

**ОЦІНЮВАННЯ ДЕГРАДАЦІЇ СТАЛІ ТА  
ЇЇ ВПЛИВ НА ЦІЛІСНІСТЬ  
ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ПРИ  
ТРАНСПОРТУВАННІ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ**

**Ольга Звірко**

**Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України**

**Відділ діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів**





# Водневі трубопроводи у світі<sup>1</sup>

Location	Pipe material	Years of operation	Diameter (mm)	Length (km)	Service pressure (MPa) and hydrogen purity (%)	Status
AGEC, Alberta, Canada	Gr.290 (5LX X42)	Since1987	273 (Thickness: 4.8)	3.7	3.8 (99.9%)	Operational
Air Liquide, Texas/Louisiana, USA	API 5LX42, X52, X60 and other	?	76 - 356	390	5.1	Operational
Air Liquide, France, Belgium, Netherlands	Seamless Carbon steel	Since1966	Up to 304.8	879	6.5-10 (pure and raw H <sub>2</sub> )	Operational
Air Products, Houston, USA	-	Since1969	114.3 – 324	100	0.345 – 5.516 (pure H <sub>2</sub> )	Operational
Air Products, Louisiana	ASTM 106	?	101.3 – 304.8	48.3	3.447	Operational
Air Products, Sarnia	-	-	-	~3	-	Operational
Air Products, Texas	Standard natural gas line pipe (steel)	>10	114.3	8	5.5 (pure H <sub>2</sub> )	Operational
Air Products, Texas	steel, Schedule 40	>8	219	19	1.4 (pure H <sub>2</sub> )	Operational
Air Products, Netherlands	-	-	-	45	(flow rate : 50 t/day)	Operational
South Africa	-	-	-	80	-	-
Chemische Werke Huis AG, Ruhr, Germany	Seamless equipment to SAE 1016 steel	Since1938	168-273	215	Up to 2.5 (pure H <sub>2</sub> )	Operational
Cominco B.C., Canada	Carbon Steel (ASTM 210 seamless)	Since1964	5 (Thickness: 0.8)	6	>30 (62-100 %)	Stand-by
Gulf Petroleum Cnd, Petromont – Varnes	Carbon Steel, seamless, Schedule 40	-	168	16	93.5% H <sub>2</sub> -7.5% CH <sub>4</sub>	Operational
Hawkeye Chemical, Iowa	ASTM A53 Gr. B	3	152.4	3.2	2.8	Operational
ICI Billingham, UK	Carbon Steel	-	-	15	30 (pure H <sub>2</sub> )	-
LASL, New Mexico	ASME A357 Gr. 5	-	25.4	6.4	13.8	Abandoned
Los Alamos, New Mexico	5Cr-Mo (ASME A357 Gr. 5)	>8	30	6	13.8 (pure H <sub>2</sub> )	Abandoned
Linde, Germany	-	-	-	1.6 – 3.2	-	-
NASA-KSC, Florida	Stainless steel 316 (austenitic)	>16	50	1.6-2	42	Operational
NSA-MSFC, Alabama	ASTM A106-B	-	76.2	0.091	34.5	Abandoned
Philips Petroleum	ASTM A524	4	203.2	20.9	12.1 – 12.8	Operational
Praxair, Golf Coast, Texas, Indiana, California, Alabama, Louisiana, Michigan	Carbon Steel	-	-	450	H <sub>2</sub> commercial grade (14 M Nm <sup>3</sup> /day)	Operational
Rockwell International S.	Stainless steel -116	>10	250	-	>100 (ultra pure H <sub>2</sub> )	-

<sup>1</sup> M. Mohitpour, H. Solanky and G. Vinjamuri "Materials Selection and Performance Criteria for Hydrogen Pipeline Transmission" proceedings of PVP 2004 Conference: 2004 ASME/JSME Pressure Vessel & Piping, San Diego, CA (2004)

## The NATURALHY project [2004 – 2008]

XXIII міжнародна науково-практична онлайн – конференція  
 «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті»  
 19-20 травня 2022, м. Київ (онлайн)



# Перспективи використання газотранспортної мережі України для транспортування зеленого водню



Газотранспортна мережа України

Європейська воднева стратегія (European Hydrogen Backbone)

Створення мережі водневих трубопроводів у Європі до 2040 р.

