

Грабар О.В., к.т.н., Комарова О.І.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ВПЛИВ ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНОГО АМІАКОПРОВОДУ

Проаналізовано екологічну безпеку експлуатації магістрального аміакопроводу в зоні впливу підземних гірничих робіт. Розраховано прогностичні деформації земної поверхні на ділянках траси аміакопроводу. Встановлено ділянки аміакопроводу, що зазнають найбільшого впливу гірничих робіт. Проаналізовано горизонтальні деформації земної поверхні, та напруги, що виникають в трубах аміакопроводу під впливом кривизни уступів. Розроблено рекомендації з подальшої безпечної експлуатації аміакопроводу.

Вступ

Аміакопровід Придніпровського управління магістрального аміакопроводу УДП «Укрхімтрансаміак» призначений для транспортування рідкого аміаку (NH_3) від ВО «Тольяті-Азот» і Горлівського ВАТ Концерн «Стірол» на Одеський припортовий завод для подальшої поставки його на експорт, а також для видачі його по трасі сільськогосподарським споживачам. Він є одним з найнебезпечніших промислових об'єктів на території Горлівки. Аміакопровід є безперервною трубою, уздовж якої розміщуються інженерні споруди, що забезпечують перекачування аміаку з наперед заданими параметрами (тиску, температурі, пропускну здатності та ін.).

На ділянці від концерну «Стірол» і до найближчої насосної станції магістральний підземний аміакопровід знаходиться в зоні впливу гірничих виробок трьох шахт – ім. Рум'янцева, ім. Калініна та «Олександр-Захід», що розробляють групи крутопадаючих пластів. Протяжність ділянки аміакопроводу, що підробляється, близько 7,6 км.

Під впливом гірничих розробок, земна поверхня зазнає значних змін, які виражаються як в пониженні та видозміні рельєфу земної поверхні, так і в деформації різною мірою її ділянок, аж до виникнення на поверхні землі тріщин, провалів і вирв.

В процесі експлуатації аміакопровід знаходиться в умовах постійної дії комплексу змінних навантажень (зміна внутрішнього тиску в трубопроводі, зміна температури та ін.), які обумовлюють його напружений стан. У зоні впливу гірничих робіт підземні трубопроводи, вписуючись в профіль мульди зрушення, разом із звичайними силовими діями зазнають додаткових дій від деформацій земної поверхні: деформацій розтягування і стиснення; вигину трубопроводу по новому рельєфу земної поверхні; зрушень ґрунту у вертикальній площині при крутому заляганні вугільних пластів. В результаті деформацій земної поверхні в металі труб виникають істотні подовжні напруги, які, складаючись з напругами трубопроводу при роботі в звичайних умовах, можуть досягти межі текучості металу або привести до розриву трубопроводу.

Аналіз досліджень та публікацій

Вивчення шкідливого впливу на земну поверхню підземних гірничих розробок на вугільних родовищах ведеться в Україні вже більше 70 років, проте дотепер відсутні надійні методи прогнозу деформацій земної поверхні та захисту об'єктів, що підробляються, в складних гірничо-геологічних умовах. Із збільшенням глибини розробки вугільних пластів в Донбасі знижується точність прогнозу одного з основних параметрів процесу зрушення земної поверхні – максимального осідання, що відбувається унаслідок некоректного обліку умов її первинної підробки.

Мета статті – виконати екологічну оцінку можливості подальшої експлуатації магістрального аміакопроводу, що є об'єктом першої категорії небезпеки, в умовах підробки аміакопроводу підземними гірничими роботами.

Основна частина

У адміністративному відношенні вугільні поля шахт ім. Калініна, ім. Рум'янцева і «Олександр-Захід» знаходяться на території м. Горлівка Донецької області України. Даний район в тектонічному відношенні входить до складу найважливішого тектонічного елементу Донбасу – Головної антиклиналі, яка характеризується крутим падінням пластів і майже симетричною будовою. Залягання порід прямолінійне, місцями злегка хвилясте, азимут простягання порід коливається від 295° до 305° . Кут падіння порід складає 55° – 62° . В межах шахт ім. Калініна, ім. Рум'янцева та «Олександр-Захід» потужність вугільних пластів, що розробляються, змінюється в межах 0,5–1,2 м.

