

# РОЗРАХУНКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ПРОМИСЛОВИХ ВИБУХІВ НА ТЕХНІЧНИЙ СТАН МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

В. М. ТОРОП

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАНУ. 03680, Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Оцінка впливу промислових вибухів при розробці гранітного кар'єру на технічний стан аміакопроводу і магістральних газопроводів, які проходять по технологічному коридору на відстані не менше 300 м до відкритого гранітного кар'єру, виконана з припущенням про найбільш жорсту комбінацію негативних факторів. Перевірка безпеки експлуатації аміакопроводу та газопроводів від сейсмічної дії вибухів була виконана за допомогою експертної системи «Міцність». Для серій свердловинних зарядів діаметром 0,160 м з максимальною масою в групі уповільнення  $Q = 680$  кг мінімально допустима відстань до аміакопроводу складе 132 м, а для газопроводів 129 м, в той час як для серій свердловинних зарядів діаметром 0,22 м з максимальною масою в групі уповільнення  $Q = 1200$  кг мінімально допустима відстань до аміакопроводу буде 175 м, для газопроводів – 171 м. Поновлення розробки родовища гранітів з застосуванням буропідривних робіт з дотриманням елементів технології сейсмобезпечного підривання не буде негативно впливати на технічний стан магістральних трубопроводів. Бібліогр. 7, табл. 1, рис. 4.

*Ключові слова:* аміакопровід, газопроводи, технічний стан, промислові вибухи, експертна система

Гранітний кар'єр (гірничі роботи в якому останніми роками були призупинено) розташований на північно-східному схилі балки, по якій протікає річка. За межами гірничого відводу на відстані понад 300 м в південно-східному напрямку знаходяться: кабель зв'язку аміакопроводу, за ним траса діючого аміакопроводу, а за нею – два кабелі зв'язку, дві нитки газопроводів високого тиску діаметром 1020 та 820 мм, за ними лінія зв'язку та газопровід діаметром 720 мм.

Технологія проведення буропідривних робіт, що застосовується на гранітному кар'єрі, передбачає буріння свердловин на вибуховому блоці у 3-4 ряди з наступним короткоуповільненим підриванням свердловинних зарядів діагональними рядами. Схема комутації свердловинних зарядів здійснюється діагональними рядами з розташуванням діагональних груп миттєво ініційованих зарядів під певним кутом до напрямку траси магістрального аміакопроводу і газопроводів, що проілюстровано на рис. 1.

Діагональні ряди (групи) зарядів загальною масою вибухової речовини від 680 до 1200 кг ініціюються за допомогою детонуючого шнура і піротехнічних реле з інтервалами уповільнення між ними 20...35 мс або, якщо будуть застосовуватися неелектричні системи ініціювання «NONEL» або «Імпульс», інтервал уповільнення складе від 17 до 25 мс. Технологія буропідривних робіт передбачає короткоуповільнене підривання свердловинних зарядів діаметром 0,160...0,22 м.

Виходячи з цього, маса заряду в одній свердловині для 10 м уступу буде відповідно складати 170...300 кг, що для типової серії короткоуповільненого підривання складе в максимальній групі уповільнення 680...1200 кг.

За даними сейсмічних досліджень [1, 2], максимально можливі значення величини швидкості сейсмоколиваний ґрунту біля місця розташування траси аміакопроводу і газопроводів складуть відповідно 1,5...2,0 см/с.

За діючими нормами [3], допустимий рівень впливу сейсмічних хвиль для магістральних трубопроводів такого класу визначається 8 балами за шкалою MSK-64, що стосовно сейсмовибухових коливаний оцінюється швидкістю 12...24 см/с.

За умови ідеального контакту труби з ґрунтом максимальний додатковий тиск від сейсмічної хвилі для умов гранітного кар'єру  $\Delta P = 0,1125$  МПа, якщо  $V = 0,015$  м/с;  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;  $c = 3000$  м/с та  $\Delta P = 0,15$  МПа якщо  $V = 0,02$  м/с;  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;  $c = 3000$  м/с.

Враховуючи те, що різниця між розрахунковим і робочим тиском складає: для аміакопроводу  $\Delta P_p = 12,9 - 7,9 = 5,0$  МПа, а для газопроводу  $\Delta P_p = 7,0 - 4,9 = 2,1$  МПа, стає очевидним, що підвищення робочого тиску за рахунок впливу сейсмічної хвилі на 0,1125...0,15 МПа не буде становити небезпеки як для аміакопроводу, так і для газопроводів.

