

УДК 622.24 : 621.694.2

Микола Ткаченко

експерт з видобутку нафти і газу, «Спілка буровиків України»

відділ КВПіА, ГПУ «Полтавагазвидобування»

tkachenkonipp@ukr.net

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПІДБІР МАТЕРІАЛІВ НКТ З МЕТОЮ
РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЇ ЛІФТОВОЇ
КОЛОНИ ДЛЯ РОБОТИ НА РОДОВИЩАХ В УМОВАХ
АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Анотація. Введення в експлуатацію глибокозалягаючих горизонтів газоконденсатних родовищ з високими пластовими тисками та температурами, а також значною часткою CO₂ в газі, виявив вразливість НКТ традиційних марок сталей до вуглекислотної («солодкої») корозії та зумовив необхідність пошуку сплавів стійких до роботи в вуглекислотному середовищі.

Ключові слова: буріння свердловин, ліфтова колона, корозія.

Особливістю хімічного складу природного газу таких родовищ є значна частка в природному газі вуглекислого газу (CO₂), а саме: 3 – 5,5 % (об.), що зумовлює інтенсивну корозію колон НКТ та їх

порівняно часті обриви.

Основними факторами, які сприяють підвищеному корозійному зносу підземного устаткування є:

1. Вплив вуглекислого газу на процес корозії.

Інтенсивність корозії, викликаної наявністю CO_2 , встановлюється парціальним тиском вуглекислого газу і кислотністю водного конденсату та пластової води. Крім парціального тиску CO_2 , інтенсивність корозії залежить від температури газу та кислотності води (рівня рН).

При низькому парціальному тиску CO_2 вплив температури на швидкість корозії незначний, а при високих парціальних тисках CO_2 температурний вплив має велике значення.

2. Вплив пластової води на процес корозії

При заданій концентрації CO_2 із збільшенням обсягу попутної пластової води в продукції свердловини кислотність середовища рН збільшується, що призводить до помітного зниження інтенсивності корозії. При наявності конденсату в газі з високим парціальним тиском CO_2 присутність пластової води може посилити інтенсивність корозії.

Інтенсивність вуглекислотної корозії залежить також від солявого складу пластової води. Наявність у воді великої кількості гідрокарбонатів помітно підлужнює середовище, знижуючи цим кількість вуглекислоти, а, отже, і інтенсивність корозії. При відомій концентрації CO_2 в газі надходження пластової води лужного характеру знижує інтенсивність вуглекислотної корозії. Води жорсткого характеру менше впливають на процес вуглекислотної корозії, ніж лужні. В умовах високих температур і тисків присутність в пластовій воді органічних кислот, при наявності в газі вуглекислого компонента, є однією з основних причин, що підсилюють інтенсивність корозії свердловинного і промислового устаткування.

3. Вплив швидкості потоку на інтенсивність корозії

Експериментальні дослідження і промислові спостереження показують, що при відомій концентрації корозійно-активного компонента (вуглекислого газу, сірководню), одним з основних факторів, що впливають на інтенсивність корозії, є швидкість потоку газорідинної суміші. На відміну від таких факторів, як концентрація корозійно-активного компонента, кількість вологи в продукції свердловини, вміст органічних кислот у воді, тиску, температури і ін., швидкість потоку є регульованим фактором.

При заданих складах пластового газу і води, і термобаричних параметрах пласта потрібно вибрати такі конструкції експлуатаційних свердловин, які забезпечить необхідну швидкість потоку газу та будуть обмежувати інтенсивність корозії.

Встановлено, що зі збільшенням швидкості потоку інтенсивність корозії зростає. Також доведено, що із збільшенням швидкості потоку газорідинної суміші значно зменшуються адсорбційні властивості інгібіторів, тобто процес десорбції переважає процес адсорбції. При заданій швидкості флюїду інтенсивність корозії залежить від режиму течії газорідинного потоку і умов, що викликають конденсацію парів води і конденсату. Якщо ліфтові труби гладкі і структура потоку не змінюється в місцях стикування труб, то інтенсивність корозії збільшується в міру збільшення швидкості потоку.

