

## **ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНА ТЕХНІКА ТА ВИРОБНИЧА БАЗА БУДІВНИЦТА**

**УДК 624.132.3**

**Кузьмінець М.П., д-р техн. наук**

### **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ТРУБОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ**

**Анотація.** В роботі проаналізовано переваги технічних рішень та технологій виконання земляних робіт машинами в умовах близько розташованого діючого трубопроводу з мінімальною зміною його напруженого стану

**Ключові слова:** ремонт, земляні роботи, робоче обладнання, машина, трубопровід, напружений стан.

**УДК 624.132.3**

**Кузьминець Н.П., д-р техн. наук**

### **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ**

**Аннотация.** В работе проанализированы преимущества технических решений и технологий выполнения земляных работ в условиях близко расположенного действующего трубопровода с минимальным изменением его напряженного состояния

**Ключевые слова:** ремонт, земляные работы, рабочее оборудование, машина, трубопровод, напряженное состояние.

**UDC 624.132.3**

**Kuzminets M.P., Dr. Tech. Sci.**

### **MODERN APPROACHES AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF THE PIPELINES**

**Abstract.** The paper analyzes the advantages of engineering solutions and technologies for excavation by machines in conditions of a closely located operating pipeline with a minimum change in its stress state

**Keywords:** repair, earthmovings, working equipment, machine, pipeline, stressed state.

## **Вступ**

Розвиток трубопровідного транспорту у всьому світі можна прослідкувати, аналізуючи зміну протяжності побудованих трубопроводів з часом з кінця ХХ – та початку ХХІ століть. В промислово розвинених країнах на початок століття функціонувало магістральних трубопроводів (МТ) в тис. км – 36462, у т.ч. газопроводів магістральних – 7503; продуктопроводів (усього) – 5102; морських трубопроводів (усього) – 1639, у т.ч. газопроводів – 1033, нафтопроводів – 606. Нині в Україні працює понад 40 тис. км, у т.ч. магістральних нафтопроводів ~ 4,5 тис. км; магістральних газопроводів ~ 36 тис. км [1, 2].

З [3-5] відомо, що зі схем укладання магістральних газопроводів (виключаючи морські, підземні, напівпідземні, наземні), які використовуються при їх прокладанні, 98% належить підземній схемі. Вартість 1 км магістрального газопроводу діаметром 1020 мм складає близько 1 млн. 200 тис. дол. США. Вартість лінійної частини магістрального газопроводу в середньому складає 50% його загальної вартості. Саме тому технологіям виконання земляних робіт при капітальному ремонті (КР) лінійної частини МТ та технологічному обладнанню для їх здійснення приділяється значна увага в різних країнах. Це можна відслідкувати за патентною активністю різних країн у вирішенні цих проблем.