Перевірка безпеки експлуатації аміакопроводу від сейсмічної дії вибухів була виконана також за методикою [4], згідно з якою для серій свердло-

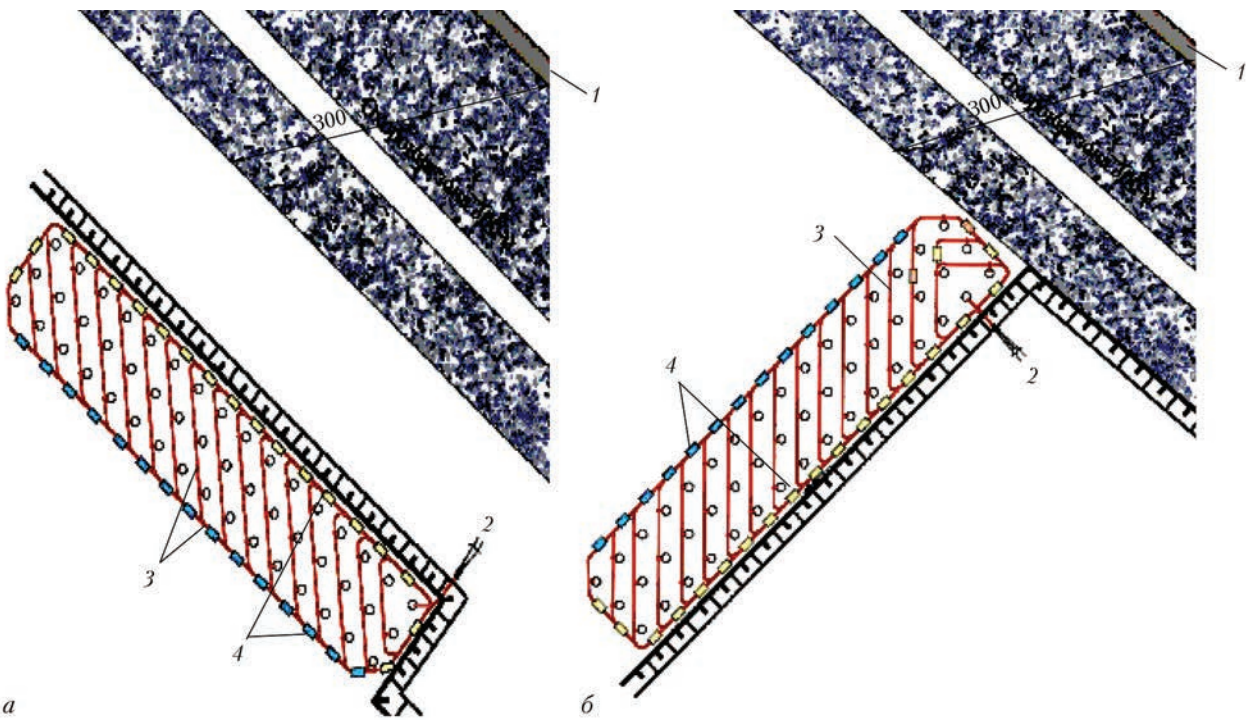


Рис. 1. Схеми комутацій вибухової мережі для типової серії свердловинних зарядів при фронтальному (а) та фланговому (б) розміщенні вибухового блоку: 1 – коридор аміакопроводу та газопроводів; 2 – напрямлення вибухів; 3 – детонаційний шнур; 4 – підриваючі реле

винних зарядів діаметром 0,160 м з максимальною масою в групі уповільнення  $Q = 680$  кг мінімально допустима відстань до аміакопроводу складе 132 м, а для газопроводів відповідно 129 м.

Для серій свердловинних зарядів діаметром 0,22 м з максимальною масою в групі уповільнення  $Q = 1200$  кг мінімально допустима відстань до аміакопроводу буде відповідно 175 м, для газопроводів 171 м.

Нагадаємо, що фактична відстань від межі гірничого відводу до аміакопроводу та газопроводу складає 300 м, що також підтверджує безпечні умови їх експлуатації при проведенні підривних робіт в кар'єрі методом короткоуповільненого підривання з найбільшою масою зарядів в групі уповільнення від 680 до 1200 кг.