4. Вплив механічних напружень на характер корозії

Верхня ділянка НКТ є найбільш навантаженою і, відповідно, ймовірність обриву труб на ній є найвищою. Крім того, через те що у верхньому перерізі НКТ тиск найменший, швидкість руху газорідинного потоку є найбільшою, що також прискорює процеси корозії. Максимальні напруження, а відповідно і максимальна корозійна пошкодженість, як правило, спостерігаються в верхній ділянці, що вказує на зв'язок процесу корозії з рівнем напруг, що розтягують.

Механічні напруження в матеріалі труб - визначальні чинники виникнення і розвитку корозійного розтріскування. З ростом напружень можливість та інтенсивність корозійного розтріскування зростає.

При напруженнях розтягування, що досягають величини границі текучості металу або перевищують цю величину, всі вуглецеві і низьколеговані сталі схильні до швидкого корозійного розтріскування. Інтенсивність загальної корозії також збільшується з ростом напруги внаслідок механохімічної корозії.

Особливо небезпечно вплив циклічних напружень, що викликають корозійну втоми сталі. Циклічність напруг виникає через динамічність потоку флюїду: коливання тиску та температури газу, швидкості газорідинного потоку.

Для аналізу марок НКТ, що застосовуються на свердловинах родовищ з високими пластовими тисками та температурами, а також значною часткою CO_2 в газі, нами розроблена методика виконання лабораторних досліджень із відтворенням в лабораторних умовах

впливу внутрішньосвердловинного середовища (парціального тиску CO_2 , Ph супутньо-пластової води, високої температури, виникаючих напружень розтягу та згину) на зразки сталі.

Методика досліджень включає наступні операції:

1. Хімічний аналіз марок сталі із виготовленням шліфів та дослідженням їх структури

Дослідження структури сталей та їх хімічного складу за допомогою скануючого електронного мікроскопа (ЕМ) ZEISS EVO 40XVP з системою рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Схема скануючого електронного мікроскопа та фотографія приведена на рис. 1.

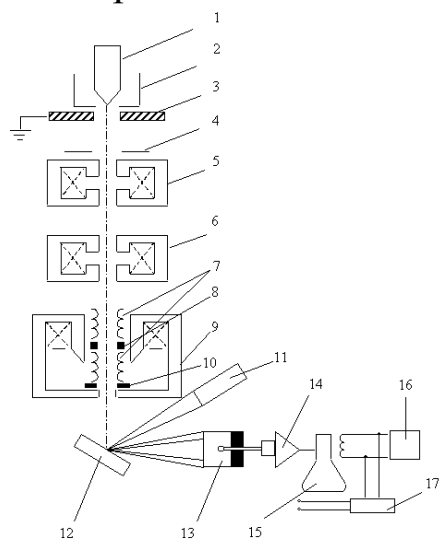


Рисунок 1 – Принципова схема (а) і фотографія (б) електронного мікроскопа:

1...3 – електронна гармата; 4...10 – електронно оптична система; 12 – досліджуваний зразок; 11...17 – система, що формує зображення.

Методика досліджень зразків різних марок сталі на електронному мікроскопі включає дослідження, як підготовлених зразків (шліфів), так і поверхонь об'єктів без попередньої підготовки. Велика глибина різкості зображення на ЕМ дає змогу отримувати додаткову інформацію, проводячи глибоке травлення шліфів.

Для вивчення топографії поверхні сталі використовується також оптична мікроскопія (METAM PB-21 та ZEISS Stemi-2000). Приготування шліфів проводиться на шліфувально-полірувальному станку Struers (рис. 2).



