

# ГЕОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-01>  
УДК 624.131.155

Надійшла 27 червня 2022 р.  
Прийнята 7 липня 2022 р.

## Вплив складних інженерно-геологічних умов на довговічність полімерного трубопроводу

*Вадим Александрович<sup>1</sup>,*

к. техн. н., доцент, зав. кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології,  
<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна,  
e-mail: [v.a.aleksandrovych@ukr.net](mailto:v.a.aleksandrovych@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-3406-2408>;

*Ольга Гаврилюк<sup>1</sup>,*

ст. викл. кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології,  
e-mail: [gavrilyk.o.v@gmail.com](mailto:gavrilyk.o.v@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7057-2499>;

*Валерій Сухов<sup>2</sup>,*

к. геол. н., в.о. завідувача кафедри фундаментальної та прикладної геології,  
<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [valery.sukhov@karazin.ua](mailto:valery.sukhov@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>

Дослідження проводилися на ділянці розташування склопластикового нафтозбірною трубопроводу Анастасівського родовища Роменський р-н, Сумська область, Україна. Актуальність дослідження ґрунтової основи та інженерно-геологічних процесів на ділянці досліджень викликана повторюючимися розгерметизаціями стиків склопластикового нафтозбірною колектору. Розгерметизація стиків нафтозбірною колектору спостерігається у весняний та осінній періоди і в основному зосереджена на ділянці проходження трубопроводу по схилу. Метою дослідження було вивчення геолого-геоморфологічної будови ділянки вздовж траси розташування склопластикового колектору та визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів для оцінки особливостей впливу ґрунтового масиву на полімерний трубопровід. Згідно з геологічною будовою для території дослідження характерне залягання з поверхні товщі делювіальних лесовидних суглинків твердої консистенції, що проявляють просідні властивості. Майже по всій території ці відклади підстилаються четвертинними лесоподібними суглинками тугопластичної консистенції, що не проявляють просідних властивостей. Ці суглинки є водотривом для ґрунтових вод. Така будова зумовила появу першого горизонту ґрунтових вод саме у нижній частині лесових відкладів. Живлення цього горизонту в природних умовах відбувалось в основному за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а розвантаження ґрунтових вод відбувається на схилах річкових долин та балок. Наявність на схилах шарів глинистих ґрунтів обумовлює формування зон деформованих горизонтів та зміщення по них вищерозташованих мас ґрунтів або видавлювання цих ґрунтів із основ схилів. Обстеження розгерметизації склопластикового трубопроводу відбувалося у березні 2021 року. Було встановлено наступні негативні та потенційно негативні фактори впливу інженерно-геологічних умов на прокладений в них склопластиковий колектор котрі можуть приводити до розвитку понаднормових напружень: невідповідність фактичної схеми укладки труби проектним рішенням - відсутність піщаної подушки, що могла призвести до нерівномірного вкладання трубопроводу, виникнення ділянок його «провисання»; реалізація просідних властивостей суглинку після укладання трубопроводу в робоче положення та виконання зворотної засипки траншеї, що призводить до виникнення додаткових непроєктних напружень у трубопроводі; потенційна зсувна активність схилу на даній ділянці, що підтверджується розрахунками.

**Ключові слова:** зсуви, просідні явища, складні інженерно-геологічні умови, стійкість схилів, склопластикові колектори.

**Як цитувати:** Александрович Вадим. Вплив складних інженерно-геологічних умов на довговічність полімерного трубопроводу / Вадим Александрович, Ольга Гаврилюк, Валерій Сухов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 8-16. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-01>

**In cites:** Aleksandrovych Vadym, Havryliuk Olha, Suhov Valeriy (2022). Influence of complex engineering and geological conditions on the durability of the polymer pipeline. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 8-16. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-01> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** На території Роменського району Сумської області України внаслідок погіршення технічного стану діючих сталевих нафтозбірних колекторів (по причині корозії) виникла необхідність в будівництві нового нафтозбірною колектору для забезпечення безперебій-

ного транспортування продукції. Проектним рішенням передбачалось прокладання промислового нафтозбірною колектору з склопластикових труб (полімерний трубопровід). Виконано прокладку промислового нафтозбірною колектору від ГЗУ-3 до ГЗУ-2 Анастасівського родовища

для транспортування по ньому нафтогазоводяної суміші в системі збору продукції від ГЗУ до ЦППС Анастасівського родовища.

Надійність та безпека експлуатації трубопроводних систем є одним з пріоритетних напрямків будь-якої держави. Завдання полягає у забезпеченні довготривалої механічної стійкості, надійності та безпеки експлуатації трубопроводних мереж. Вирішення поставленої задачі можливе тільки при проведенні необхідного аналізу щодо оцінки тих чинників, які здійснюють безпосередній негативний вплив на досліджувані об'єкти контролю та можуть призводити до виникнення аварійних ситуацій [1, 5].