За період експлуатації підземного магістрального аміакопроводу з 1979 р. до 2010 р. в цілому він був підроблений близько сорока очисними забоями. На підробку аміакопроводу впливали гірничі роботи шахт ім. Рум'янцева та ім. Калініна на горизонтах 730, 850 і 960 м, а також гірничі роботи шахти «Олександр-Захід» на глибині 350 і 450 м. В даний час гірничі роботи ведуться на шахтах ім. Рум'янцева та ім. Калініна на горизонтах 1060–1090 м. Гірничі роботи на шахті «Олександр-Захід» були зупинені в кінці 1999 року. В даний час гірничі виробки цієї шахти поступово затоплюються.

Як відомо, підземна розробка вугільних родовищ ведеться в складному, потенційно небезпечному, слабовивченому середовищі, що постійно змінюється, яким є масив гірських порід. При цьому, як показує гірничі практика, при багатократній підробці земної поверхні, особливо при відробленні крутопадаючих вугільних пластів, на ній можуть утворюватися зони з підвищеною концентрацією деформацій земної поверхні, які особливо небезпечні для простяжних об'єктів, яким є аміакопровід. Під зоною з підвищеною концентрацією деформацій земної поверхні розуміються ділянки, де на невеликих (до 5 м) інтервалах виникають деформації (горизонтальні й вертикальні), що різко перевищують відповідні деформації на суміжних таких же інтервалах. Крім того, із збільшенням глибини ведення гірничих робіт, а також при повторних відробленнях деформації масиву гірських порід і земної поверхні можуть розвиватися по непередбачуваних законах.

Магістральний аміакопровід «Горлівка – Лозова» змонтований із зварних труб імпортової поставки завдовжки близько 10 м із зовнішнім діаметром – 273 мм. Товщина стінки труби на цій ділянці збільшена до 12,7 мм. Мінімальний опір труби на розрив – $47,7 \text{ кг/мм}^2$, зварних швів – $46,8 \text{ кг/мм}^2$. Мінімальна межа текучості – $29,5 \text{ кгс/мм}^2$.

Труба підземного магістрального аміакопроводу укладена паралельно рельєфу місцевості на глибині близько 1,7 м. На переходах через залізні та автомобільні дороги прокладка аміакопроводу здійснена в захисному кожусі (футлярі) із сталевих труб більшого діаметру. У місцях перетину аміакопроводу з водопроводом, каналізаційним і водостічним трубопроводом він укладений в захисний сталевий кожух. Для захисту підземного аміакопроводу від ґрунтової корозії і блукаючих струмів передбачений пасивний (плівкове покриття) і активний (електрохімічний) захист.

Ділянка аміакопроводу, що підробляється, оснащена 19 компенсаторами. При розробці проекту заходів щодо охорони аміакопроводу від шкідливого впливу гірничих виробок, відповідно до вимог [2], проектувальники при розрахунку відстаней між компенсаторами [3] виходили тільки з можливих вірогідних максимальних деформацій земної поверхні на найближчі 20 років підроблень аміакопроводу після введення його в експлуатацію.

На підставі отриманих результатів розрахунків в місцях передбачуваних істотних розтягувань земної поверхні три компенсатори були заздалегідь стиснуті. На ділянках передбачуваних істотних стисків земної поверхні компенсатори чотири були попередньо розтягнуті.

Інші компенсатори були закладені без попередніх напруг.

Розміри границь зони впливу гірничих робіт залежать від розмірів виробленого простору (довжини лави вхрест простягання й по простяганню пласта), глибини ведення гірничих робіт і кута падіння пласта.

При встановленні ступеня впливу гірничих робіт на об'єкт, що підробляється, та виборі заходів охорони його від шкідливої дії гірничих розробок, необхідно якомога достовірніше знати всі деформаційні процеси у вугільнопорідному масиві, що відбуваються в земній товщі під час виїмки вугілля. Іншими словами, достовірність прогновної оцінки ступеня впливу гірничих робіт на підроблюваний об'єкт істотно залежить від взятої за основу геомеханічної схеми зрушення земної товщі, яка б достатньо повно пояснювала умови, причини та механізм виникнення в шаруватому вугіллі, що підробляється, та порідному масиві відмінних зон, як по характеру й ступеню деформації, так і по особливостях їх впливу на підроблені об'єкти.