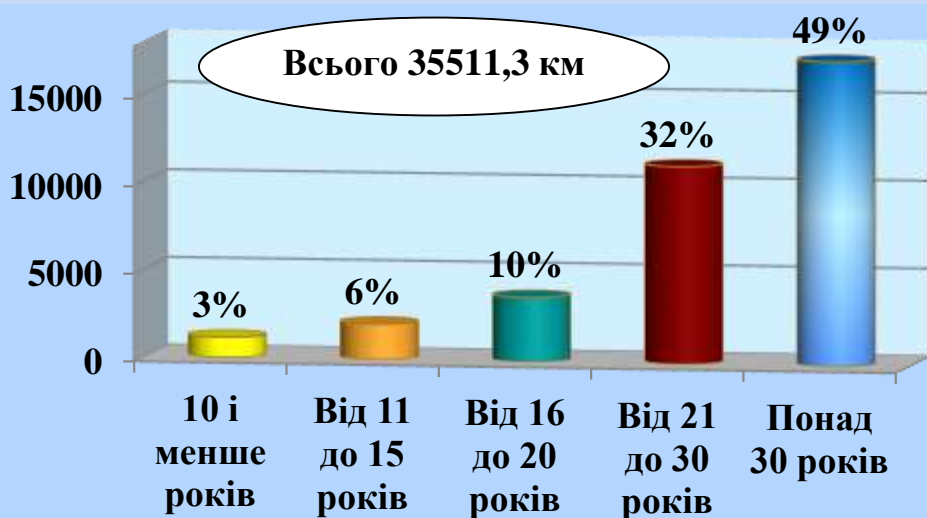
## Виклики

- H** Експлуатаційна деградація сталі
- H** Негативний вплив водню на механічні властивості сталі



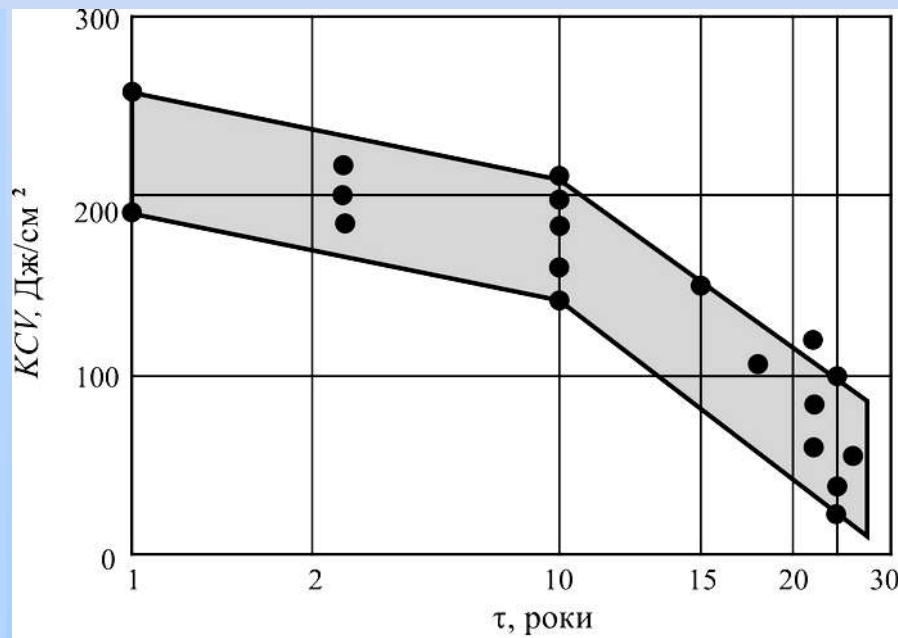
# Старіння та експлуатаційна деградація сталей газопроводів

## Старіння трубопроводів



Тривалість експлуатації  
магістральних газопроводів  
України

## Деградація трубних сталей



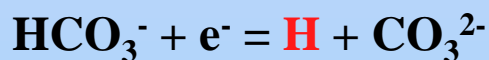
Зміна опору крихкому руйнуванню трубних сталей в часі їх експлуатації