Згідно проектним рішенням склопластикові труби приєднуються до відповідних сталевих технологічних трубопроводів, що створює закінчений комплекс для транспорту нафтогазоводяної суміші від ГЗУ на ЦППС Анастасівського родовища. На ділянці досліджень виникла повторювана розгерметизація стиків склопластикового нафтозбірного колектору. Тому для встановлення причин виникнення розгерметизації стиків між сталевими та склопластиковими трубами запропоновано обстеження ґрунтової основи та інженерно-геологічних процесів на ділянці розташування склопластикової труби Анастасівського родовища НГВУ «Охтирканафтогаз» від ГЗУ-3 до ГЗУ-2.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Внаслідок багаторічної експлуатації значної частини нафтогазопроводів України зростає ризик їх руйнування через виникнення аварійно-небезпечних дефектів, що спричинить надзвичайну ситуацію зі значними наслідками. Загалом, на трубопроводному транспорті, близько 80% від загальної кількості аварій виникає через дефекти зварних з'єднань та інші дефекти, закладені під час виконання будівельно-монтажних робіт, механічні втручання та корозію металу [1-3].

Згідно роботам [6-8] в результаті проведених теоретичних досліджень було розроблено методологію оцінки напружено-деформованого стану підземних ділянок з магістральних нафтогазопроводів, що передбачає математичне моделювання процесу деформування трубопроводів за даними про зміну їх просторової конфігурації, котра відрізняється тим, що рівень напружень визначається шляхом розрахунку на основі математичної моделі з урахуванням параметрів трубопроводу та умов експлуатації, а основний параметр, переміщення осі підземного трубопроводу відносно планового положення, вимірюються безконтактно [7].

Поняття «ремонт магістрального газопроводу» на державному рівні не встановлене та, відповідно, не стандартизоване. Дотепер загальна

оцінка стану безпеки магістральних трубопроводів в Україні відсутня, існує лише практика оцінки небезпеки їх дефектів [4, 5].

Експертно-технічні центри та експлуатуючі організації досі користуються нормами, які регламентують якість виготовлення труб або нормами допуску дефектів під час будівництва трубопроводів [4]. Такі документи жодним чином не пов'язані з реальним станом конструкційних матеріалів магістральних трубопроводів і рівнем навантаженості конструкції.

На етапі експлуатації використання таких документів призводить до прийняття необґрунтованих рішень щодо виду ремонту магістральних трубопроводів та, як наслідок, появи невіправданих затрат на ремонтні роботи [5].

Майже єдиним реалізованим намаганням України у площині стандартизації на Державному рівні підходу до визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів є Державний стандарт України ДСТУ-Н Б В.2.3-21-2008 «Наставова. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами» [11, 12]. Однак, ДСТУ-Н Б В.2.3-21-2008 не націлений на визначення ризиків, хоча і має значно ширші межі застосування, у порівнянні з ВБН В.2.3-00018201.04-2000 «Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами». ДСТУ-Н Б В.2.3-21-2008 безумовно сприяє більш якісній оцінці залишкової міцності дефектомістких ділянок магістральних трубопроводів, але без його постійної актуалізації та без впровадження на Державному рівні «Системи управління цілісністю трубопроводів» або тотожної системи цей стандарт залишається лише однією з методичних ланок неіснуючої системи [5].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Застосування полімерних трубопроводів в якості магістральних мереж на території нашої держави є досить новою і перспективною тенденцією, але відсутність достатнього досвіду та державних стандартів з їх прокладання приводить до виникнення певних проблем з їх довговічністю, особливо на ділянках зі складними інженерно-геологічними умовами.

**Формулювання мети статті.** На прикладі промислового нафтозбірного колектору з склопластикових труб Анастасівського родовища, що розташовано на території Роменського району Сумської області України проаналізовано вплив складних інженерно-геологічних умов на довговічність полімерного трубопроводу.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** В геологічній будові території до розвідувальної глибини (4 м) беруть участь неоген-палеогенові та четвертинні відклади. Четвертинні відклади представлені суглинками та лісоподібними суглин-

ками, що залягають незгідно на глинисто-піщаних відкладах неоген-палеогенового віку. Озерно-болотні відклади зустрічаються лише в знижених ділянках рельєфу та разом з делювіальними відкладами мають локальне розповсюдження.

В розрізі товщі на площі інженерно-геологічних вишукувань виділено 6 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ):

ІГЕ 1 – насипний ґрунт автодоріг (асфальтове покриття, щебінь, гравій, пісок) потужністю більше 1,0 м;

ІГЕ №2 – ґрунтово-чорноземний шар, суглинистий, в заболочених низинах – слабозаторфований, потужністю від 0,6 м до 1,7 м;

ІГЕ №3а – мул чорний, суглинистий, текучої консистенції. Потужність шару становить 0,8 – 1,3 м, має локальне розповсюдження;

ІГЕ №3 Суглинок озерно-болотного походження, чорний, коричнево-чорний, замулений, з рештками не розкладених рослин, м'язкопластичний. Має локальне розповсюдження. Потужність шару становить від 1,0 до 1,7 м;

ІГЕ №4 Суглинок делювіальний, сірий, тугопластичний, легкий. Максимально пройдена потужність становить 2,5 м;

ІГЕ №5 Суглинок лесоподібний, просідний, твердий, палево-жовтий, жовтий. Максимально пройдена потужність становить 3,0 м. При інтенсивному перезволоженні внаслідок розмокання відбувається зменшення несучих властивостей;

ІГЕ №6 – суглинок лесоподібний, коричневий, коричнево-жовтий, тугопластичної та напівтвердої консистенції, непросідний. Максимально пройдена потужність становить 2,6 м.