Геомеханічні схеми зрушення земної товщі одержуються при вивченні загальних й особливих закономірностей процесу зрушення гірських порід і земної поверхні стосовно визначених, конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов розробки різних вугільних родовищ. У міру отримання результатів нових наукових досліджень геомеханічні схеми зрушення земної товщі видозмінюються й уточнюються. Так, наприклад, на початку п'ятидесятих років характер деформацій товщі гірських порід був вивчений ще украй слабо й описувався лише в найзагальніших рисах.

Для визначення величин деформацій земної поверхні й підземного магістрального аміакопроводу в зоні впливу гірничих робіт шахт ім. Рум'янцева, ім. Калініна, «Олександр – Захід» в жовтні-листопаді 1990 року була виконана закладка основної спостережної станції. Враховуючи те, що підземний аміакопровід має витягнуту форму, спостережна станція була закладена у вигляді однієї профільної лінії, яка повністю перекрила очікувану зону впливу гірничих робіт.

При будівництві аміакопроводу компенсатори № 1 і № 19 були закладені через 1280 м. Ця найбільш незахищена ділянка траси виявилася підробленою гірничими роботами шахти «Олександр-Захід» на порівняно невеликій глибині: робочі горизонти 350–450 м. Сумарна потужність відпрацьованих пластів склала близько 3,6 м. Враховуючи це, в 2005 році посередині, між компенсаторами № 1 і № 19 (район ставка-накопичувача), була закладена «площадкова» спостережна станція, яка включала дві профільні лінії по 25 ґрунтових реперів кожна.

За результатами інструментальних спостережень, виконаних в 2008 році, і з урахуванням результатів вимірювань, що проводилися раніше, найбільший вплив підземних гірничих розробок (за весь період інструментальних спостережень з 1991 року по 2008 рік) зазнає ділянка аміакопроводу приблизно від середини інтервалу між компенсаторами № 1–19 і до компенсатора № 9. За цей час найбільше осідання земної поверхні на цій ділянці підробки склало близько 0,5 м (рисунок 1). Величини осідань земної поверхні дають загальну картину зміни земної поверхні з часом.

Згідно [4, 5], для підземних продуктопроводів зі всіх видів деформацій найбільш небезпечними є горизонтальні деформації розтягнення й стиснення.

З огляду на те, що інструментальні спостереження за ходом підробки підземного аміакопроводу почалися в кінці 1990 р., а підробка аміакопроводу велася з моменту здачі його в експлуатацію в 1979 р., з метою отримання даних про деформацію земної поверхні за період підробки аміакопроводу з 1979 р. по 1990 р., був виконаний розрахунок очікуваних деформацій земної поверхні за цей період.

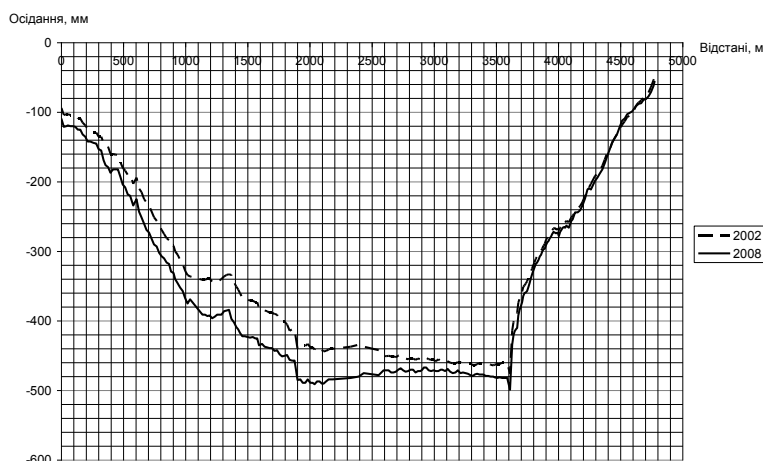


Рисунок 1 – Графік осідань реперів спостережної станції на ділянці проходження аміакопроводу від «Концерн Стірол» до НС-14

Для того, щоб наблизити значення очікуваних деформацій земної поверхні до фактичних деформацій, відповідно до [5, 6], на підставі результатів розрахунку очікуваних деформацій з врахуванням коефіцієнтів перевантажень, були обчислені розрахункові сумарні деформації земної поверхні (таблиця 1). Крім того, враховуючи, що при будівництві аміакопроводу найбільш незахищеною виявилася ділянка аміакопроводу між компенсаторами № 19 і № 1 (протяжність цієї ділянки 1280 м), при аналізі накопичених деформацій, на земній поверхні в процесі ведення гірничих робіт ця ділянка була розбита на дві частини (репером RpX).

