалося будівництво каналу «Інгулець – Південне водосховище», який забезпечує мешканців міста та району водою [1]. Метою реалізації даного проєкту є забезпечення гарантованого водопостачання населення та промисловості м. Кривий Ріг і прилеглих територіальних громад.

Проєктом передбачено транспортування води на відстань близько 26 км з використанням системи насосних станцій: насосна станція I підйому (НС-1), розташована безпосередньо біля урізу води р. Інгулець; насосна станція II підйому (НС-2); насосна станція III підйому (НС-3). Проектна потужність системи становить 400 тис.м^3/добу.

У складі насосних станцій експлуатуються насосні агрегати типу DHV 500-790PA та DHV 500-790PB виробництва Hydro-Vacuum S.A (Польща).

Під час проведення планового технічного обслуговування насосного обладнання встановлено:

- інтенсивне зменшення товщини металу робочих коліс;
- наявність рівномірної та локальної корозії;
- системний характер пошкоджень на декількох насосних агрегатах.

Об'єктом досліджень є насосні агрегати виробництва HYDRO-VACUUM типу DHV 500-790PA (5 од.) та DHV 500-790PB (4 од.), встановлених у насосних станціях I та II підйомів.

Предмет досліджень – причини інтенсивного руйнування робочих коліс насосів – було виявлено інтенсивне зменшення фактичної товщини металу робочих коліс (сталь GSC25) та ознаки їх суцільної корозії. Виявлені пошкодження мають системний характер та спостерігаються на декількох агрегатах, що експлуатуються в аналогічних умовах.

Мета роботи – аналіз фактичних гідравлічних режимів роботи насосного обладнання; оцінка умов експлуатації та визначення факторів, що можуть впливати на інтенсивність зношування елементів проточної частини насосів, визначення причин інтенсивного корозійного та ерозійного спрацювання робочих коліс насосів; дослідження можливого впливу фізико-хімічних характеристик води на матеріал робочих коліс.

Методи розрахунків – визначення кавітаційного запасу насосів виконувалися за аналітичними залежностями, наведеними у [3-10].

Кавітація в насосах виникає, коли тиск рідини в певній точці системи падає нижче тиску насиченої пари [11]. Тоді рідина починає частково переходити в газоподібний стан, утворюючи бульбашки пари, які, рухаючись разом із потоком води, потрапляють у зони з вищим тиском. Тут відбувається їх миттєве схлопування. Процес супроводжується локальними ударними хвилями, які можуть

 ISSN 2306-5478

завдавати серйозних пошкоджень елементам насосного обладнання.

Кавітація виникає з кількох причин [3]**:** збільшення відносної швидкості рідини у робочому колесі (РК); утворення вихорів та відриву потоку від стінок РК; збільшення висоти всмоктування (наприклад, при зниженні ↓НБ); зниження барометричного тиску; підвищення температури перекачуваної рідини; наявність незадовільних умов входу рідини на лопать РК, невдала конструкція лопаті; перетікання рідини крізь щілини, обтікання виступів шорсткості; додаткові втрати напору у всмоктувальній трубі (наприклад, потрапляння в трубу сторонніх речей).

Характеризується кавітація в насосах низкою *характерних ознак.* Серед найпомітніших – поява різких шумів і вібрацій. Одночасно спостерігається зниження продуктивності роботи обладнання, оскільки кавітація заважає нормальному потоку рідини. Якщо проблему ігнорувати, це може призвести до серйозних пошкоджень – металеві поверхні робочих коліс і корпусу насоса піддаються ерозійному зносу, як показано на рис. 1, наданих КП «КРИВБАСВОДОКАНАЛ».



Рис. 1. Фотофіксація пошкоджених робочих коліс

З часом такі дефекти стають причиною поломок і необхідності заміни деталей. Крім ерозії робочих елементів насосів, кавітація призводить до зниження ефективності насосів. Постійний вплив

кавітації прискорює знос обладнання, збільшуючи частоту технічного обслуговування і ремонту [11].

Для того, щоб переконатися, що тиск рідини на вході в насос не впаде нижче тиску насиченої пари, що спричиняє кавітацію, **виконаємо кавітаційний розрахунок насоса**.

Основою розрахунку є порівняння двох величин: **Δh_c (NPSHa) -** кавітаційного запасу системи (наявного), і **$\Delta h_н$ (NPSHr)** — кавітаційного запасу насоса (необхідного), вказується заводом-виробником у паспорті насоса.