З метою додаткової та незалежної оцінки впливу вибухової хвилі на напружено-деформований стан даного відрізка аміакопроводу та газопроводів були використані також норми США [5]. Для розрахунку вибрано самий небезпечний варіант розташування в діагональному ряду чотирьох свердловин діаметром 0,22 м на відстані 6 м одна від одної з фактичною масою заряду в кожній свердловині 300 кг та з кутом нахилу  $\beta = 45^\circ$  діагонального ряду до магістралі аміако- та газопроводів.

Згідно з методикою [5], напруження від ударної хвилі, що передається на трубу,  $\sigma = 52$  МПа. Ці середні напруження від ударної хвилі у комбінації з діючими в трубі напруженнями від внутрішнього тиску при робочому режимі не пере-

вищують 134 МПа.

Для оцінки небезпечності впливу вибухів на цілісність аміакопроводу необхідно порівняти визначені вище напруження з механічними властивостями сталі Х46 і врахувати можливі корозійні пошкодження внутрішньої поверхні труби та можливу деградацію механічних властивостей сталі в процесі експлуатації труби. Відповідь на ці питання дають результати виконаної роботи по комплексному обстеженню магістрального аміакопроводу «Тольятті–Одеса» (територія України) [6].

На рис. 2 показано рельєф (висотне положення) та розкладка труб на суміжній з кар'єром ділянці між постом секціонування та зворотнім краном

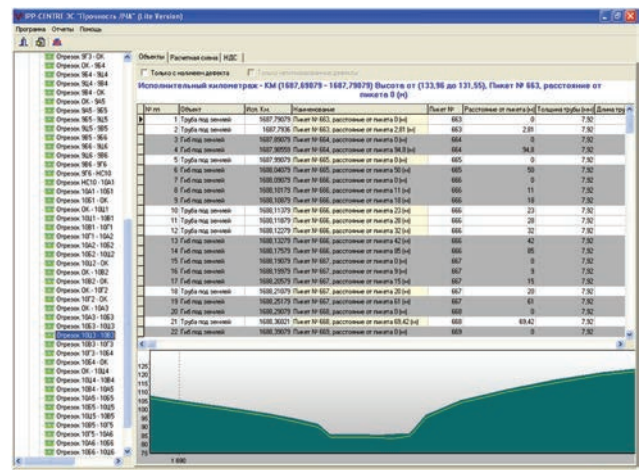


Рис. 2. Рельєф та розкладка труб на суміжній з кар'єром ділянці між постом секціонування та зворотнім краном магістрального аміакопроводу

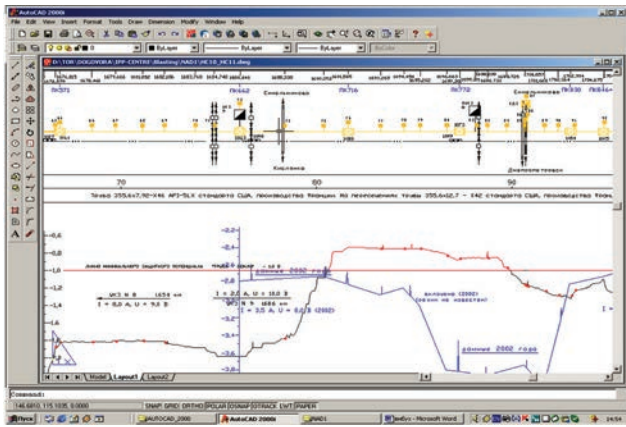


Рис. 3. Корозійна карта ділянки аміакопроводу поблизу кар'єра

аміакопроводу, що містить створена і впровадженна експертна система (ЕС) «Міцність» [7].

Для оцінки небезпечності впливу вибухів на цілісність аміакопроводу були проведені дослідження корозійних пошкоджень внутрішньої поверхні труби та деградації механічних властивостей сталі в процесі експлуатації магістрального аміакопроводу. Результати детальних корозійних обстежень, що проводились на вказаній ділянці аміакопроводу, наведено на корозійній карті рис. 3.

На даній корозійній карті представлено відрізок траси аміакопроводу між двома постами секціонування. В період обстеження аміакопроводу необхідності в шурфуваннях на даній ділянці не виникало. По результатах обстеження на даній ділянці було рекомендовано та проведено першочерговий ремонт ізоляційного покриття довжиною 14 м. Таким чином, на момент виконання даної роботи в безпосередній близькості до кар'єру відсутні ділянки аміакопроводу з пошкодженнями, а відремонтовані ділянки аміакопроводу не мали відчутних пошкоджень та до того ж перебувають на значній відстані від місця можливих буропідричних робіт.