Рисунок 2 – Шліфувально-полірувальний станок Struers

2. Корозійно-електрохімічні дослідження

Корозійно-електрохімічні дослідження дають змогу отримати достатньо добре відтворювані порівняльні дані для визначення ступеня впливу окремих факторів (температури, вмісту агресивних компонентів, складу металу, його структури, напружень) на розвиток корозійного процесу та є пришвидшеними методами випробовувань. Про корозійну тривкість металів і сплавів роблять висновок за їх електрохімічними характеристиками. Вольтамперометрія дає можливість оцінювати, з якою швидкістю протікає електрохімічна корозія в даному середовищі. Метод базується на вивченні залежності швидкості електрохімічної реакції (катодної чи анодної) від потенціалу металу. Дослідження проводяться в електрохімічній комірці за схемою, поданою на рис. 3

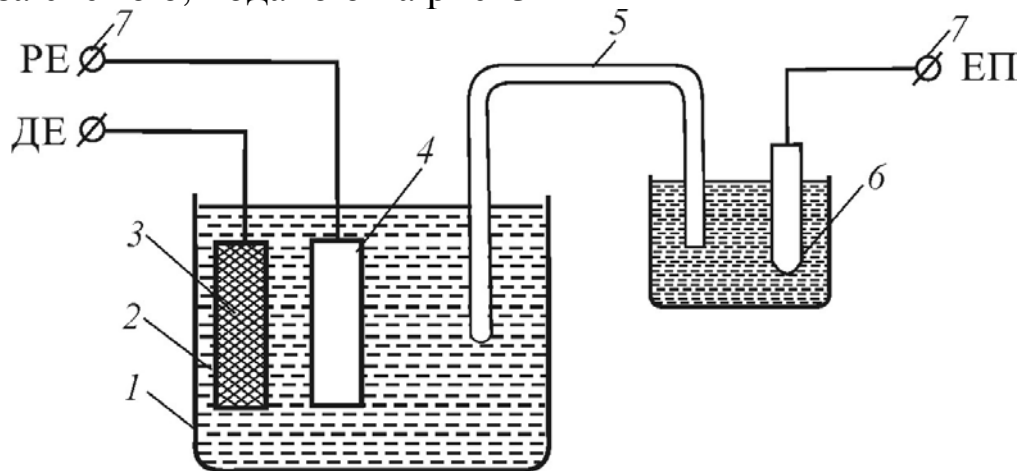


Рисунок 3 – Схема установки для поляризаційних досліджень: 1 – електрохімічна комірка; 2 – розчин електроліту; 3 – допоміжний електрод (ДЕ); 4 – робочий електрод (РЕ); 5 – соляний місток; 6 – електрод порівняння (ЕП); 7 – відповідні клеми потенціостата.



Рисунок 4 – Установа для поляризаційних досліджень

3. Корозійні та корозійно-механічні дослідження деформованих та недеформованих зразків сталей за підвищених температур і парціального тиску вуглекислого газу.

Методика включає в себе проведення корозійних досліджень зразків сталей для НКТ в лабораторному автоклаві АСКР-ТТ (рис. 5) при трьох температурах – 60, 90 та 120 °С і заданого парціального тиску вуглекислого газу (CO₂) в умовах максимально наближених до свердловинних (з відтворенням складу супутньо-пластової води).