## **Основна частина**

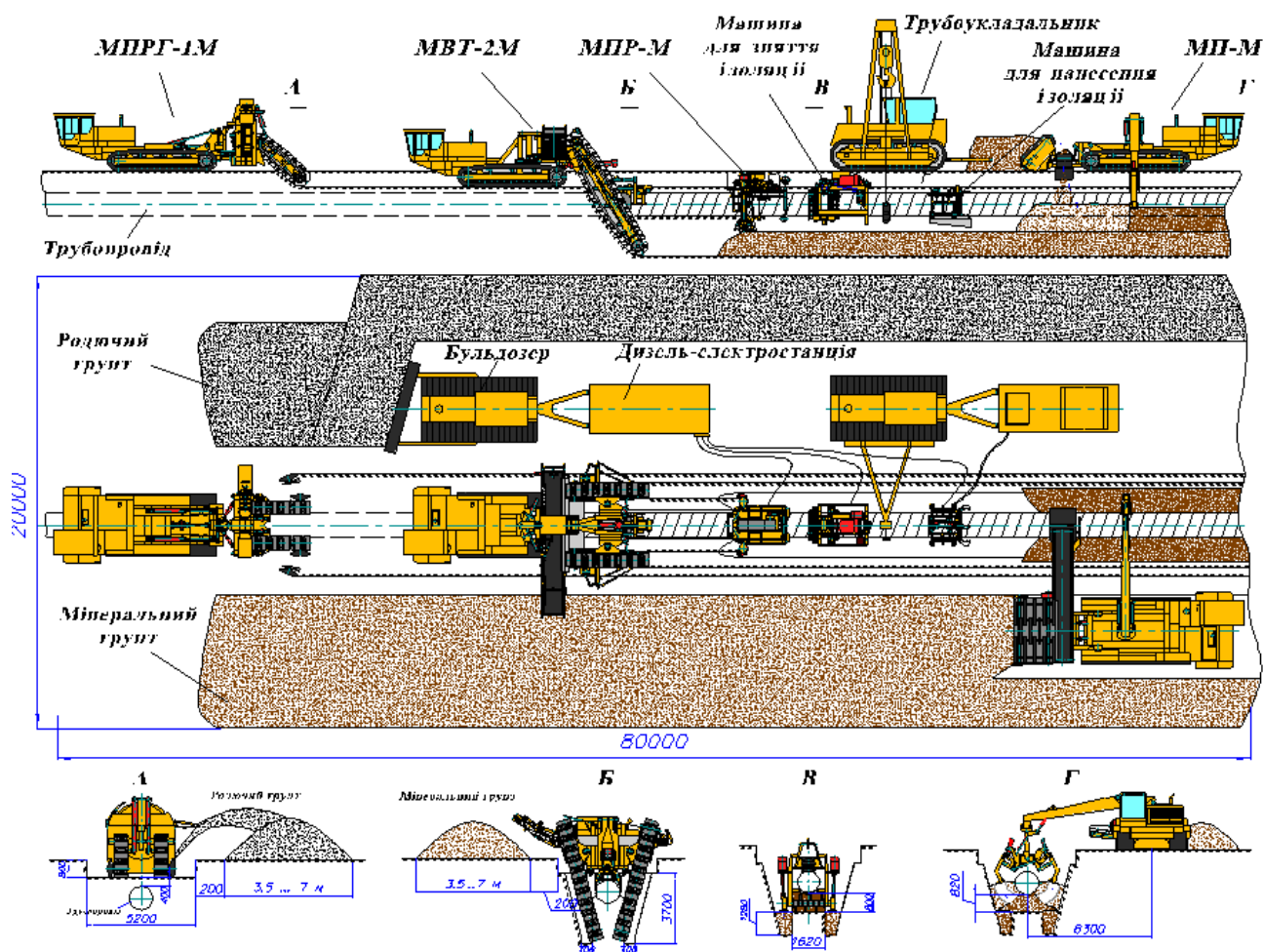
Розглянемо технічні рішення та технологію виконання земляних робіт при будівництві та капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів, доведені до практичного використання і встановимо їх переваги. Найбільш широко використовувана технологія виконання КР лінійної частини магістральних газопроводів [6] передбачає наступні дії: уточнюють положення газопроводу перед його відкриттям; позначають положення його осі; бульдозерами проводять планування траси для стійкої і надійної роботи машин і механізмів на ділянці трубопроводу, яку ремонтують; однокішовими екскаваторами проводять розробку двох траншей обабіч труби, при цьому загальний переріз виїмки має форму трапеції з розміром по дну не менше  $(D+2+0,8)$  м, де  $D$  – діаметр трубопроводу, що дозволяє вільно переміщуватися по трубі, покладеній на підпірки в траншеї очисної і ізоляційної машин; очисною машиною знімають старе ізоляційне покриття; очищують поверхню трубопроводу; ізоляційною машиною наносять нове ізоляційне покриття; трубоукладацькими укладають трубопровід на дно траншеї і засипають його з допомогою бульдозерів.

Недоліки використання технології є: порушується напружено-деформований

стан (НДС) тіла труби, що пов'язано з впливом її підняття трубоукладацькими на підпірки в траншеї, або на бровку траншеї, в результаті чого НДС труби стає неконтрольованим; неможливість проведення КР єдиним комплексом машин поточним методом; складність установки та подальшого демонтажу в траншеї з під труби додаткових підпірок; рівень безпеки виконання робіт низький; темпи виконання ремонтних робіт вкрай низькі – 20...50 м.пог/зміну.