Згідно з геолого-геоморфологічними умовами на ділянці дослідження можливі прояви суфозійних та просідних явищ, зсувних процесів, абразія, ерозія та дефляція ґрунту.

Під час візуального обстеження вздовж території, де прокладено нафтопровід з склопластикової труби суфозійних явищ не виявлено. Але спостерігаються ерозійні процеси на схилах, що обумовлюють розвиток зсувних процесів. Відповідно до ДБН В. 1.1 - 46:2017 за механізмом зміщення ґрунтових мас на території можливий розвиток зсувів ковзання, в'язкопластичних зсувів та просідних зсувів. Також може відбуватися зсув рослинного шару по поверхні шарів глинистого ґрунту [9]. Тобто зсувні процеси різні за генезисом, але можуть поєднуватися та переходити з одних типів в інші.

Згідно з геологічною будовою на території дослідження спостерігається залягання з поверхні товщі делювіальних лесовидних суглинок твердої консистенції, що проявляють просідні властивості. Ці відклади майже по всій території підстилаються четвертинними лесоподібними

суглинками тугопластичної консистенції, що не проявляють просідних властивостей. Ці суглинки є водотривом для ґрунтових вод. Така будова зумовила появу першого горизонту ґрунтових вод саме у нижній частині лесових відкладів. Живлення цього горизонту в природних умовах відбувалось в основному за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а розвантаження ґрунтових вод відбувається на схилах річкових долин та балок.

Наявність на схилах шарів глинистих ґрунтів обумовлює формування зон деформованих горизонтів та зміщення по них вищерозташованих мас ґрунтів або видавлювання цих ґрунтів із основ схилів.

Такі особливості геологічної будови схилів зумовлюють розвиток зсувних процесів. До причин виникнення зсувів можна віднести просадочні деформації, що є результатом замочування лесових товщ. Внаслідок інфільтрації поверхневих вод, підняття рівня ґрунтових вод відбувається нерівномірне замочування товщ просадних лесових ґрунтів, що, в свою чергу, призводить до розвитку нерівномірного просідання.

В природних умовах на території прокладання склопластикового колектору рівень ґрунтових вод займає досить високе положення, досягаючи місцями до 3,2 м. Природний режим ґрунтових вод був порушений при прокладанні трубопроводу.

Оскільки під ґрунтово-рослинним шаром майже повсюдно залягають лісоподібні суглинки, які відносяться до водоупорних порід, а рівень ґрунтових вод займає високе положення, то води, інфільтруючись через рослинно-ґрунтовий шар, не проникають до нищезалягаючих шарів ґрунту, а фільтруються по границі розділу між рослинно-ґрунтовий шаром та суглинком. В природних умовах надалі ця вода на схилах сходила до знижених ділянок рельєфу. Але на території дослідження при прокладці склопластикового колектору виконана підрізка схилу, що спричинила також порушення природного режиму підземних вод.

В ході обстеження ділянки промислового нафтозбірного колектору з склопластикових труб Анастасівського родовища встановлено, що територія дослідження відноситься до складних інженерно-геологічних умов на якій фіксуються активні схилі процеси та відбувається реалізація просідних властивостей ґрунту ІГЕ 5 після укладання трубопроводу в робоче положення.

Для більш детального вивчення ґрунтових умов на місці поточної розгерметизації стику стаєвої та склопластикової труб було відібрано проби ґрунту з інженерно-геологічних елементів, що відкрилися під час розкопки трубопроводу для усунення пошкодження (рис. 1).

Після визначалися фізико-механічні характеристики ґрунтів в лабораторії Механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Лабораторія сертифікова-

на на відповідність системи вимірювання вимогам ДСТУ ISO 20012:2005 у сфері визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів згідно діючим ДСТУ.

Визначення фізико-механічних характерис-



Рис. 1. Розгерметизація стику полімерного трубопроводу на Анастасівському родовищі /  
Fig. 1. Depressurization of the joint of the polymer pipeline at the Anastasivsk field

тик ґрунтів виконувалося відповідно до діючих нормативних документів ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей, ДСТУ Б В.2.1-19:2009 основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу, ДСТУ Б В.2.1-4:96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості.

Лабораторне моделювання напруженого стану ґрунтового масиву виконувалося за двома схемами на приладі ПСГ-2М та приладах системи І. І. Литвинова. Згідно першої схеми – зсув прискорений, дренажований, ґрунтів природної вологості в умовах незавершеної консолідації; друга схема – зсув прискорений, дренажований, водонасичених ґрунтів в умовах незавершеної консолідації.