Кавітаційний запас (Δh) — це мінімальний надлишковий тиск (напір) рідини на вході в насос, необхідний для запобігання кавітації. Основна *умова безкавітаційної роботи* має вигляд:

$$\Delta h_c > \Delta h_н + 0{,}5 \text{ м (запас безпеки).}$$

Робота насоса DHV 500-790PA (НС-1)

Для аналізу режимів експлуатації використано наступні вихідні дані: відмітка осі насоса - 22,0 м; рівень води у місці водозабору - 24,0 м; висота підпору - 2,0 м; діаметр трубопроводу - 1000 мм; довжина всмоктувального трубопроводу - 18,7 м.

Визначаємо наявний кавітаційний запас Δh_c (в метрах водяного стовпа) за залежністю:

$$\Delta h_c = H_{atm} \pm H_{geo} - \Delta h_f - h_{vp},$$

де: H_{atm} – *атмосферний тиск* **-** тиск на поверхні рідини у всмоктуючому резервуарі (мінімальний атмосферний тиск для м. Кривий Ріг – 10,157 м);

H_{geo} – *геометрична висота всмоктування:*

$$H_{geo} = 24{,}00 - 22{,}00 = 2{,}0 \text{ м},$$

+ якщо насос знаходиться **нижче** рівня води (підпорі),

- якщо насос знаходиться **вище** рівня води (всмоктування);

Δh_f – *втрати напору* – втрати на тертя та місцеві опори у всмоктувальному трубопроводі:

$$\Delta h_f = i \cdot L \cdot 1{,}2$$

де: i – *гідравлічний похил* (для стального трубопроводу Ø1000мм при Q = 4167 м^3/год – i = 0,0023);

L – *довжина всмоктувального патрубка*, м.

Визначаємо розрахункові втрати напору:

$$\Delta h_f = 0{,}0023 \cdot 18{,}7 \cdot 1{,}2 = 0{,}052 \text{ м.}$$

h_{vp} – *тиск насиченої пари* - тиск, при якому рідина перетворюється на пару (залежить від температури). Тиск насичених парів води при температурі 23 °С – 0,29 м.

ISSN 2306-5478

Визначаємо значення розрахункового підпору на всмоктувальному патрубку насоса Δh_c:

$$\Delta h_c = 10{,}157 + 2{,}0 – 0{,}052 - 0{,}29 = 11{,}815 \text{ м}.$$

Відповідно до вимог стандарту ДСТУ EN ISO 9906:2022 Ротодинамічні насоси. Гідравлічні приймальні випробування. Класи 1, 2 і 3 (EN ISO 9906:2012, IDT; ISO 9906:2012, IDT) [12], безпечна експлуатація насосів забезпечується при виконанні умови

$$\Delta h_c > \Delta h_c + 0{,}5 \text{ м}$$

$$11{,}815 \text{ м} > (8{,}3 + 0{,}5) = 8{,}8 \text{ м} – \text{умова виконується.}$$

Робота насоса DHV 500-790PB (HC-2)

Для аналізу режимів експлуатації використано наступні вихідні дані: фактичний тиск у всмоктувальному патрубку - 18,0 м.

При відкритій схемі забору води з джерела значення розрахункового підпору на всмоктувальному патрубку насоса Δh_c визначається за формулою:

$$\Delta h_c = H_a \pm H_п – \Delta h_f – h_{vp},$$

де: H_a – *тиск у всмоктувальному патрубку*, 18,0 м;

$H_п$ – *висота підпору*, м (приймаємо $H_п = 0$ м);

Δh_f – *втрати напору на тертя* у всмоктувальному трубопроводі для розрахункової продуктивності, м (приймаємо $H_f = 0$ м).

h_{vp} – *тиск насиченої пари* - тиск, при якому рідина перетворюється на пару (залежить від температури). тиск насичених парів води при температурі 23 °С – 0,29 м.

Значення розрахункового підпору на всмоктувальному патрубку насоса Δh_c становить:

$$\Delta h_c = 18 + 0 – 0 - 0{,}29 = 17{,}71 \text{ м}.$$

Для захисту насосів від надмірного падіння тиску на всмоктувальному патрубку необхідно, щоб виконувалась умова:

$$\Delta h_c > \Delta h_н + 0{,}5 \text{ м}:$$

$$17{,}71 \text{ м} > (9{,}0 + 0{,}5) = 9{,}5 \text{ м} – \text{умова виконується.}$$

Згідно з вимогами стандарту ДСТУ EN ISO 9906:2022 Ротодинамічні насоси. Гідравлічні приймальні випробування. Класи 1, 2 і 3 (EN ISO 9906:2012, IDT; ISO 9906:2012, IDT), безпечна експлуатація насосів забезпечується при виконанні умови: $\Delta h_c > \Delta h_c + 0{,}5$ м [12].