Технологія КР магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм з заміною ізоляції без підйому трубопроводу з використанням комплексу машин підвищеної продуктивності [7] (рис. 1) передбачає наступні дії: уточнюють положення трубопроводу; знімають родючий шар ґрунту та переміщують його в відвал на сторону від трубопроводу; тією ж машиною за другий прохід знімають шар мінерального ґрунту на глибину, необхідну для стійкої та надійної роботи наступних технологічних машин; переміщують розроблений мінеральний ґрунт у відвал на іншу від трубопроводу сторону і спеціальною машиною розроблюють обабіч труби дві траншеї з розмірами, які залежать від діаметра трубопроводу та глибини його залягання, з відкосами траншеї з кутом не менше  $15^\circ$  та приямками на дні кожної траншеї; переміщують розроблений при цьому ґрунт в попередній відвал мінерального ґрунту; розроблюють ґрунт під трубопроводом на глибину 0,75-0,82 м нижче нижньої твірної труби, який переміщують в приямки; знімають з трубопроводу старе ізоляційне покриття; виконують, за необхідністю, ремонт труби та доочищують трубопровід; наносять нове ізоляційне покриття; підсипають ґрунт під трубопровід; ущільнюють його; остаточно засипають відремонтовану ділянку трубопроводу; проводять технічну рекультивацію родючого шару ґрунту.

Комплекс машин підвищеної продуктивності для виконання КР магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм із заміною ізоляції без підйому трубопроводу [8,9] складається з послідовно працюючих модернізованих та дооснащених машин МПРГ-1М, МВТ-2М, МПР-М, МП-М. В цьому комплексі відстані між працюючими машинами з допомогою відповідних пристроїв електронного контролю підтримуються фіксованими та незмінними, за винятком максимальної довжини підкопаної ділянки трубопроводу, величина якої залежить від параметрів труби (діаметра і товщини стінки).



**Рисунок 1** – Технологічна схема роботи машин під час капітального ремонту трубопроводів за новою технологією «без підйому труби та зупинки перекачування продукту»

Недоліки даної технології полягають в наступному:

- НДС трубопроводу під час виконання земляних робіт є змінним, неконтрольованим, мають місце чинники, дія яких може призвести до миттєвої (критичної) зміни НДС труби і можливого її руйнування з подальшими катастрофічними наслідками;

- машини та обладнання, задіяні в процесі виконання КР, розміщені вздовж ділянки труби, що ремонтується, або безпосередньо на ній, без урахування впливу їх маси, силових факторів робочих процесів на зміну НДС трубопроводу;

- спорудження прямиків для розміщення розробленого під трубопроводом ґрунту призводить до завищеної глибини виїмок з обох боків трубопроводу, можливого підтоплення їх ґрунтовими водами; необхідність спорудження прямиків збільшує на 40-45% об'єм ґрунту, який необхідно розробити для розкриття трубопроводу, зменшує продуктивність виконання земляних робіт та КР в цілому, приводить до збільшення на 15-25% ширини смуги відводу родючої землі

під КР ділянки трубопроводу для розміщення на ній збільшеного на 40-45% об'єму ґрунту (в залежності від діаметра трубопроводу), збільшує загальні енерговитрати на виконання земляних робіт при КР трубопроводу;

- робить менш стійкою та більш схильною до руйнування призми ґрунту між відкопаними траншеями під трубопроводом, на якій утримується трубопровід та розміщені на ньому машини та обладнання (МПП, очисна та ізоляційна машини). Це може призвести до миттєвого руйнування призми та подальшого неконтрольованого збільшення НДС трубопроводу.

Встановлення закономірностей зміни НДС ґрунтового середовища та магістрального трубопроводу як системи «робочий орган – ґрунт – трубопровід» дозволило встановити раціональні параметри робочого та ходового обладнання землерийних машин, що працюють в умовах близько розташованих магістральних трубопроводів за критерієм мінімального впливу на зміну НДС трубопроводу [10].

Однак, важливим залишилося питання визначення раціональних відстаней взаємного розташування ходового та робочого обладнання в конкретній машині, як системи «машина – ґрунт – трубопровід» – забезпечити мінімальну зміну НДС трубопроводу, що виникає внаслідок дії на неї машини, через ґрунтове середовище.