Результати проведеного комплексу матеріалознавчих досліджень як архівних, так і поста-

рених (вирізаних на працюючому аміакопроводі темплетях) в процесі експлуатації матеріалів свідчать про наступне.

1. Хімічний склад дослідженої сталі X46, як в архівному, так і в постареному станах відповідає вимогам стандарту API 5L.

2. Виконані на працюючому аміакопроводі вирізки темплетів із сталі X46 дали можливість оцінити швидкість корозії труб з боку потоку аміаку. Середня швидкість корозії з боку внутрішньої поверхні основної труби діаметром 355,6 мм для сталі X46 складає від  $10^{-4}$  до  $2 \cdot 10^{-3}$  мм/рік, якщо прийняти за термін експлуатації 20 років. Ця швидкість істотно нижче за швидкість корозії на незахищеній зовнішній поверхні труби.

3. Службові механічні властивості сталі X46 після 20 років експлуатації (таблиця) практично залишаються на рівні початкових, тобто тих, які були при введенні аміакопроводу в експлуатацію, а саме у відповідності до вимог стандарту API5L мінімально гарантовані механічні властивості металу труб в стані поставки сталі X46 мають бути не менші, ніж:  $\sigma_b = 434$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 317$  МПа;  $\delta = 24$  %.

4. Процес експлуатаційного старіння металу основних трубопроводів не викликав значного пониження ударної в'язкості *KCU*, так що ця характеристика сталей все ще залишається на рівні, що задовольняє вимоги нормативної документації.

5. Польові вимірювання в шурфах твердості основного металу труб з сталі X46 корелюють з лабораторними вимірюваннями твердості постареного металу. Зіставлення цих даних з твердістю архівної сталі X46 свідчить про деякий вплив процесу старіння на твердість металу (збільшення твердості сталі X46 на 8,23 %). Характер цього впливу узгоджується з характером впливу старіння, встановленим при дослідженнях ударної в'язкості.

6. На основі фрактографічних досліджень можна стверджувати, що за даними випробувань

**Фактичні механічні властивості сталі X46 за результатами вирізків з труб працюючого аміакопроводу**

Орієнтація осі зразка по відношенню до осі труби	Межа міцності $\sigma_b$ , МПа	Межа плинності $\sigma_{0,2}$ , МПа	Відносне подовження $\delta_s$ , %	Відносне звуження $\Psi$ , %
Основний метал, поздовжні зразки	<u>48,1...49,9</u> 49,2	<u>40,1...41,6</u> 41,0	<u>22,2...27,0</u> 25,2	<u>65,7...72,7</u> 70,3
Основний метал, поперечні зразки	<u>48,3...49,3</u> 48,9	<u>38,5...39,7</u> 39,1	<u>25,6...37,1</u> 32,0	<u>61,1...67,1</u> 65,3
Поздовжній зварний шов, поперечні зразки	<u>50,7...51,5</u> 51,0	—	—	—
Поздовжній зварний шов, поздовжні зразки	<u>50,9...52,3</u> 51,3	—	—	—
Кільцевий зварний шов, поздовжні зразки	<u>46,3...47,7</u> 46,9	—	—	—

Примітка. Над рискою – мінімальне і максимальне значення, під рискою – середнє значення за результатами п'яти експериментів

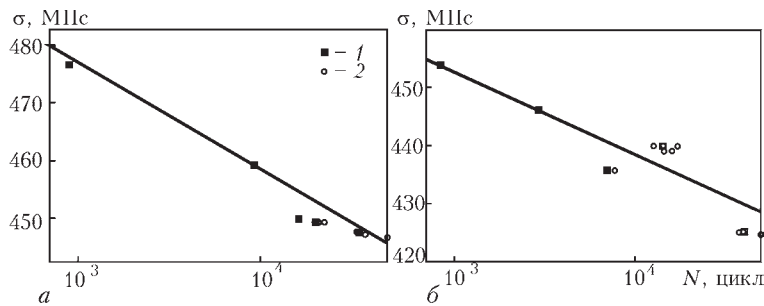


Рис. 4. Втомна міцність поздовжніх зразків металу поздовжнього (а) і кільцевого (б) зварних швів сталі Х46: 1 – випробування на повітрі; 2 – випробування в аміаку

зразків Менаже на ударну в'язкість в інтервалі температур  $-40...0$  °С сталь перебуває в області крихко-в'язкого переходу, зберігаючи при цьому необхідний по нормах рівень ударної в'язкості. Процес експлуатаційного старіння надав деякий вплив на окрихчування сталі Х46, але не настільки істотний, щоб в інтервалі робочих температур перевести їх в повністю крихкий стан.