В обох розглянутих випадках ця умова виконується з достатнім запасом – отже, кавітація не може служити основною причиною пошкодження робочих коліс робочих насосів DHV 500-790PA (HC-1) та DHV 500-790PB (HC-2).

Аналізуємо вплив гідрохімічних характеристик води річки Інгулець на матеріали, з яких виготовлене насосне обладнання.

Гідрохімічні характеристики води — це комплекс фізико-хімічних показників, що визначають хімічний склад природних вод, їхню якість та придатність для використання. Ці характеристики включають концентрацію розчинених газів, мінеральних солей, органічних сполук, а також показники кислотності та жорсткості.

При перевищенні гідрохімічних параметрів води понад норму, виникає корозія металів, з яких виготовляється насосне обладнання — це електрохімічний процес руйнування (іржавіння), викликаний взаємодією металу з розчиненим киснем, вуглекислим газом або солями. Найшвидше кородує залізо і нелегована вуглецева сталь. Основні фактори, при яких виникає корозія - це висока вологість, низький pH (кислотність), висока мінералізація (солона вода) та гальванічні пари.

Аналізуємо вплив перевищення гідрохімічних показників води р. Інгулець на ймовірні механізми руйнування і наслідки їх проявів на насосному обладнанні [13].

pH води = 7,84–8,57 > 7,5. Виникає лужне корозійне розтріскування (наводнювання) – найбільш небезпечний вид корозії в лужній воді, що утворюється при поєднанні високої концентрації лугу (OH^-), високої температури та механічних напружень у металі. Сталь може стати крихкою і зруйнуватися. Вплив на кольорові метали – на відміну від сталі, метали, такі як алюміній, цинк та олово, активно взаємодіють з лугами, що призводить до їх швидкої корозії.

Сульфати SO_4^{2-} = 487–503 мг/л > 250-500 мг/л. Виникає сульфатна та мікробіологічна корозія – темні корозійні відкладення, локальні пошкодження.

Хлориди Cl^- = 278–443 мг/л > 250-300 мг/л. Виникає пітингова (точкова) корозія – прискорюється корозія, утворюються глибокі локальні раковини на корпусі і робочому колесі.

Хлориди Cl^- = 278–443 мг/л. При кількості **хлоридів Cl^- >** 500–1000 мг/л виникає активна локальна корозія – наскрізні дефекти лиття, руйнування фланців.

Вільний CO_2 = 4,8 мг/л. При величині в**ільного CO_2** > 5 мг/л виникає карбонатна корозія – активне розчинення металу, утворення карбонатних відкладень.

Розчинений кисень = 6,1–14 мг/л > 2–3 мг/л. Виникає інтенсивна електрохімічна корозія – утворення іржі, прискорений знос поверхонь.

 ISSN 2306-5478

Мінералізація (TDS) = 1462–1507 мг/л > 1500 мг/л. Виникає підвищення електропровідності води (прискорення корозії) – загальне зростання швидкості руйнування сталі, жорстка, технічна вода.

Тверді частки (пісок, мул) = 14,8–78,1 мг/л > 50–100 мг/л. Утворюється абразивний знос – стирання робочого колеса та корпусу насоса.

Температура води = 1 - 23°C > 40–60 °C. Прискорюються корозійні реакції – швидке старіння металу, зниження міцності.

Відповідно до міжнародних рекомендацій з водопідготовки:

• Керівництва з якості питної води – Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [14];

• Контроль внутрішньої корозії систем водопостачання (США) – https://store.awwa.org/M58-Internal-Corrosion-Control-in-Water-Distribution-Systems-Second-Edition-PDF?whence. [15],

корозійна агресивність води щодо вуглецевих сталей суттєво зростає при концентрації **хлоридів Cl^-** > 250 мг/л, с**ульфатів SO_4^{2-}** > 250 мг/л та м**інералізації (TDS)** > 1000 мг/л.