Отже необхідно сформулювати всі землерийні машини (див. рис. 1), що задіяні в капітальному ремонті магістральних трубопроводів в єдину технологічну колону за тим же критерієм – мінімізації впливу роботи всього комплексу машин на зміну НДС трубопроводу. Оскільки напружено-деформований стан трубопроводу під час виконання земляних робіт при його КР є змінним, неконтрольованим, тому не урахування взаємних дій машин в колоні може призвести до миттєвої (критичної) зміни НДС труби і можливого її руйнування з послідуєчими катастрофічними наслідками.

Розглянемо сумісний взаємовплив ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту (рис. 2).

Завданням стоїть визначити раціональне значення відстані  $L_{пр}$  між ходовим та робочим обладнанням машини пошарової розробки ґрунту. Для цього було побудовано тривимірну модель ґрунтового напівпростору з розташованим в ньому трубопроводом та прикладено навантаження від ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту (рис. 3,а).

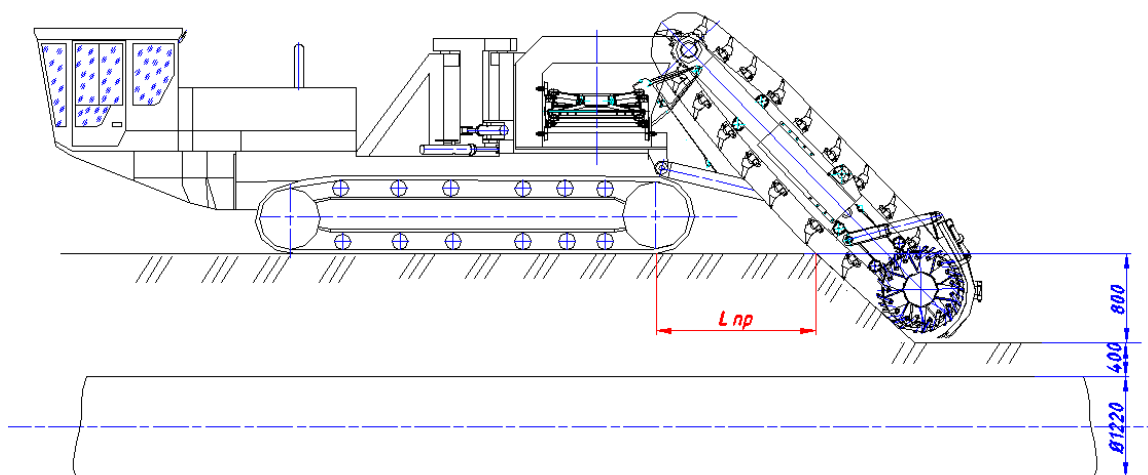
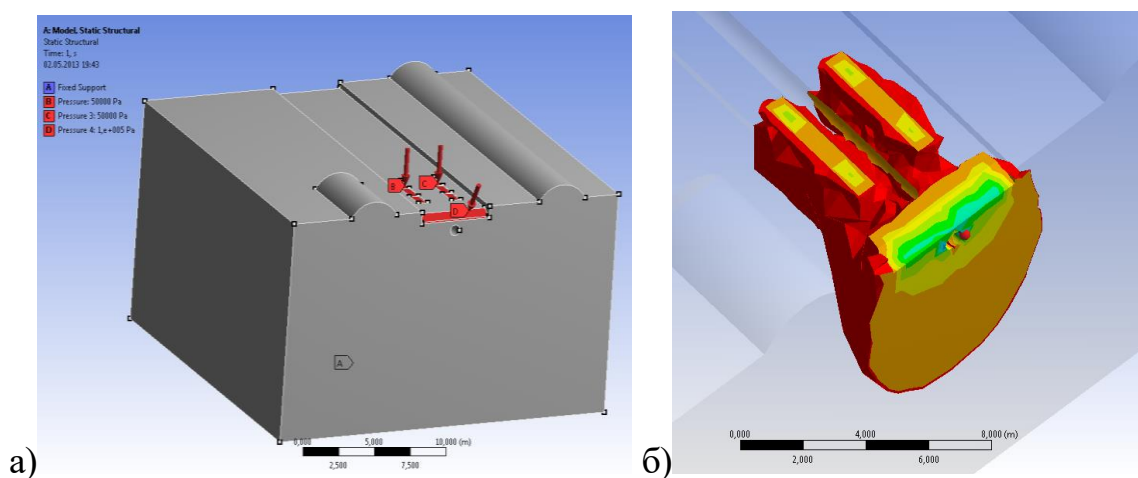