Визначені просідні властивості ґрунтів основи трубопроводу було порівняно з даними інженерно-геологічних вишукувань, що виконувалися для робочого проекту для встановлення можливої реалізації просадки ґрунтової основи.

Відібрані проби ґрунту на ділянці розгерметизації стику сталеві та склопластикові труби згідно лабораторним дослідженням належать до належності до ІГЕ №2 – ґрунтово-чорноземний шар, суглинистий та ІГЕ №5 – суглинок лесопо-

дібний, просідний, палево-жовтого, жовтого кольору.

Основні розрахункові фізико-механічні характеристики визначені в лабораторії наведено у таблиці 1.

Характерною особливістю, котра була відзначена при лабораторних дослідженнях ґрунтів, підстилаючого шару ІГЕ 5 стало значення початкового просідного тиску  $P_{st}=0,2$  МПа.

Порівнюючи дані початкового просідного тиску для ІГЕ 5, виявлено, що станом на 2017 рік при проведенні інженерно-геологічних досліджень для ІГЕ 5 було визначено  $P_{st}=0,045$  МПа.

Такі дані свідчать про реалізацію просідних властивостей ґрунту ІГЕ 5 під тиском ґрунту зворотної засипки, котрий на глибині злягання покрівлі ІГЕ 5 (1,0-1,5м) становить  $\gamma \approx 0,17 - 0,255$  МПа.

Оскільки без додаткового тиску на ІГЕ 5 просідання не могло реалізуватися, то вбачається реалізація просідних властивостей ґрунту після укладання трубопроводу та виконання зворотної засипки траншеї. Така ситуація могла скластися внаслідок розпушування ґрунту зворотної засипки траншеї і інфільтрація через неї атмосферних опадів до ІГЕ 5. Також могла мати місце ситуація виконання зворотної засипки і як наслідок навантаження замоченого ґрунту ІГЕ 5, котрий отримав

## Фізико-механічні характеристики ґрунту / Physical and mechanical characteristics of soil

№ п/п	Характеристика ґрунту	Значення
<i>ІГЕ – 2</i>		
1	Природна вологість, ч.о.	0,30
2	Питома вага ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	17,1
3	Питома вага часок ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	25,0
4	Питома вага сухого ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	13,1
5	Коефіцієнт пористості, ч.о.	0,90
6	Пористість, %	47,44
7	Ступень вологості, ч.о.	0,83
8	Кут внутрішнього тертя, $\varphi^0$	16,7
9	Питоме зчеплення, кПа	10
10	Модуль деформації E, МПа	1,32
<i>ІГЕ – 5</i>		
1	Природна вологість, ч.о.	0,26
2	Число пластичності	8,32
3	Показник текучості	0,54
4	Питома вага ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	18,8
5	Питома вага часток ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	27,1
6	Питома вага сухого ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	14,9
7	Коефіцієнт пористості, ч.о.	0,81
8	Пористість, %	45
9	Ступень вологості, ч.о.	0,86
10	Кут внутрішнього тертя, $\phi 0$	21,8
11	Питоме зчеплення, кПа	10
12	Модуль деформації E, МПа	3,57
	<i>Водонасичений стан</i>	
13	Початковий просідний тиск Psl, МПа	0,2
14	Кут внутрішнього тертя, $\phi^0$	17,35
15	Питоме зчеплення, кПа	5

зволоження атмосферними опадами під час відкритої траншеї, або сукупність обох факторів.

Ділянки та глибина реалізації просадки ІГЕ 5 не може бути досліджена через відсутність доцільності відібрати проби вздовж усього трубопроводу (вздовж колишньої траншеї) з певним інтервалом по довжині та глибині, тож розрахувати абсолютну величину просідання та напруження в трубопроводі, що виникли внаслідок даного явища не є можливим. Але з огляду на значну розцентровку ділянок трубопроводів після їх розрізання такий вплив є досить істотним.

Оцінка стійкості схилу відбувалася шляхом моделювання потенційно активного та нестійкого схилу. Інженерно-геологічний розріз схилу було побудовано у напрямку максимального укосу – перпендикулярно до горизонталей.

Розрахунок виконувався за допомогою модуля «Откос» програмного комплексу SCAD Office. Програма призначена для визначення коефіцієнта запасу стійкості укосів і схилів. У якості механізму втрати стійкості приймається механізм ковзання масиву, що оповзає, щодо нерухомої частини укосу. Опір зрушенню по поверхні ковзан-

ня розраховується для статичних умов. Уздовж усієї поверхні витримується критерій руйнування ґрунту, прийнятий у вигляді закону Кулона.