Таким чином, гідрохімічні характеристики води річки Інгулець перевищують критичні параметри. *Це свідчить про високу корозійну активність води, що перекачується та необхідність використання спеціальних матеріалів для виготовлення насосного обладнання.*

Проводимо оцінку можливості застосування сталі GS-C25 для виготовлення робочих коліс в існуючих умовах експлуатації. Елементи проточної частини насосів згідно з технічною документацією насосів виготовлені з наступних металів: корпус насоса – сірий чавун GG25; робоче колесо – лита вуглецева сталь GSC25; ущільнювальні кільця – нержавіюча сталь AISI 304; вал – вуглецева сталь. Ці метали широко застосовуються при виготовленні насосів для водопостачання. Але їхня корозійна та абразивна стійкість може виявитися недостатньою при перекачуванні природних вод з високою мінералізацією та наявністю твердих часток піску та мулу (як у нашому випадку).

Робочі колеса насосів, у відповідності до технічної документації виготовлені з литої вуглецевої сталі GS-C25, що є аналогом сталі GP240GH. Згідно зі стандартом ДСТУ EN 10213:2016 Виливки сталеві для роботи під тиском (EN 10213:2007 + A1:2016, IDT) [16] сталь GS-C25:

• належить до конструкційних сталей загального призначення;

• не містить легуючих елементів, що підвищують корозійну стійкість.

За даними довідників корозійної стійкості NACE International (https://accuristech.com/partners/nace/#:~:text=NACE%20International%20is%20the%20National%20Association%20of,corrosion%20control%20standards%2C%20protective%20coatings%2C%20and%20materials), вуглецеві сталі мають обмежену довговічність у природній воді, яка має такі характеристики: мінералізацію >1000 мг/л; збільшений вміст хлоридів та сульфатів.

Середня кавітаційна стійкість: як вуглецева сталь, GS-C25 має середню стійкість до кавітаційного зносу. Вона значно поступається нержавіючим сталям (наприклад, 13% хромистим сталям або аустенітним нержавіючим сталям) у суворих умовах кавітації.

Застосування: сталь GS-C25 підходить для роботи в умовах помірних гідродинамічних навантажень. При застосуванні в насосах або арматурі, де передбачається високий ризик кавітації, зазвичай рекомендується наплавлення робочих поверхонь (наприклад, стелітом або нержавіючою сталлю) для запобігання швидкому руйнуванню.

Виконана оцінка характеристик сталі свідчить, що **сталь GS-C25 не призначена для роботи у корозійно-агресивних водних середовищах**, тому її застосування для проточної частини насосів у воді з такими гідрохімічними параметрами є обмежено допустимою з точки зору довготривалої експлуатації.

Для підвищення корозійно-абразивної стійкості рекомендується використовувати варіанти цієї сталі з термічною обробкою (наприклад, GS-C25 N, яка проходить нормалізацію) або застосовувати нержавіючі зносостійкі сталі.

Основні методи підвищення стійкості корозійно-абразивної стійкості матеріалів [17, 18]:

- *нанесення захисних покриттів та наплавлення:* хромосиліцидні покриття; модифіковані наплавлені покриття; біметалеві покриття; комбіновані покриття;
- *легування матеріалів:* використання високолегованих сталей та чавунів; оптимізація вмісту хрому (до 32%) та вуглецю (до 4-5,2%) для утворення карбідних фаз, що підвищують зносостійкість;
- *термічна та хіміко-термічна обробка:* гартування; цементація; низькотемпературне нагрівання; оптимізація структури.

 ISSN 2306-5478

- *конструкційні заходи* - використання матеріалів типу SACM-645/38 CrMoAlA (аналог 38ХМЮА) для робочих органів, що працюють в агресивних середовищах.

Визначаємо причини руйнування насосного обладнання. Аналіз характеру пошкоджень робочих коліс та внутрішньої частини насосів (рис. 1) свідчить про комбінований механізм руйнування, що включає декілька процесів.

Ерозійно-корозійне руйнування – це прискорене зношення матеріалів, спричинене одночасною дією корозії та ерозії. Виникає, коли корозійно-активне середовище рухається з високою швидкістю, механічно руйнуючи захисну плівку металу. Потік рідини або газу механічно знімає продукти корозії, оголюючи свіжий метал для наступної корозії, що призводить до катастрофічного зносу. Основні причини: висока швидкість потоку, висока електропровідність води; турбулентність та наявність абразивних частинок, руйнування захисної оксидної плівки металу. Характеризується виразковою корозією «піттінг», появою канавок, хвиль або підковоподібних ямок на поверхні.