7. Проведені дослідження втомної міцності сталі амміакопровода Х46 в рідкому аміаку і на повітрі показали відсутність агресивного впливу рідкого аміаку на їх корозійну втому (рис. 4).

Таким чином, не встановлено агресивного впливу рідкого аміаку на довговічність як основного металу досліджуваних марок сталей для амміакопровода, так і металу зварних швів в архівному стані. Пояснення цього факту полягає в тому, що вода, яка додається в рідкий аміак 0,2...0,4 % є ефективним інгібітором корозійних процесів. Досліджені марки сталей по убуванню втомної міцності в рідкому аміаку поздовжніх зразків металу кільцевого зварного шва розташовуються таким чином: 09ГБЮ, Х46, 09Г2С і 20.

## Висновки

Підсумовуючи означене вище, буде цілком правомірним стверджувати, що поновлення розробки родовища гранітів з застосуванням буропідричних робіт з дотриманням елементів технології сейсмобезпечного підривання не буде негативно вплива-

Evaluation of the effect of industrial explosions at development of granite quarry and technical condition of ammonia line and main gas pipelines, which run through the technological corridor at not less than 30,0 m distance from open-pit granite quarry, was conducted with the assumption of the toughest combination of negative factors. Verification of operational safety of ammonia line and gas pipelines against seismic effect of explosions was performed using "Mitsnist" expert system. For sequences of deep-hole charges of 0.160 m diameter with maximum weight in delay group  $Q = 680$  kg the minimum admissible distance to ammonia line will be equal to 132 m, and for gas pipelines it will be 129 m, respectively, while for sequences of deep-hole charges of 0.22 mm diameter with maximum mass in the delay group  $Q = 1200$  kg, minimum admissible distance to ammonia line will be 175 m, and for gas pipelines it will be 172 m. Resumption of development of granite field with application of blasting operations, while observing the elements of seismosafe blasting technology, will have no adverse effect on the condition of the main pipelines. 7 References, 1 Table, 2 Figures.

Keywords: ammonia line, gas pipelines, technical condition, industrial explosions, expert system

ти на стан магістральних трубопроводів.

В подальшому з початком проведення гірничих робіт і поглибленням горизонтів відпрацювання необхідно уточнювати сейсмобезпечну масу зарядів як стосовно траси амміакопровода і газопроводів, так і інших промислових і цивільних об'єктів.

Максимального зменшення сейсмічного впливу на всі навколишні цивільні та промислові об'єкти можливо досягти на підставі технології сейсмобезпечного підривання, яка буде враховувати особливості залягання і структуру гірського масиву, а також розташування, призначення і стан всіх наближених до кар'єру об'єктів.

Порівняння наявних фактичних механічних властивостей сталі Х46 з визначеним вище консервативно сумарним рівнем напружень в амміакопроводі показує, що навіть за самих несприятливих припущень запаси міцності залишаються на належному рівні.

1. Цейтлин Я. И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я. И. Цейтлин, Н. И. Смолий. – М.: Недра, 1981. – 192 с.
2. Швец В. Ю. Разработка технологии сейсмобезопасного взрывания скважинными зарядами на карьерах с учетом перераспределения энергии взрыва на дробление и сейсмоэффект: дис. ... канд. техн. наук / В. Ю. Швец. – Днепропетровск, 1988. – 145 с.
3. СНиП-45-75. Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1975.
4. Гехман А. С. Сейсмостойкость трубопроводов. Научно-технический обзор. НИПИЭСУНефтегазстрой / А. С. Гехман, А. А. Меликян, В. В. Спиридонов. – М.: 1977. – 100 с.
5. Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe. American Society for Civil Engineers (ASCE), July 2001, USA. – 76 p.
6. Тороп В. М. Комплексная диагностика аммиакопровода «Тольятти–Одесса» (территория Украины) / В. М. Тороп, Д. А. Дубицкий // Труды 12-й Международной деловой встречи «Диагностика 2002». – Апрель 2002, Турция. – Т.3, ч. 2. – М.: ИРЦ Газпром, 2002. – С. 8–12.
7. Тороп В. М. Оцінка граничного стану трубопроводів, резервуарів і посудин тиску на основі розробленої експертної системи: автореф. дис. докт. техн. наук / Тороп Василь Михайлович. – К., 2006. – 38 с.