Таблиця 1 – Горизонтальні деформації земної поверхні вздовж траси аміакопроводу, $1 \cdot 10^{-3}$

№ компенсаторів	Очікувані деформації 1979–1990 рр.	Розрахункові деформації 1979–1990 рр.	Фактичні деформації 1991–2008 рр.	Сумарні деформації 1979–2008 рр.
18-19	-1,29	-1,81	0,18	-1,63
19-RpX	-0,63	-0,88	-0,49	-1,37
RpX-1	0,59	0,83	0,38	1,21
1-2	0,60	0,84	0,53	1,37
2-3	-1,17	-1,64	0,40	-1,24
3-4	-0,45	-0,63	-0,36	-0,99
4-5	-0,49	-0,69	-0,47	-1,16
5-6	-0,41	-0,57	-0,86	-1,43
6-7	-0,46	-0,64	-0,42	-1,06
7-8	-0,37	-0,52	-0,56	-1,08
8-9	0,86	1,20	0,58	1,78
9-10	0,91	1,27	0,54	1,81
10-11	0,91	1,27	0,45	1,72
11-12	0,73	1,02	0,62	1,64
12-13	0,54	0,76	0,61	1,37
13-14	0,17	0,24	0,93	1,17

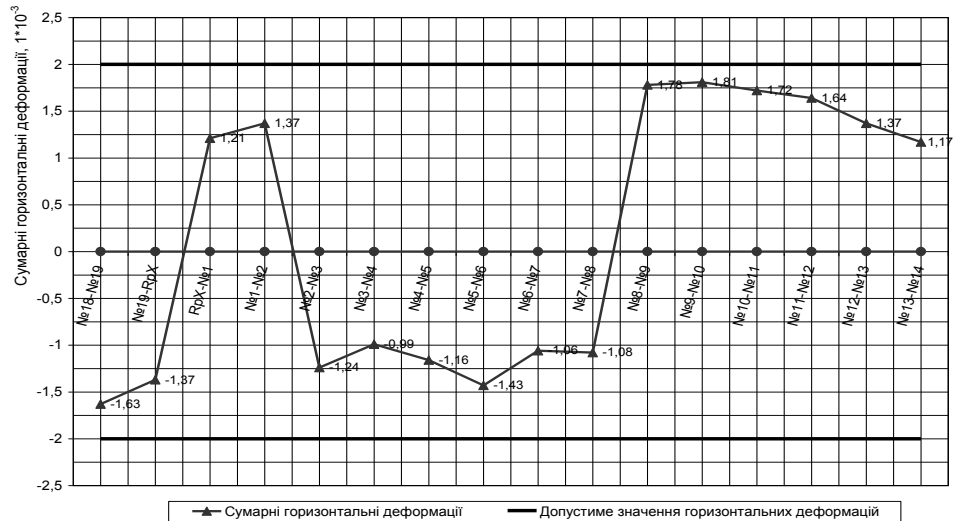


Рисунок 2 – Графік сумарних горизонтальних деформацій земної поверхні уздовж траси аміакопроводу за 1979–2008 рр.

Як видно з графіка (рисунок 2), за період експлуатації аміакопроводу з 1979 р. по 2008 р., внаслідок впливу гірничих робіт, величини горизонтальних деформацій земної поверхні на багатьох його ділянках досягли досить великих значень, але поки ще залишаються менше допустимої величини. «Правилами технічної експлуатації аміакопроводу...» [4] встановлена допустима величина горизонтальних деформацій земної поверхні $\pm 2,0 \cdot 10^{-3}$). Тому на даному етапі підробки підземного аміакопроводу гірничими роботами шахт не потрібне введення додаткових конструктивних заходів захисту за умови рівнопрочності стиків основному матеріалу труб і відсутності корозійних ділянок.