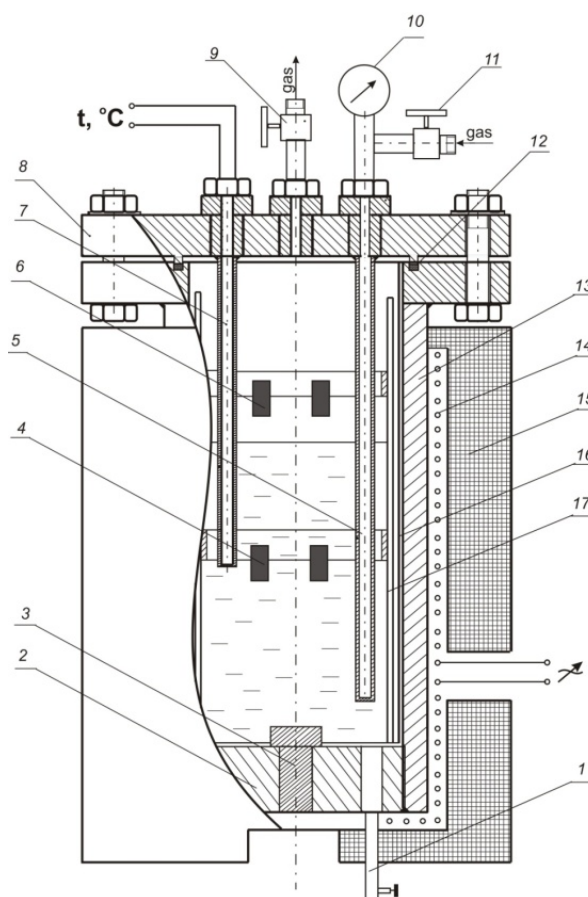


Рисунок 5 – Лабораторний автоклав для проведення корозійних досліджень матеріалів за підвищених температур і тисків АСКР-ТТ
 1 – вентиль для відведення розчину; 2 – днище; 3 – заглушка; 4, 6 – зразки; 5 – дренажна трубка; 7 – трубка для введення термопари; 8 – покриття; 9 – вентиль для відведення газу; 10 – манометр; 11 – вентиль для подавання робочого газу; 12 – фторопластове ущільнення; 13 – корпус; 14 – нагрівник; 15 – ущільнювач для нагрівника (термоізолятор); 16 – хімічно стійке фенол-епоксидне покриття; 17 – стояк для кріплення зразків.

4. Дослідження сталей з малою швидкістю деформації в лабораторному повітрі та корозійно активному середовищі

Дослідження проводяться за неперервної деформації зразка розтягуванням з швидкістю 10^{-6} с $^{-1}$ за одночасної дії корозивного середовища на установці УВП-6 (рис. 6).

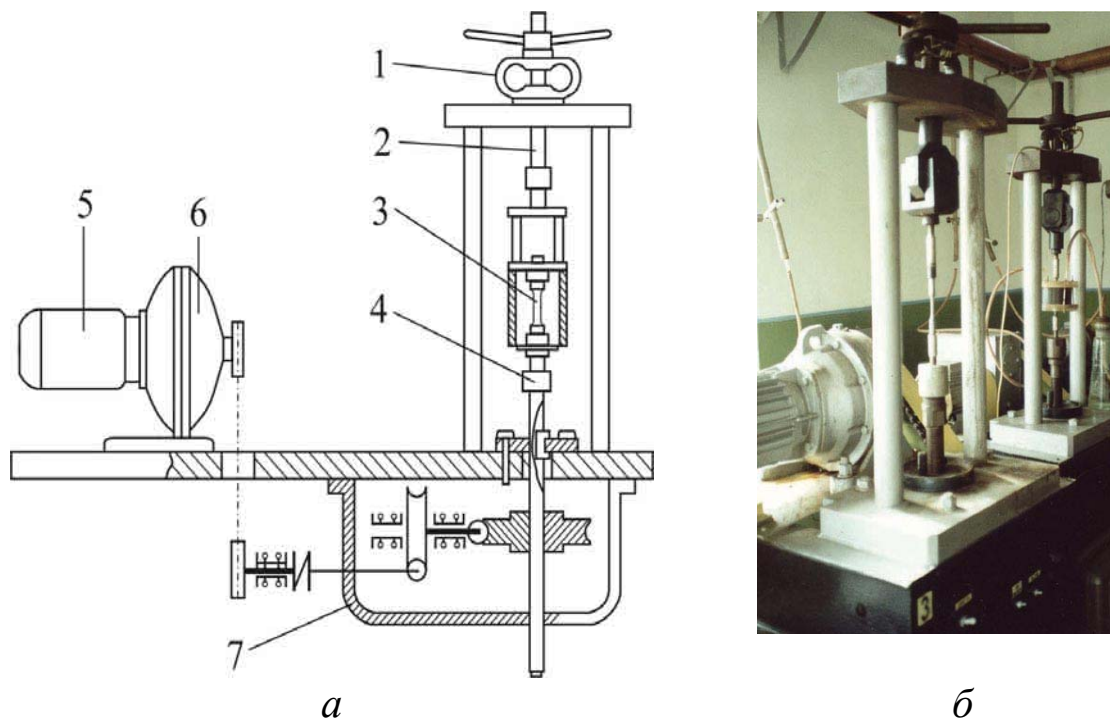


Рисунок 6 – Установка УВП-6 для випробувань зразків з малою швидкістю деформації

а – схема установки; *б* – зовнішній вигляд;