Реальне зрушуюче напруження, одержане за розрахунками, зіставляється із граничним опором зрушенню і результат цього порівняння виражається у вигляді коефіцієнта запасу стійкості K. Коефіцієнт запасу стійкості схилу (укосу) – це мінімальний з коефіцієнтів запасу стійкості по всіх можливих поверхнях ковзання, що задовольняють заданим обмеженням, закладеним у методі розрахунків [14, 15].

Моделювання та розрахунок стійкості укосу з використанням фізико-механічних характеристик ґрунтів отримані в результаті лабораторних досліджень зразків ґрунтів відібраних під час обстеження розгерметизації стику трубопроводу.

Відповідно до ДБН В.1.1-46:2017 одними з основних причин втрати стійкості схилів, котрі мають місце на ділянці обстеження є:

- підрізання схилу;
- зміна внутрішніх сил (збільшення питомої ваги ґрунту при зростанні його вологості);
- зниження опору ґрунту зсуву (утримую-

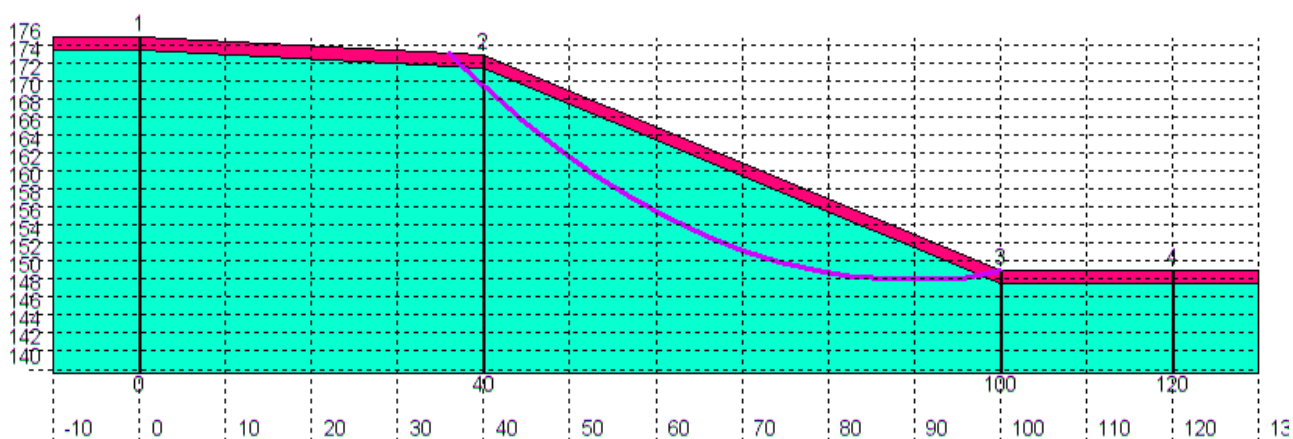


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз та розрахункова лінія ковзання /  
Fig. 2. Engineering and geological survey and forging line

чих сил тертя та структурного зчеплення) за рахунок підвищення їх вологості;

- наявність у схилах шарів глинистих ґрунтів з показником консистенції більше 0,4, через що може виникати формування в глинистих ґрунтах зон деформованих горизонтів та зміщення по них.

Результати розрахунку стійкості показали, що основними факторами, котрі визначають стан відкосів є міцність порід і вологісний режим [16].

При повному водонасиченні ґрунтів (екстремальними атмосферними опадами у паводковий період) їх запас стійкості значно зменшується навіть без урахування такого погіршуючого фактору як підрізання схилу під час прокладання трубопроводу. Коефіцієнт стійкості відкосів знижується на 35% і переходить через межу критичної рівноваги ( $K_{ст}^{кр}=1,0$ ). При цьому дотичні напруження перевищують сили опору. В результаті може формуватися поверхня зсуву [17, 19].

У випадку активізації зсувних явищ ( $K_{ст}^{кр}<1,0$ ) на прокладений трубопровід починає діяти навантаження від переміщуючогося ґрунтового масиву. З огляду на нормовану ДБН В.1.1-46:2017 потенційну схильність ділянки обстеження до зсувів котра підтверджується розрахунками та незважаючи на те, що на момент обстеження зсувних ділянок візуально визначено не було – все ж вбачається наявність певної активності схилу уздовж профілю. Погіршуючими факторами в даному випадку є підрізка схилу при прокладенні трубопроводу та прокладка його уздовж активного схилу [20-22].

Одним з додаткових факторів може бути прокладення трубопроводу по покрівлі ПГЕ 5. У разі інтенсивного водонасичення схилу ПГЕ 5 може слугувати водоупором, у такому випадку можуть розвиватися деформації ковзання ПГЕ 2 по ПГЕ 5. При зміщенні ПГЕ 2 він буде впливати

на прокладений трубопровід.

**Висновки.** Обстеження розгерметизації склопластикового трубопроводу відбувалося у березні 2021 року. Під час обстеження було відібрано зразки ґрунту на вказаній ділянці порушеної та непорушеної структури з природною вологістю відповідно до ДСТУ Б В.2.1-8-2001 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків». Зразки було досліджено в атестованій лабораторії Механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології Харківського національного університету імені О. М. Бекетова.