У Центральному гірничопромисловому районі Донбасу, до якого відноситься територія траси аміакопроводу, проблема підробки стоїть особливо гостро у зв'язку з специфікою прояву зсувів та деформацій в умовах пластів крутого падіння. При цьому процес осідань та горизонтальних зсувів істотним чином відрізняється від процесів, що відбуваються в інших геолого-промислових районах. Ці відмінності виявляються не тільки в порівнянні з пологим заляганням, але й з деформацією при розробці крутих пластів в інших районах. Основна принципова відмінність полягає в утворенні на земній поверхні сходоподібної мульди із зосередженими деформаціями у вигляді уступів. Утворення уступів супроводжується значними горизонтальними й вертикальними деформаціями. Такий прояв зсуювання на земній поверхні пояснюється двома основними причинами:

- 1) великою кількістю спільно відпрацьовуваних пластів;
- 2) малою потужністю чверткових відкладень (від 0 до 4 м), що не дає можливості згладжувати зсуювання, що відбуваються в корінних породах карбону.

Тому необхідно проаналізувати вплив додаткових напруг в аміакопроводі, що виникають від кривизни уступів, на екологічну безпечність експлуатації магістрального аміакопроводу.

Згідно з п. 1.2 СНіП 2.04.12-86 розрахунок трубопроводів на міцність виконується за методом граничних станів і включає в себе визначення товщини стінок труб та допоміжної арматури. Умовою міцності сталюого підземного трубопроводу в зоні утворення уступів є вираз:

$$mR_p \geq \sigma_p + \sigma_I + \sigma_\xi + \sigma_Y \cdot 0,8, \quad (1)$$

де m – коефіцієнт умов роботи;

σ_p , σ_I , σ_ξ – розтягуючі напруги в трубі, відповідно від тиску рідини чи газу, від дії

нахилу та горизонтальних деформацій земної поверхні, викликаних підземними гірничими роботами;

σ_y – максимальна поздовжня розтягуюча напруга, викликана переміщеннями ґрунту в зоні уступу;

0,8 – коефіцієнт урахування сумарних навантажень.

Слід зазначити, що на ділянках утворення уступів величини нахилів і горизонтальних деформацій незначні – уступ являється своєрідним розвантажувачем напруг в масиві гірських порід. Таким чином, основними напругами в трубопроводах є напруга від внутрішнього тиску та дії уступу.

Одноєю з відомих формул визначення напруг на уступах є формула за методикою ДПС НДІ. Поздовжні напруги, що виникають в трубопроводі на уступі, в [7] визначаються за формулою:

$$\sigma_h = \frac{\theta}{2 \cdot W} \cdot \sqrt{EJ \cdot q_0 \cdot n_h \cdot h \cdot \sqrt{\frac{n_h \cdot h}{\Delta_{01}}}}, \quad (2)$$

де θ – коефіцієнт співвідношення жорсткості ґрунтів траншеї і засипки;

W – осьовий момент опору труби;

EJ – жорсткість поперечного перерізу труби;

q_0 – поперечне навантаження на трубу;

$n_h = 1,2$ – коефіцієнт перевантаження при переході від очікуваної висоти уступу до розрахункової;

h – висота уступу;

Δ_{01} – критичний зсув ґрунту, приймається рівним 10 см для глинистих ґрунтів і 5 см для піщаних;

За даною методикою в редакторі Ексел виконано розрахунок напруг в трубах аміакопроводу діаметром 273 мм для ґрунту з модулем пружності 20 МПа та об'ємною вагою 17 кН/м³ на уступах висотою 10, 15, 20, 30, 40, та 50 см. На рисунку 3 наведено графік напруг для трубопроводу на уступах висотою 10–50 см.