1 – динамометр; 2 – тяга верхня; 3 – зразок; 4 – тяга нижня; 5 – електродвигун; 6 – головний редуктор; 7 – редуктори проміжкові

5. Методика дослідження сталей на предмет наявності корозійно-активних неметалевих включень (КАНВ)

Хімічний склад неметалевих включень у сталях визначають на поверхнях зламів зразків на повітрі після досліджень на повільний розтяг методом спектрального рентгенівського мікроаналізу INCA Energy (Англія) з енергетичною дисперсією.

6. Дослідження опірності зразків сталей НКТ малоцикловій корозійній втомі

Випробування проводяться на модернізованій машині ІМА-5 (рис. 7) з додатково встановленим редуктором, що забезпечує деформування зразків чистим згином з обертанням при частоті навантаження 1 Гц, в атмосфері лабораторії та корозійно-активному середовищі.

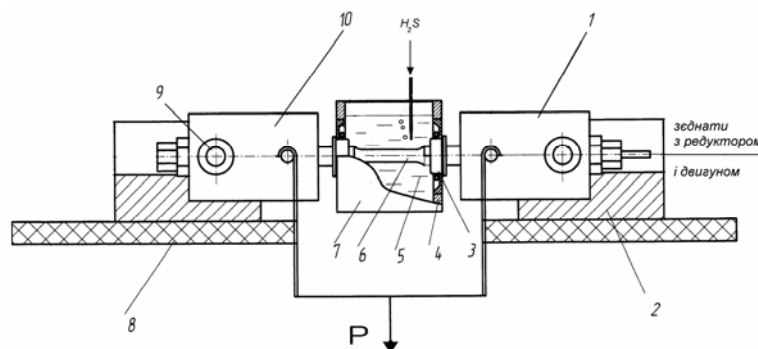


Рисунок 7 – Схема установки для досліджень малоциклової корозійної втоми:

1,10 – барабани; 2 – станина; 3 – фторопластові втулки; 4 – сальники; 5 – корозивне середовище; 6 – зразок; 7 – комірка для корозивного середовища; 8 – робочий стіл; 9 – підшипник; P – навантаження

Максимальні напруження, а відповідно і максимальна корозійна пошкодженість, як правило, спостерігаються в верхній ділянці, що вказує на зв'язок процесу корозії з рівнем напруг, що розтягують.

Механічні напруження в матеріалі труб - визначальні чинники виникнення і розвитку корозійного розтріскування. З ростом напружень можливість та інтенсивність корозійного розтріскування зростає.

При напруженнях розтягування, що досягають величини границі текучості металу або перевищують цю величину, всі вуглецеві і

низьколеговані сталі схильні до швидкого корозійного розтріскування. Інтенсивність загальної корозії також збільшується з ростом напруги внаслідок механохімічної корозії. Особливо небезпечно вплив циклічних напружень, що викликають корозійну втому сталі. Циклічність напруг виникає через коливання тиску та температури газу, швидкості газорідного потоку.

Основна кількість відмов при експлуатації НКТ за статистикою відбувається саме через стрес-корозії або корозії під напругою. У ряді випадків такий тип корозії провокується навантаженнями, що перевищують допустимий рівень. Тому перед плануванням спуску НКТ необхідно проводити розрахунок розтягуючих навантажень, і компоновку планувати таким чином, щоб не перевищувати гранично допустимої норми запаса міцності на рівні 30..50% понад фактичних напружень для вертикальних свердловин.