# Наводнювання та розвиток пошкодженості у трубних сталях під час експлуатації

## Шляхи наводнювання

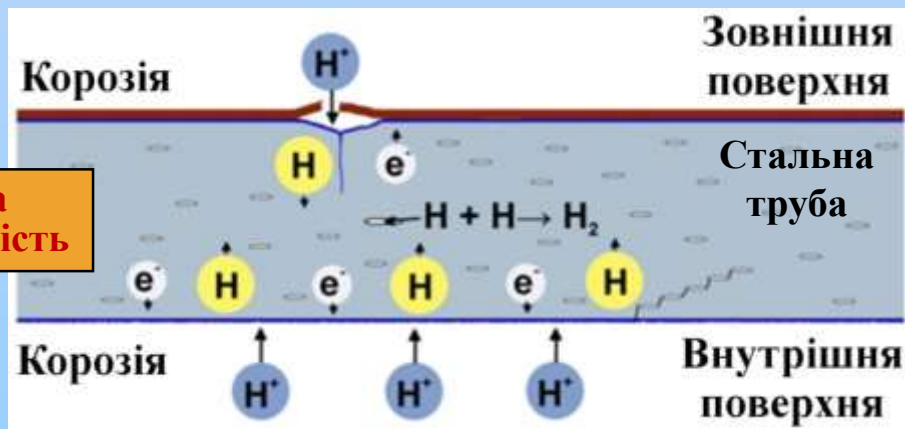
Виділення водню внаслідок електрохімічної корозії



Дисоціація молекулярного водню

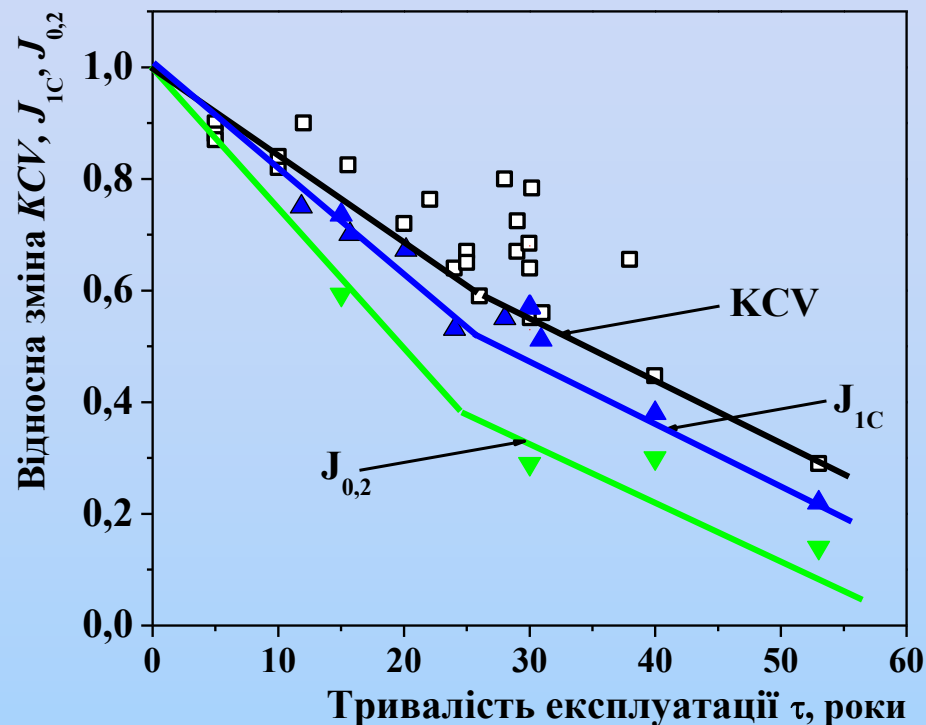
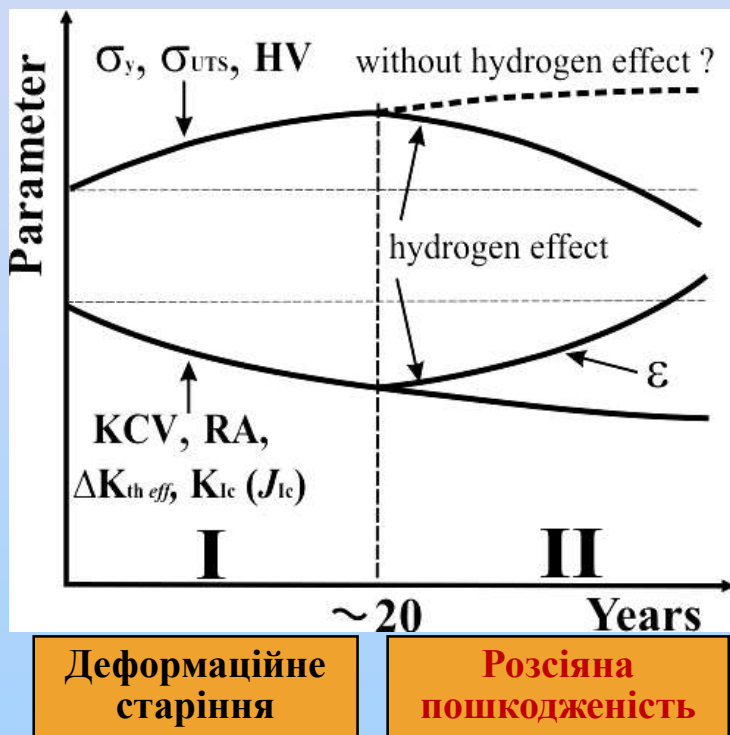