Абразивний знос – це механічне руйнування поверхні матеріалу, спричинене твердими частинками. Частинки твердішого матеріалу під тиском ковзають по поверхні менш твердого, вириваючи з неї мікростружку. Викликаний наявністю у перекачуваній воді піску, мулу та мінеральних завислих часток.

Електрохімічна корозія — це руйнування металів у водному середовищі з перевищеними гідрохімічними показниками, що супроводжується виникненням електричного струму через утворення мікрогальванічних пар. Більш активний метал (анод) окиснюється та руйнується, а електрони переходять до менш активного металу (катод), де відновлюється деполяризатор (кисень або водень). Викликана корозія високим вмістом розчиненого кисню; підвищеною мінералізацією води; високою концентрацією хлоридів (Cl^-) і сульфатів (SO_4^{2-}).

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Після руйнування гідротехнічних споруд Каховського водосховища рівень води у Південному водосховищі впав приблизно на 1,1 м [7]. Це, в свою чергу, викликало збільшення напору на насоси.

Виконаний гідравлічний аналіз роботи насосів свідчить про відсутність умов для виникнення у них кавітації. Виникнення

кавітації у проточній частині насосів є технічно неможливою тому, що: згідно характеристики насосів DHV.500-790PA та DHV.500-790PB розрахунково забезпечується необхідний кавітаційний запас; фактичний тиск у всмоктувальному патрубку постійно перевищує тиск насиченої пари рідини при робочій температурі – це виключає фазовий перехід рідини у газоподібний стан і подальше «схлопування» бульбашок пари, що є першопричиною кавітаційної ерозії; насоси працюють у зоні оптимального робочого діапазону, не зафіксовано зміщення робочої точки в зону перенавантаження, де різко зростає швидкість потоку та падає статичний тиск.

2. Знищення Каховського водосховища викликало також зміну гідромеханічних характеристик річкової води, що перекачується. На даний час вода річки Інгулець характеризується підвищеною корозійною агресивністю щодо вуглецевих сталей:

- **показник pH води** > 7,5 при критичному значенні <6,5, призводить до того, що сталь може стати крихкою і зруйнуватися, інші метали (алюміній, цинк та олово) активно взаємодіють з лугами, що призводить до їх швидкої корозії;

- наявність у воді **хлоридів Cl^-** > 250 мг/л прискорює корозію, можуть утворюватися глибокі локальні раковини на корпусі і робочому колесі, виникати наскрізні дефекти лиття, руйнування фланців;

- показник **сульфатів SO_4^{2-}** > 250-500 мг/л **може викликати** темні корозійні відкладення, локальні пошкодження елементів насосів;

- рівень розчиненого кисню > 2–3 мг/л викликає утворення іржі, прискорений знос поверхонь;

- концентрація твердих часток (піску та мулу) > 50–100 мг/л є основною причиною *абразивного зносу* - стирання робочого колеса та корпусу насоса.

3. Матеріал робочих коліс насосів – сталь GS-C25 не забезпечує достатньої корозійної стійкості в агресивних умовах даного водного середовища.

4. Руйнування робочих коліс має комбінований ерозійно-корозійний характер, посилений абразивним зносом.

Для забезпечення довготривалої та надійної роботи насосного обладнання необхідне застосування корозійностійких матеріалів або спеціальних захисних покриттів, а також зменшення концентрації механічних домішок у воді.

 ISSN 2306-5478

Виконаний аналіз гідромеханічного складу води і матеріалів, з яких виконано насоси, свідчить, що сталь GS-C25 не призначена для роботи у корозійно-агресивних водних середовищах. Її застосування для проточної частини насосів у воді з такими характеристиками є обмежено допустимою *з точки зору довготривалої експлуатації.*

Для підвищення корозійної та кавітаційної стійкості рекомендується використовувати варіанти цієї сталі з термічною обробкою (наприклад, GS-C25 N, яка проходить нормалізацію) або застосовувати нержавіючі вуглецеві сталі (для виготовлення корпусу), зносостійкий чавун та вуглецева сталь – для виготовлення деталей внутрішнього корпусу. Застосування захисних покриттів збільшує корозійно-ерозійну стійкість деталей, запобігає передчасній руйнації, втраті продуктивності, таким чином продовжується термін експлуатації насосного обладнання.