Окрім раціонального вибору матеріалів колон НКТ нами розроблений розрахунковий метод підбору оптимальних конструкцій ліфтів, що забезпечують відповідність наступним умовам:

забезпечення мінімальних гідродинамічних втрат тиску при транспортуванні продукції свердловин на поверхню;

– забезпечення виносу рідини (води та конденсату) з вибою свердловини;

– забезпечення оптимальної швидкості потоку (5 – 11 м/с) у верхніх перерізах НКТ з метою уникнення ерозійно-корозійного руйнування труб та муфтових з'єднань

В результаті проведення вищеописаних досліджень ми можемо визначити марку сталі, що за своїми експлуатаційними характеристиками найкраще відповідає внутрішньосвердловинним умовам із впливом «солодкої» корозії та надати рекомендації, щодо її застосування в компоновках ліфтових труб визначеного перерізу.

Література

1. Каталог Нафтогазопромислові труби
<https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/pipes/catalog/e1r-001.pdf>
2. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. – М.: Изд.-во АН СССР, 1959. – 592 с.
3. <https://www.aboutcorrosion.com/2014/04/13/howto-determine-pitting-and-repassivation-potentials/>
4. Крохмальний А.М., Хома М.С., Похмурский В.И. Особенности коррозионно-усталостного разрушения и защиты нержавеющей сталей – Львов:

1992. – 47 с. (Препр. / Физ.-мех. ин-т. им. Г.В. Карпенко АН Украины; №183-92).

5. Методика оценки степени загрязненности стали коррозионно-активными неметаллическими включениями. НИФХИ им. Л.Я. Карпова. – ОАО «Северсталь», 2004. – 2 с.

6. Изучение структуры неметаллических включений в стали марки 13ХФА и их влияния на инициирование процессов питтингообразования / Беликов С.В., Сергеева К.И., Карабаналов М.С., Россина Н.Г., Попов А.А. // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11-2. – С. 367-372.

7. Похмурський В.І., Хома М.С. Корозійна втома металів та сплавів. Монографія. — Львів: СПОЛОМ, 2008. — 304 с.

ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСИ: ВІКІПЕДІЯ

Інформаційна довідка:

«**Українська Вікіпедія** — україномовний розділ Вікіпедії, багатомовного інтернет-проєкту зі створення інтернет-енциклопедії на базі вікісайту, яку може редагувати кожний охочий користувач Інтернету.

На цей час кількість статей української Вікіпедії становить 1 360 247. За цим показником вона перебуває на **14-му** місці серед усіх мовних розділів, на **10-му** місці серед європейських Вікіпедій та на **3-му** місці серед Вікіпедій слов'янськими мовами.

Українська Вікіпедія станом на 8 січня 2025 року має 781 543 зареєстрованих користувачів, 49 адміністраторів. Загальна кількість сторінок в українській Вікіпедії — 4 829 301, редагувань — 44 223 985, завантажених файлів — 115 936. Глибина (рівень розвитку мовного розділу) української Вікіпедії середня і становить 59.6 пунктів».

«**Вікімедіа Україна**» (скор. ВМУА) — громадська організація, регіональне відділення «Фонду Вікімедіа» в Україні. Заснована 2009 року. Станом на 1 жовтня 2024 року налічувала 64 члени. Популяризує та підтримує проєкти Фонду Вікімедіа через проведення віківишколів, конференцій, конкурсів статей, фотографій та інших заходів.

Насамперед це стосується власне **Вікіпедії** – флагманського проєкту «Фонду Вікімедіа», а також таких проєктів,

як Вікісловник, Вікіновини, Вікіпідручник, Вікіцитати, Вікіджерела, Вікімандри, Віківерситет, Вікісховище, Вікідані, Віківиди.



У 2024 р. у Києві відбулася ВІКІКОНФЕРЕНЦІЯ-2024. Координатор програм ГО «Вікімедія Україна» Антон Процюк виступив з доповіддю:



Зупиняємося на основних моментах його доповіді.