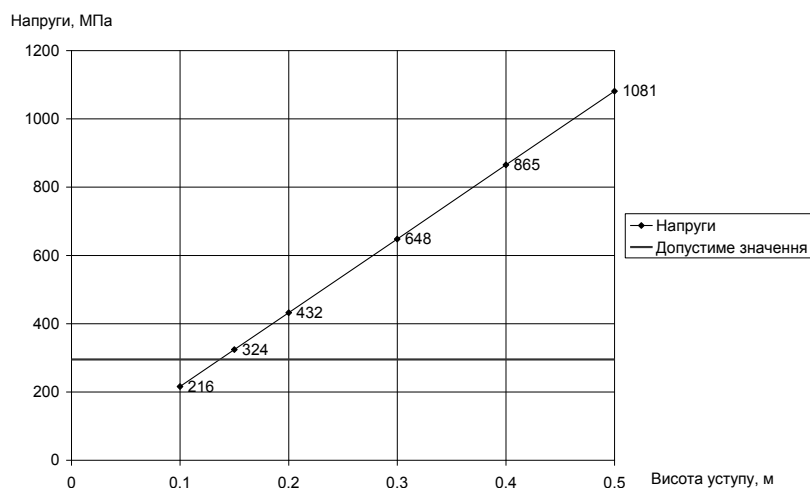


Рисунок 3 – Напруги для аміакопроводу на уступах за методикою ДПС НДІ

Трубопровід не витримає навантаження при висоті уступу більше 0,10 м, бо при висоті уступу вище 0,10 м $\sigma_y \geq 295$ МПа.

Існуюча методика розрахунку напруг в сталевих трубопроводах, як показує аналіз ро-

зрахунків, має суттєві недоліки. Приведена методика досить ускладнена. Одним з її недоліків, що проявляється при практичних розрахунках, є нечітке дотримання системи одиниць SI – сантиметри в лінійних розмірах, ньютони та кілоньютони в розмірах навантажень і МПа в напругах.

При використанні вказаної методики напруги в трубах аміакопроводу значно перевищують допустимі величини. Аміакопроводи діаметром 273 мм не витримують дії уступів висотою 15 см, що означає, наприклад, для м. Горлівка, де на кожний кілометр аміакопроводу попадає не менше 10 уступів висотою більше 10 см, повинна бути масова деформація аміакопроводу, яка б супроводжувалася би аваріями з витоком аміаку. Практика експлуатації показує, що таке явище відсутнє.

В зв'язку з цим виникає необхідність розробки методики розрахунку трубопроводів з урахуванням геомеханічної моделі утворення уступу. В роботі [8] була розроблена геомеханічна модель утворення уступу в товщі наносів. Вона дозволяє при відомих ґрунтових характеристиках визначати кривизну на уступах будь-якої очікуваної висоти. При цьому були одержані радіуси кривизни для будь-яких ґрунтових умов і для всіх характерних висот уступів від 5 до 50 см.

Остаточна розрахункова формула напруг має вигляд:

$$\sigma = \frac{E_{gr} \cdot J_{gr}}{R \cdot W \cdot K_{СП}^l}, \quad (3)$$

де E_{gr} – модуль пружності ґрунту засипки, МПа;

J_{gr} – момент інерції ґрунтової засипки траншеї над трубою;

R – мінімальний радіус кривизни уступу;

W – осьовий момент опору трубопроводу;

$K_{СП}^l$ – коефіцієнт співвідношення жорсткостей трубопроводу та ґрунтової призми над ним.

Практика розрахунків показала, що метод геомеханічної моделі уступу з розрахунками радіусів кривизни якнайкраще підходить для оцінки напруг в трубопроводах на уступах. За формулою (3) обчислені напруги аміакопроводу з модулем пружності $E = 20$ МПа, для уступів висотою 10, 20, 30, 40, 50. При цьому довжина уступу при визначенні радіусів кривизни R прийнята $\ell = 5$ м, а потужність наносів в два рази перевищує глибину закладки трубопроводу, що для заданого ряду становить 2,8–4,0 м, що в середньому відповідає умовам підроблюваних територій м. Горлівка.