Згідно стандартів ДСТУ 4132:2002 Насоси відцентрові загальнопромислового застосування. Вимоги до проектування, виготовлення, постачання, монтажування та експлуатування. Звід правил та ДСТУ EN 809:2015 Насоси та насосні агрегати для рідин. Загальні вимоги безпеки, що прямо встановлюють вимоги до матеріалу проточної частини насоса, який повинен бути стійким до перекачуваного середовища протягом нормативного строку служби**.**

Рекомендується:

1. Виготовлення робочих коліс з інших матеріалів – ефективним є застосування матеріалів з підвищеною корозійною та ерозійною стійкістю: нержавіюча сталь, вуглецева сталь; дуплексні нержавіючі сталі; лита нержавіюча сталь; високоміцний зносостійкий чавун.

2. Використання на робочих колесах насосів захисних покриттів: епоксидних антикорозійних покриттів; керамічних композитних покриттів; полімерних зносостійких покриттів.

3. Організація системи моніторингу насосного обладнання та води, що перекачується: регулярний гідрохімічний контроль води, що перекачується; ультразвуковий контроль товщини металу; моніторинг швидкості корозії обладнання.

1. Південне водосховище // Вікіпедія. - Код доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D0%B2%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B5 2. Кривий Ріг: у водосховище Південне почала надходити вода. – Код доступу: https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3739950-krivij-rig-u-vodoshovise-pivdenne-pocala-nadhoditi-voda.html 3. Герасимов Г.Г. Гідравлічні та

аеродинамічні машини. Підручник / Г. Г. Герасимов. Рівне: НУВГП, 2008. 241 с. ISBN 978-966-327-090-6. 4. Мандрус В.І. Гідравлічні та аеродинамічні машини (насоси, вентилятори, компресори): Підручник. Львів: «Магнолія 2006». 2018. 340 с. 5. Срібнюк С.М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії і застосування: Навчальний посібник / С. М. Срібнюк. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 328 с. ISBN 966-8365-46-1. 6. Герасимов Г.Г. Проектування автоматизованих насосних станцій підкачки: Навчальний посібник /Г. Г. Герасимов. Рівне: НУВГП, 2007. 552 с. 7. ЗВІТ з науково-дослідної роботи № 092023/1 Визначення мінімальної геометричної висоти (підпору) всмоктування осьового насосного агрегату і мінімальної відмітки дзеркала води у Південному водосховищі Дніпропетровської області, Україна // Рябенко О.А., Філіпович Ю.Ю., Сунічук С.В. Рівне: НУВГП, 2023. 19 с. 8. ДСТУ 3063-95. Насоси. Класифікація. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України. 1995. 76 с. 9. ДСТУ 4132:2002 Насоси відцентрові загальнопромислового застосування. Вимоги до проектування, виготовлення, постачання, монтажування та експлуатування. К.: Держспоживстандарт України. 2002. 30 с. 10. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Видання офіційне. - Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 293 с. 11. Termocom. Що таке кавітація в насосах? // URL: https://termocom.com.ua/ua/shho-take-kavitacija-v-nasosah/ 12. ДСТУ EN ISO 9906:2022 Ротодинамічні насоси. Гідравлічні приймальні випробування. Класи 1, 2 і 3 (EN ISO 9906:2012, IDT; ISO 9906:2012, IDT) // ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»). Наказ від 28.12.2022 № 285 Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=117829 13. Водовідведення. Водопідготовка. Водопостачання. SoftWave. 2026. URL: https://www.softwave.com.ua/uk/chimicheskiy-ahaliz-vodi/ 14. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 541 s. URL: https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/1b7a285e-3635-45dd-a1a9-6068c8fbe173/content 15. Internal Corrosion Control in Water Distribution Systems. Copyright © 2011 American Water Works Association. All Rights Reserved. 14 s. URL: https://store.awwa.org/M58-Internal-Corrosion-Control-in-Water-Distribution-Systems-Second-Edition-PDF?whence 16. ДСТУ EN 10213:2016 Виливки сталеві для роботи під тиском (EN 10213:2007 + A1:2016, IDT) // Технічний комітет зі стандартизації «Чавун, прокат листовий, прокат сортовий термозміцнений, вироби для рухомого складу, металеві вироби, інша продукція з чавуну та сталі» (ТК 4) / Наказ від 27.12.2016 № 446 Про прийняття національних

ISSN 2306-5478

нормативних документів, гармонізованих з європейськими нормативними документами, скасування національних нормативних документів, змін та поправок до національних нормативних документів. 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71385 17. Шуман С. К. Корозія металів та захист металів від корозії. Лабораторний практикум. Краматорськ : ДДМА, 2008. 160 с. 18. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник / під ред. П. І. Стоєва. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с.