Фонд Вікімедіа

- Некомерційна організація зі штаб-квартирою у США; персонал з ~700 людей.
- Функції (спрощено):
 - **хостинг + технічний і продуктовий розвиток;**
 - **юридичний захист** (+trust & safety; +адвокація);
 - **підтримка та розвиток спільнот**, зокрема через гранти людям та організаціям;
 - **фандрейзинг** (щоб фінансувати згадане вище);
 - **операційна команда** (щоб підтримувати згадане вище) — наприклад, фінансисти.

Афілійовані організації

- Ключові функції (деталі залежать від кожної організації):
 - **Підтримка локальних спільнот** (події для спільнот, навчання, мікрогранти)
 - **Аутріч, залучення нових людей** (тренінги, освітні програми тощо)
 - **Допомога в залученні контенту** (конкурси/кампанії)
 - **Комунікації, партнерства** (з урахуванням локального контексту)

Афілійовані організації

- ~200 організацій —
чаптери,
користувацькі групи,
тематичні організації
- Багато є
волонтерськими об'
єднаннями, деякі
більш
професіоналізовані

15 РОКІВ



**СОТНІ ВОЛОНТЕРІВ ТА
ВОЛОНТЕРОК**
7 ПРАЦІВНИКІВ ТА ПІДРЯДНИКІВ
73 ЧЛЕНИ ОРГАНІЗАЦІЇ

ВІКІМЕДІА УКРАЇНА



Глобальні виклики

Цензура і регуляції

- **Урядова цензура** — давня проблема.
 - У Китаї Вікіпедія заблокована; випадки тимчасового/часткового блокування були від Туреччини до Венесуели.
 - Росія ще не заблокувала Вікіпедію, але готується до цього.
- Проблема з демократичними країнами: **Вікіпедія ризикує стати побічною жертвою регулювання техногігантів.**

Штучний інтелект

- Багато **ризиків**:
 - Ризики для **вмісту** — простіше завалювати вікіпроекти низькоякісним контентом (*виступ на онлайн-частині*)
 - Ризики для **фінансової моделі Вікіпедії** — ШІ-інструменти беруть дані з Вікіпедії, але забирають собі її аудиторію => менше відвідувачів => менше жертводавців.
- Але є й можливості — як для технічного розвитку, так і для індивідуальних дописувачів/спільнот.

П'ять стратегічних напрямів

- 1) заповнення прогалин контенту (конкурси статей і фото, тематичні тижні, підтримка вікіекспедицій тощо);
- 2) підвищення участі (Вікімарафон, Освітня програма, залучення недопредставлених груп людей);
- 3) підтримка вікіспільноти (тренінги, події, гранти, стипендії);
- 4) обізнаність про Вікімедіа — розповідаємо про Вікіпедію, вікіпроекти та вільні знання;
- 5) адвокація змін до законодавства, корисних для розвитку вільних знань (зокрема «свобода панорами»).

Освітня програма

- Підтримка та розвиток освітян вікіспільноти: регулярні онлайн-зустрічі + велика конференція + навчальні матеріали
- Регулярні співпраці та події
 - Вікішколи + тренінги і лекції
 - Програми в університетах (КНУ, Львівська політехніка, УКУ, Західноукраїнський національний університет)



Хартія Руху

- Останні кілька років тривав процес розробки **Хартії Руху** (*Movement Charter*) — щось на кшталт «конституції» міжнародного вікіруху. Вона мала визначити урядування руху, права та обов'язки основних стейкголдерів.
- Ключова ціль — **децентралізація влади та впливу** у вікірусі; створення Глобальної ради, яка б репрезентувала міжнародний вікірух.