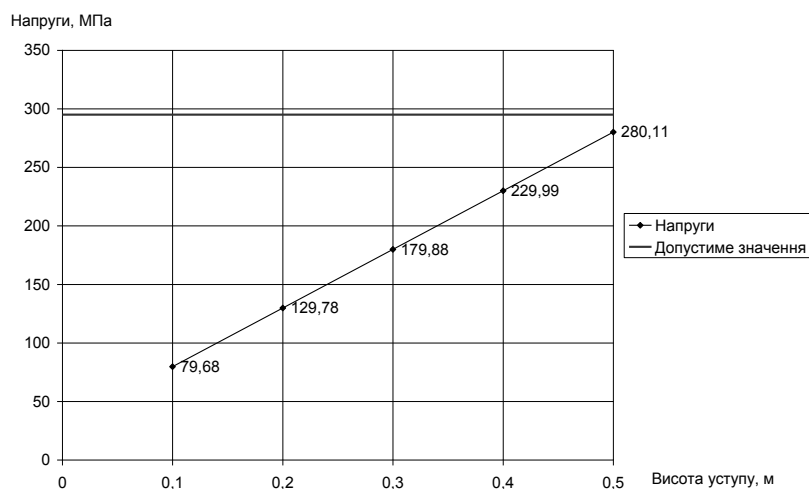


Рисунок 4 – Напруги в трубопроводі за методикою геомеханічної моделі

Результати розрахунку напруг, за методикою геомеханічної моделі утворення уступів, реальні й більш відповідають практичним спостереженням ніж вище розглянута методика розрахунку напруг за ДПБ НДІ (по розрахунках яких повинна бути масова деформація аміакопроводу діаметром 273 мм). Розрахунок за методикою геомеханічної моделі відповідає умовам дії уступів на трубопроводи для м. Горлівка, де на кожний кілометр аміакопроводу припадає не менше 10 уступів висотою більше 10 см. За пропонованою методикою аміакопровід витримає навантаження навіть при висоті уступу 0,50 м, бо $\sigma_y \leq 295 \text{ МПа}$.

Висновки та напрямки подальших досліджень

Таким чином було визначено ділянки траси аміакопроводу, що зазнають найбільші горизонтальні деформації у вигляді розтягання або стиску, а також найбільші величини деформацій земної поверхні у вигляді кривизни. Запропоновано розрахунок напруг за методикою геомеханічної моделі утворення уступів, який реальний і більш відповідає практичним спостереженням, ніж розрахунки за методикою ДПБ НДІ. Ця методика геомеханічної моделі відповідає умовам дії уступів на аміакопроводи для м. Горлівка.

Враховуючи екологічну небезпечність підземного магістрального аміакопроводу, та проаналізувавши його технічний стан і умови експлуатації, вважаємо за необхідне рекомендувати подальшу його експлуатацію в зоні впливу гірничих розробок під контролем маркшейдерських інструментальних спостережень.

Але з перебігом часу відбувається ущільнення ґрунту довкола трубопроводу за рахунок природних процесів, пов'язаних з водонасиченістю ґрунту та дією горизонтальних і вертикальних навантажень. У разі потреби, як додаткові заходи захисту підземного аміакопроводу від впливу гірничих розробок, можна запропонувати обрив труби аміакопроводу із заміною ізоляції (за необхідністю) і з подальшою засипкою її малозатискаючим матеріалом, наприклад, піском або ґрунтом «борату засипки». Як крайню міру захисту можна розглядати укладання труби аміакопроводу на ковзаючі опори в закритому напівпрохідному каналі, що складається із залізобетонних елементів.

Список літератури

1. Проект мероприятий по охране аммиакопровода от вредного влияния горных выработок / Донгипрошахт. – Донецк, 1977.
2. Розрахунково-пояснювальна частина до Декларації безпеки об'єктів підвищеної небезпеки УДП «Укрхімтрансаміак» Магістральний аміакопровід «Гольяті-Одеса» та його відгалуження «Горлівка-Лозова». – Дніпродзержинськ, 2010.
3. Магістральні трубопроводи для транспортування рідкого аміаку (аміакопроводи). Правила технічної експлуатації - Видання офіційне: ГСТУ 3-041-2003 / Мінпромполітики України. – К., 2003.
4. Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. – Видання офіційне: ГСТУ 101.0015922 6.001-2003 / Мінпаливенерго України. [Чинний від 01.01.2004]. – Донецьк, 2004. – 128 с.
5. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / Министерство угольной промышленности СССР. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
6. Руководство по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. – Ч. III. Башенные, транспортные и заглубленные сооружения, трубопроводы / ДонпостройНИИпроект, НИИСК Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1986. – 225 с.
7. Грабар О.В. Дослідження впливу підробки територій на втрати води в техногенних регіонах та вибір оптимальних технологій поповнення втрат/ дис... канд.техн.наук. – Донецьк, 2010. – 207 с.

Рецензент: д.т.н., проф. С.П. Висоцький, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 04.01.12

© Грабар О.В., Комарова О.І., 2011