Було встановлено наступні негативні та потенційно негативні фактори впливу інженерно-геологічних умов на прокладений в них склопластиковий колектор котрі можуть приводити до розвитку понаднормових напружень:

1. Невідповідність фактичної схеми укладки труби проектним рішенням – відсутність піщаної подушки, що могла призвести до нерівномірного вкладання трубопроводу, виникнення ділянок його «провисання» і як наслідок збільшенню напружень у трубопроводі від навантаження зворотною засипкою траншеї.

2. Реалізація просідних властивостей ґрунту ПГЕ 5 після укладання трубопроводу в робоче положення та виконання зворотної засипки траншеї, що призводить до виникнення додаткових неprojektних напружень у трубопроводі внаслідок нерівномірного осідання ділянок трубопроводу та навантаження вищерозміщеними шарами ґрунту.

3. Аналіз геологічної будови, інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов на даній ділянці вказує на потенційну зсувну активність схилу на даній ділянці. Розрахунками стійкості схилу підтверджено, що в умовах повного водонасичення його ґрунтів схил переходить межу критич-

ної рівноваги ( $K_{ст}^{кр} < 1,0$ ) зсувні зусилля перевищують утримуючі.

Наявність у схилі просідних ґрунтів ПГЕ 5 у сукупності з показником консистенції більше 0,4 можуть давати додаткові зміщення та напруження внаслідок деформування ґрунтового горизонту як у нормальному так і дотичному напрямку.

Додатковими факторами котрі погіршують стійкість схилу стало його підрізання при прокладанні трубопроводу вздовж схилу та прокладення трубопроводу по покрівлі ПГЕ 5. При можливому зміщенні ПГЕ 2 по ПГЕ 5 він буде впливати на прокладений полімерних трубопровід.

### Список використаної літератури

1. Ревазов А.М. Анализ чрезвычайных и аварийных ситуаций на объектах магистрального газопроводного транспорта и меры по предупреждению их возникновения и снижению последствий [Текст] / А. М. Ревазов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2010. – №1. – С. 68-70.
2. Жовтуля Л.Я. Геопросторове прогнозне моделювання в процесі оцінки ризиків експлуатації магистральних трубопроводів [Текст] / Л. Я. Жовтуля // Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus. Специальный выпуск. – Варна, 2015. – С. 399-403.
3. Жовтуля Л.Я. Методика определения наличия рисков эксплуатации подземных трубопроводов с учетом влияния параметров окружающего грунта [Текст] / Л. Я. Жовтуля, С. П. Вацшиак, В. С. Цих, Л. Я. Побережний, А. В. Яворський // Научни известия на НТСМ. Міжнародний журнал «Scientific Proceedings». – Созополь, 2016. – №1(187). – С. 329- 332. – Режим доступу: <https://www.ndt.net/article/NDTDays2016/papers/89.pdf>
4. Жовтуля Л.Я. Анализ підходів до виявлення та запобігання ризикам виникнення аварій при експлуатації магистральних трубопроводів [Текст] / Л. Я. Жовтуля, О. М. Карпаш // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – № 2. – С. 28-34. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rngr\\_2015\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rngr_2015_2_4).
5. Хрутьба В. О. Анализ екологічних небезпек під час експлуатації та ремонту магистральних трубопроводів [Текст] / В. О. Хрутьба, Г. О. Вайганг, О. М. Стегній // Екологічна безпека. – 2017. – Вип. 2. – С. 75-82. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez\\_2017\\_2\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2017_2_14)
6. Крижанівський Є.І. Оцінка допустимих навантажень на трубопровід у зоні сповзання ґрунту [Текст] / Є. І. Крижанівський, В. П. Рудко, І. П. Шацький // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – №4. – С. 98-100.
7. Крижанівський Є. І. Інновації при забезпеченні надійної експлуатації газопроводів у зсувнебезпечних гірських умовах [Текст] / Є.І. Крижанівський // Наука та інновації. – 2005. – Т. 1, № 5. – С. 101-106. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/scin1.05.101>
8. Крижанівський Є. І. Захист довкілля від аварій і катастроф трубопровідних систем в складних умовах експлуатації [Текст] / Є. І. Крижанівський, Л. Я. Побережний, Л. Є. Шкіца // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1 (22). – С. 77–82.
9. Гошовський С. В. Екологічна безпека техно-природних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів [Текст] / С. В. Гошовський, Г. І. Рудько, Б. М. Преснер. – К.: ЗАТ «Нічлава», 2002. – 624 с.
10. Oil and Natural Gas Industry Methane Emissions: Worldwide - Top 5 Emitting Countries. – Режим доступу: <http://www.epa.gov/gasstar/basicinformation/index.html#sources>
11. Струк А. Б. Напруження у підземному трубопроводі від пошкодження основи поблизу анкерного кріплення [Текст] / А. Б. Струк // Нафтогазова енергетика. – 2019. – №2. – С. 53-60. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2\(32\)-53-60](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2(32)-53-60)
12. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет [Текст] / О.А. Савинов. – Л.: Стройиздат, 1979. – 200 с.
13. Кудрявцев И. А. Влияние вибрации на основания сооружений [Текст] / И.А. Кудрявцев. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 274 с.
14. Винников, Ю.Л. Вплив вібраційного режиму котків на ущільнення малозв'язних розкритих порід [Текст] / Ю.Л. Винников та ін. // Зб. наук. праць (Галузева машинобуд., буд-во). – Полтава: ПНТУ, 2009. – Вип. 25. – С. 40–49.
15. Sawicki A. Some effects of intrinsic cyclic loading in saturated sands [Текст] / A. Sawicki, J. Mierczynski // Journal of theoretical and applied mechanics. – Warszawa, 2015. – Vol. 53. Issue –2 – P. 285-293. DOI: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.53.2.285>
16. Sawicki A. Structure and Calibration of Constitutive Equations for Granular Soils [Текст] / A. Sawicki, J. Mierczynski, J. Sławińska // Studia Geotechnica et Mechanica –Warszawa, 2015. –Vol. 36. Issue –4 – P. 35-46. DOI: <https://doi.org/10.2478/sgem-2014-0034>
17. Aleksandrovych V. Structure-soil massifs system behavior features under static and dynamic loads [Текст] / V. Aleksandrovych at al. // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – P. 1627 – 1629.
18. Aleksandrovych V. A. Investigation of the Influence of Dynamic Loads of Industrial Equipment on the Occurrence of Prolonged Yielding of their Foundation Soils [Текст] / V. A. Aleksandrovych, O. V. Havryliuk // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2021. – Vol. 1021(1) 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012010>