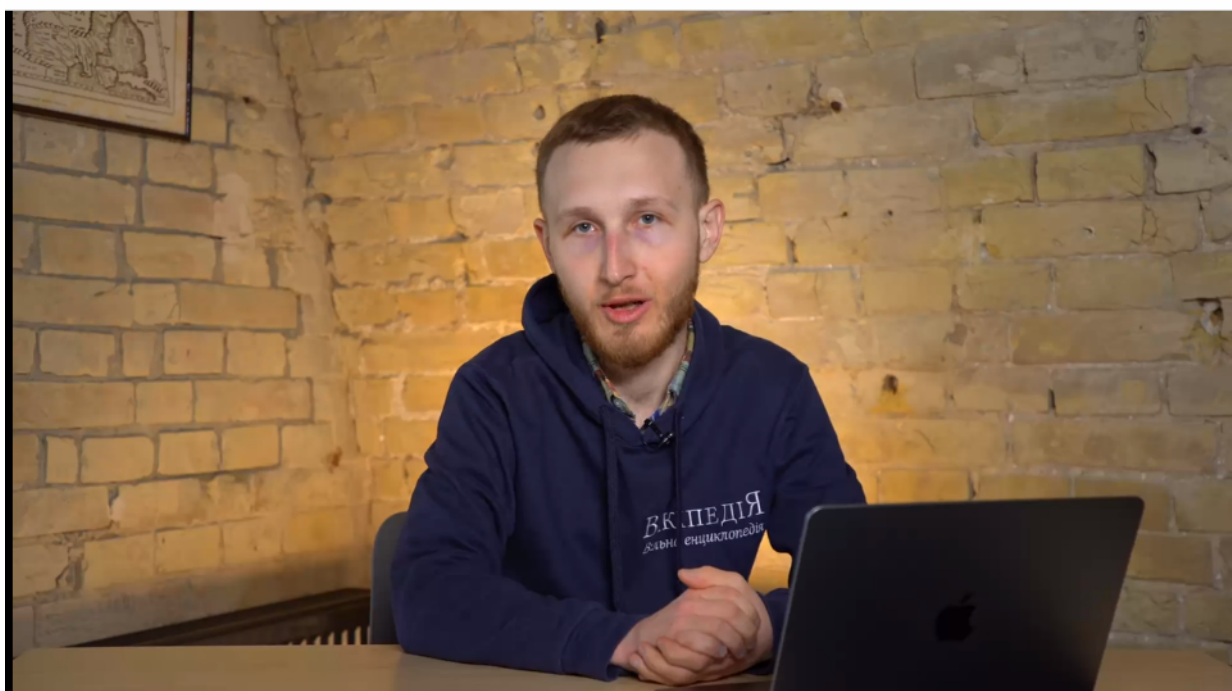


Jason Krüger, CC BY-SA

**Все про Вікіпедію та Вікімедію у короткому (4,5 хв)
відео розкажує
Координатор програм ГО «Вікімедія Україна»
Антон Процюк**

<https://www.youtube.com/watch?v=KybAkRS3aY8>

Wikimedia Ukraine's work – Wikimedia Ukraine 2024 video tutorial.webm



Вікіконференція 2024

Контакти:

- info@wikimedia.org.ua — загальний
- anton.protsiuk@wikimedia.org.ua — особистий

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

До розгляду приймаються статті обсягом до 2 друк. арк. (80000 знаків з пробілами).

Мова видання – українська. Окремі матеріали редакція вважає за можливе вміщати іншими мовами – англійською, польською, російською та ін.

Стаття повинна мати УДК, прізвище та ім'я (ініціали) автора, його науковий чи інший статус.

Рекомендуємо таку структуру статті: назва статті, анотація та ключові слова (укр. та англ. мовою), постановка проблеми, стан вивчення проблеми, мета та завдання статті, виклад основного матеріалу, висновки, література та джерела (оформлюється за чинними стандартами).

Наукове видання

**ДОНЕЦЬКИЙ ВІСНИК
НАУКОВОГО ТОВАРИСТВА
ім. ШЕВЧЕНКА (т. 54)**

Редакція текстів – авторська

Підп. до друку 12.01.2025. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman Суг. Друк цифровий. Ум. друк. арк.
12. Обл.-вид. арк. 10. Наклад 50 прим. Зам. 10-03.