REFERENCES:

1. Pivdenne vodoskhovyshche // Vikipediya. - Kod dostupu: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D0%B2%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B5 2. Kryvyy Rih: u vodoskhovyshche Pivdenne pochala nadkhodyty voda. – Kod dostupu: https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3739950-krivij-rig-u-vodoshovise-pivdenne-pocala-nadhoditi-voda.html 3. Herasymov H.H. Hidravlichni ta aerodynamichni mashyny. Pidruchnyk / H. H. Herasymov. Rivne: NUVHP, 2008. 241 s. ISBN 978-966-327-090-6. 4. Mandrus V.I. Hidravlichni ta aerodynamichni mashyny (nasosy, ventylyatory, kompresory): Pidruchnyk. L'viv: «Mahnoliya 2006». 2018. 340 s. 5. Sribnyuk S.M. Hidravlichni ta aerodynamichni mashyny. Osnovy teoriyi i zastosuvannya: Navchal'nyy posibnyk / S. M. Sribnyuk. Kyyiv: Tsentr navchal'noyi literatury, 2004. 328 s. ISBN 966-8365-46-1. 6. Herasymov H.H. Proektuvannya avtomatyzovanykh nasosnykh stantsiy pidkachky: Navchal'nyy posibnyk /H. H. Herasymov. Rivne: NUVHP, 2007. 552 s. 7. ZVIT z naukovo-doslidnoyi roboty № 092023/1 Vyznachennya minimal'noyi heometrychnoyi vysoty (pidporu) vsmoktuvannya os'ovoho nasosnoho ahrehatu i minimal'noyi vidmitky dzerkala vody u Pivdennomu vodoskhovyshchi Dnipropetrovs'koyi oblasti, Ukrayina // Ryabenko O.A., Filipovych YU.YU., Sunichuk S.V. Rivne: NUVHP, 2023. 19 s. 8. DSTU 3063-95. Nasosy. Klasyfikatsiya. Terminy ta vyznachennya. K.: Derzhstandart Ukrayiny. 1995. 76 s. 9. DSTU 4132:2002 Nasosy vidtsentrovi zahal'nopromyslovoho zastosuvannya. Vymohy do proektuvannya, vyhotovlennya, postachannya, montazhuvannya ta ekspluatuvannya. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. 2002. 30 s. 10. DBN V.2.5-74:2013 Vodopostachannya zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennya proektuvannya. Vydannya ofitsiyne. - Kyyiv: Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2013. – 293 s. 11. Termocom. Shcho take kavitatsiya v nasosakh? // URL: https://termocom.com.ua/ua/shho-take-kavitacija-v-nasosah/ 12. DSTU EN ISO 9906:2022 Rotodynamichni nasosy. Hidravlichni pryymal'ni vyprobuvannya. Klasy 1, 2 i 3 (EN ISO 9906:2012, IDT; ISO 9906:2012, IDT) // DP «Ukrayins'kyy naukovo-doslidnyy i navchal'nyy tsentr problem

standartyzatsiyi, sertyfikatsiyi ta yakosti» (DP «UkrNDNTS»). Nakaz vid 28.12.2022 № 285 Pro paketne pryynyattya yevropeys'kykh normatyvnykh dokumentiv CEN/CENELEC. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=117829 13. Vodovidvedennya. Vodopidhotovka. Vodopostachannya. SoftWave. 2026. URL: https://www.softwave.com.ua/uk/chimicheskiy-ahaliz-vodi/ 14. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 541 s. URL: https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/1b7a285e-3635-45dd-a1a9-6068c8fbe173/content 15. Internal Corrosion Control in Water Distribution Systems. Copyright © 2011 American Water Works Association. All Rights Reserved. 14 s. URL: https://store.awwa.org/M58-Internal-Corrosion-Control-in-Water-Distribution-Systems-Second-Edition-PDF?whence 16. DSTU EN 10213:2016 Vylyvky stalevi dlya roboty pid tyskom (EN 10213:2007 + A1:2016, IDT) // Tekhnichnyy komitet zi standartyzatsiyi «Chavun, prokat lystovyy, prokat sortovyy termozmitsnenyy, vyroby dlya rukhomoho skladu, metalevi vyroby, insha produktsiya z chavunu ta stali» (TK 4) / Nakaz vid 27.12.2016 № 446 Pro pryynyattya natsional'nykh normatyvnykh dokumentiv, harmonizovanykh z yevropeys'kymy normatyvnymy dokumentamy, skasuvannya natsional'nykh normatyvnykh dokumentiv, zmin ta popravok do natsional'nykh normatyvnykh dokumentiv. 2016. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71385 17. Shuman S. K. Koroziya metaliv ta zakhyst metaliv vid koroziyi. Laboratornyy praktykum. Kramators'k : DDMA, 2008. 160 s. 18. Khimichna koroziya ta zakhyst metaliv : navchal'nyy posibnyk / pid red. P. I. Stoyeva. Kharkiv : KHNU imeni V. N. Karazina, 2019. 216 s.