19. Levenko H. M. *Reconstruction of Shallow Foundations Using Peracetic Silicate Solutions [Текст]* / H. M. Levenko, V. A. Aleksandrovych // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2021. – Vol. 1021(1) 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012020>
20. Lange D. *Comparing Vibratory and Impact Laboratory Compaction Methods [Текст]* / D. Lange, G. Fanourakis // *Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Olexandria, 2009. – Amsterdam: IOS Press, 2009. – P. 93 – 96. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-93>
21. Kim S.I. *Effects of irregular dynamic loads on soil liquefaction [Текст]* / S.I. Kim at al. // *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Osaka: IOS Press, 2005. – P. 2673–2676. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-656-9-2673>
22. Areshkovych O. *Determination of the stress strain state of soil base for the structures at static and dynamic loads [Текст]* / O. Areshkovych, I. Boyko, V. Sakharov // *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Osaka: IOS Press, 2005. – P. 1225–1230. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-801-4-1225>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## The impact of complex engineering and geological conditions on the durability of the polymer pipeline

*Vadym Aleksandrovych*<sup>1</sup>,

PhD (Technics), Associate Professor, Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology

<sup>1</sup>O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,

17 Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine;

*Olha Havryliuk*<sup>1</sup>,

Senior Lecturer, Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology;

*Valeriy Sukhov*<sup>2</sup>,

PhD (Geology), Head of the Department of Fundamental and Applied Geology,

<sup>2</sup>V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** During the construction of the oil collector, in order to ensure uninterrupted transportation of products, it was planned to lay an industrial oil collector made of fiberglass pipes. In some areas, repeated depressurization of the joints of the fiberglass oil collector occurred. In this regard, there was a need for a comprehensive approach to establishing the causes of the aerial situations.

**The purpose of the article** is to analyze the impact of complex engineering and geological conditions on the durability of the polymer pipeline using the example of an industrial oil collector made of fiberglass pipes of the Anastasiv deposit, located in the territory of the Romen district of the Sumy region of Ukraine.

**Materials and methods.** To achieve the goal, a visual survey of the geological and geomorphological structure was performed, as well as the analysis of the engineering and geological conditions of the territory where the fiberglass pipeline is laid. Soil samples were taken from the place of depressurization of the polymer pipeline joint, and their physical and mechanical characteristics were determined. Modeling and calculation of the stability of the slope on which the depressurization of the joint of the polymer pipeline occurs, were carried out by the finite element method.

**Results.** During the examination of the fiberglass pipeline, negative and potentially negative factors of the engineering and geological conditions influence on the laying and operation of fiberglass collectors were established. It was revealed that there was a discrepancy between the design decision and the actual layout of the fiberglass pipes, which could lead to the occurrence of areas of "sag" and, as a result, an increase in the stresses in the pipeline from the backfill load. At the same time, the realization of subsidence phenomena of IGE 5 after laying the pipeline also led to additional non-design stresses. The analysis of engineering-geological and hydrogeological conditions indicates the possible activity of slope processes in the study area, which leads to a violation of the stability of the slope and, consequently, the occurrence of additional displacement and stresses due to deformation of the soil massif.