Розсіяна пошкодженість





# Чутливість характеристик трубних сталей до експлуатаційної деградації



Зміна механічних властивостей трубних сталей в часі їх експлуатації

Характеристики, регламентовані чинними нормативними документами: міцність, пластичність, твердість та ударна в'язкість. Однак, характеристики міцності, пластичності та твердість є недостатньо чутливими до деградації трубних сталей.

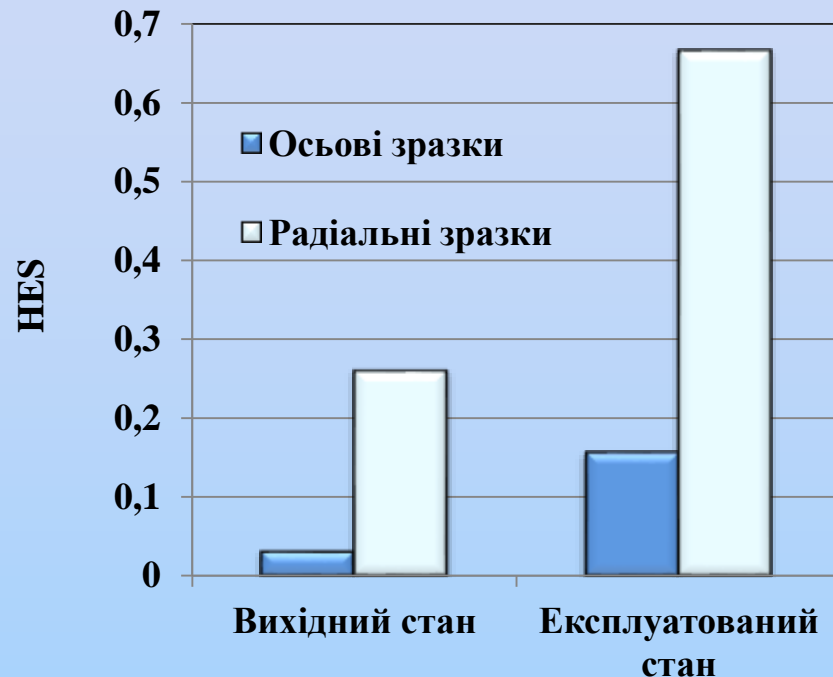
**Найчутливішими є характеристики опору крихкому руйнуванню: тріщиностійкість та ударна в'язкість.**



## Чутливість тривало експлуатованих сталей газопроводів до водневого окрихчення



Сталь 17Г1С, 29 років експлуатації



Сталь 20, 44 роки експлуатації

Показник схильності до водневого окрихчення (hydrogen embrittlement susceptibility) HES:

$$HES = 1 - \frac{RA_H}{RA}$$

$RA_H$ ,  $RA$  – відносне звуження зразків за випроб розтягом у повітрі після попереднього електролітичного наводнювання та без нього, відповідно



## Висновки

**Отже, для визначення потенціалу застосування існуючої газотранспортної системи України до транспортування зеленого водню чи його суміші з природним газом та обґрунтування умов її безпечної експлуатації необхідно:**

- ✓ проаналізувати поточний технічний стан її складових,**
- ✓ оцінити вплив водню на механічну та корозійно-механічну поведінку деградованого металу,**
- ✓ визначити залишковий ресурс газотранспортної мережі з урахуванням деградації трубних сталей та наводнювання при транспортуванні водню.**

**Дякую за увагу!**

**Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України**

**Відділ діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів**