Filipovych Yurii, (1:ORCID: 0009-0007-0232-7559)
Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering),
Associate Professor
Sunichuk Serhii, (1:ORCID: 0000-0002-9763-731X)
Candidate of Technical Sciences (PhD in Engineering),
Associate Professor
Riabenko Oleksandr, (1:ORCID: 0000-0002-1923-3061)
Doctor of Technical Sciences, Professor

[1] National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

IDENTIFICATION OF THE CAUSES OF INTENSIVE IMPELLER DETERIORATION IN PUMPING EQUIPMENT AND RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING OPERATIONAL RELIABILITY

ISSN 2306-5478

Pumping stations of the I and II lifts, which are used to pump river water from the Ingulets River, operate pumping units of the DHV 500-790PA and DHV 500-790PB type manufactured by Hydro-Vacuum S.A (Poland). During scheduled maintenance of pumping equipment, the following was found: an intensive reduction in the thickness of the metal of the impellers; the presence of uniform and local corrosion; and the systemic nature of damage on several pumping units.

The subject of research – the causes of intensive destruction of impellers of pumping equipment – revealed an intensive reduction in the actual thickness of the impeller metal (GSC25 steel) and signs of their continuous corrosion. The detected damages are systemic in nature and are observed on several units operated under similar conditions.

The purpose of the work is to analyze the actual hydraulic operating modes of pumping equipment; assess operating conditions and determine factors that may affect the intensity of wear of the elements of the flow part of pumps, determine the causes of intensive corrosion and erosion of pump impellers; study the possible influence of the physicochemical characteristics of water on the material of the impellers.

The performed hydraulic analysis of the pumps indicates that there are no conditions for cavitation to occur in them. The DHV.500-790PA and DHV.500-790PB pumps operate in the zone of the optimal operating range, no shift of the operating point into the overload zone, where the flow rate increases sharply and the static pressure drops, was recorded.

The destruction of the Kakhovka reservoir also caused a change in the hydromechanical characteristics of the pumped river water. Currently, the water of the Ingulets River is characterized by increased corrosive aggressiveness towards carbon steels. The material of the pump impellers - GS-C25 steel - does not provide sufficient corrosion resistance in the aggressive conditions of this water environment.

The destruction of the impellers has a combined erosion-corrosion nature, enhanced by abrasive wear. To ensure long-term and reliable operation of pumping equipment, it is necessary to use corrosion-resistant materials or special protective coatings, as well as reduce the concentration of mechanical impurities in water.

The performed analysis of the hydromechanical composition of water and the materials from which the pumps are made shows that GS-C25 steel is not intended for operation in corrosive and aggressive water environments. Its use for the flow part of pumps in water with such characteristics is limitedly permissible from the point of view of long-term operation. To increase corrosion and cavitation resistance, it is recommended to use heat-treated versions of this steel, or to use stainless carbon steels (for the manufacture of the housing), wear-resistant cast iron and carbon steel for the manufacture of internal housing parts.

It is recommended:

1. Making impellers from other materials - it is effective to use materials with increased corrosion and erosion resistance: stainless steel, carbon steel; duplex stainless steels; cast stainless steel; high-strength wear-resistant cast iron.

2. Use of protective coatings on pump impellers: epoxy anti-corrosion coatings; ceramic composite coatings; polymer wear-resistant coatings.

3. Organization of a monitoring system for pumping equipment and pumped water: regular hydrochemical control of pumped water; ultrasonic control of metal thickness; monitoring of equipment corrosion rate.

Keywords: pumping station, cavitation margin, suction nozzle, pump units, corrosion, GSC25 steel.

Отримано: 30 березня 2026 року
Прорецензовано: 27 квітня 2026 року
рийнято до друку: 29 травня 2026 року

© 2026 [Filipovych Yurii, Sunichuk Serhii, Riabenko Oleksandr]. Licensee [NUWEE]. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org).