**Scientific novelty and practical significance.** The necessity of conducting engineering-geological surveys to assess the impact of complex engineering and geological conditions on the durability of a polymer pipeline is substantiated. The main negative processes and phenomena that led to emergency situations on the territory of laying the polymer pipeline were identified.

**Keywords:** *landslides, subsidence phenomena, complex engineering and geological conditions, stability of slopes, fiberglass collectors.*



## References

1. Revazov, A. (2010). Analysis of emergencies and emergencies at the facilities of the main gas pipeline transport and measures to prevent their occurrence and reduce the consequences. *Quality management in the oil and gas complex*, 1, 68-70 [in Russian]
2. Zhovtulya, L. (2015). Geospatial predictive modeling in the process of assessing the risks of operation of main pipelines. *Acta Universitatis Pontica Euxinus. Special issue*, 399-403 [in Ukrainian]
3. Zhovtulya, L., Vashchishak, S., Tsikh, V., Cich L., Yavorsky A. (2016). Methodology for determining the presence of risks in the operation of underground pipelines, taking into account the influence of the parameters of the surrounding soil. *Scientific Proceedings*, 1(187), 329-332 [in Russian]
4. Zhovtulya, L.Ya., Karpash, O.M. (2015). Analysis of approaches to identifying and preventing the risks of accidents in the operation of main pipelines. *Exploration and development of oil and gas deposits*, 2, 28-34 [in Ukrainian]
5. Khrutba, V., Vaigang, G., Stegnii, O. (2017). Analysis of environmental hazards during the operation and repair of main pipelines. *Ecological safety*, 2, 75-82 [in Ukrainian]
6. Kryzhanivskiy, E., Rudko, V., Shatskiy, I. (2004). Assessment of permissible loads on the pipeline in the zone of soil slippage. *Physical and chemical mechanics of materials*, 4, 98-100 [in Ukrainian]
7. Kryzhanivskiy, E., (2005). Innovations in ensuring the reliable operation of gas pipelines in landslide-prone mountain conditions. *Science and innovation*, 1(5), 101-106 [in Ukrainian]
8. Kryzhanivskiy, E., Poberezhny, L., Shkitsa, L. (2007). Protection of the environment from accidents and catastrophes of pipeline systems in difficult operating conditions. *Exploration and development of oil and gas deposits*, 1 (22), 77–82 [in Ukrainian]
9. Goshovsky, S., Rudko, G., Presner, B. (2002). Environmental safety of techno-natural geosystems in connection with the catastrophic development of geological processes. *Kyiv: Nichlava*, 624 [in Ukrainian]
10. Oil and Natural Gas Industry Methane Emissions: Worldwide - Top 5 Emitting Countries. Available at: <http://www.epa.gov/gasstar/basicinformation/index.html#sources>
11. Struk, A. (2019). Stresses in the underground pipeline from foundation damage near the anchorage. *Oil and gas energy*, 2, 53-60. doi: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2\(32\)-53-60](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2(32)-53-60) [in Ukrainian]
12. Savinov, O. (1979). *Modern designs of foundations for machines and their calculation*. Leningrad: Stroyizdat, 200 [in Russian]
13. Kudryavtsev, I. (1999). *Influence of vibration on the foundations of structures*. Gomel: BelGUT, 274 [in Russian]
14. Vinnikov, Yu (2009). The influence of the vibration mode of rollers on the compaction of low-cohesive overburden rocks. *Coll. of science works (Industrial machine building, building)*. Poltava: PNTU, 25, 40 – 49 [in Ukrainian]
15. Sawicki, A., Mierczynski, J. (2015). Some effects of intrinsic cyclic loading in saturated sands. *Journal of theoretical and applied mechanics*, 53 (2), 285-293. doi: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.53.2.285>
16. Sawicki, A., Mierczynski, J., Sławińska, J. (2015). Structure and Calibration of Constitutive Equations for Granular Soils. *Studia Geotechnical et Mechanical*, 36(4), 35-46. doi: <https://doi.org/10.2478/sgem-2014-0034>
17. Aleksandrovych, V. (2013). Structure-soil massif system behavior features under static and dynamic loads. *Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Paris)*, 1627–1629.
18. Aleksandrovych, V., Havryliuk, O. (2021). Investigation of the Influence of Dynamic Loads of Industrial Equipment on the Occurrence of Prolonged Yielding of their Foundation Soils. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1021(1) 012010. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012010>
19. Levenko, H., Aleksandrovych, V. (2021). Reconstruction of Shallow Foundations Using Peracetic Silicate Solutions. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1021 (1) 012010. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012020>
20. Lange, D. (2009). Comparing Vibratory and Impact Laboratory Compaction Methods. *Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, Amsterdam)*, 93 – 96. doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-93>
21. Kim, S. (2005). Effects of irregular dynamic loads on soil liquefaction. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka)*, 2673 – 2676. doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-656-9-2673>
22. Areshkovych, O. (2005). Determination of the stress strain state of soil base for the structures at static and dynamic loads. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka)*, 1225–1230. doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-801-4-1225>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 27 June 2022

Accepted 7 July 2022