Рисунок 2 – Компонувальна схема машини пошарової розробки ґрунту



а) розрахункова схема, б) зони деформування ґрунту

Рисунок 3 – Розрахунок ґрунтового напівпростору та трубопроводу з навантаженнями від ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту

На основі досліджень (рис. 3,б) встановлено, що у результаті сумісної дії ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту виникають зони деформування та руйнування ґрунту від дії ходового та робочого обладнання, які пересікаються між собою. У відповідності до принципу суперпозицій таке накладання зон деформування середовищ призводить до збільшення в них напружено-деформованого стану середовища. Оскільки в таких зонах знаходиться трубопровід це призводить до збільшення його НДС.

Виконана серія досліджень дозволила встановити зв'язок між зміною відстані  $L_{пр}$  від ходовим до робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту. При збільшенні відстані  $L_{пр}$  від 500 до 1500 мм спостерігалось зменшення та повне

«розмикання» зон деформування ґрунтового середовища поблизу трубопроводу від дії ходового та землерийного обладнання машини розкривання трубопроводу. Встановлено раціональні значення відстані  $L_{пр}$  від ходового до робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту складає не менш ніж  $L_{пр} = 1500...1700$  мм. При цьому, буде забезпечено мінімальний сумісний вплив ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту на зміну НДС ґрунтового середовища в зоні магістрального трубопроводу та самого МТ.

Розглянемо сумісний взаємовплив ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу (рис. 4). Мета дослідження – визначити раціональне значення відстані  $L_{рт}$  між ходовим та робочим обладнанням машини розкривання трубопроводу.

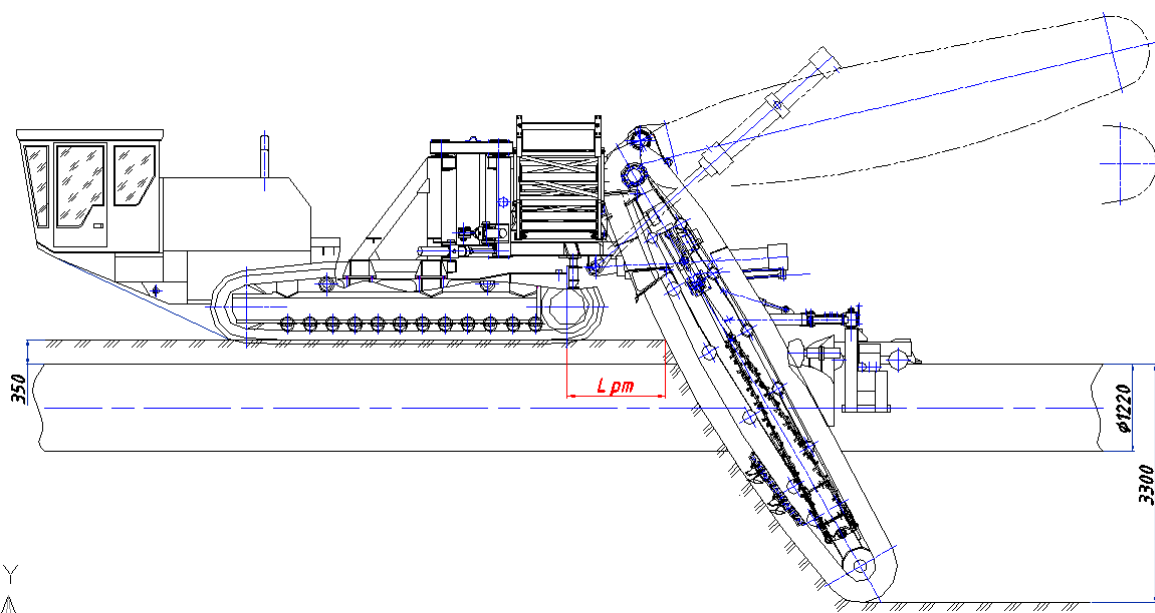
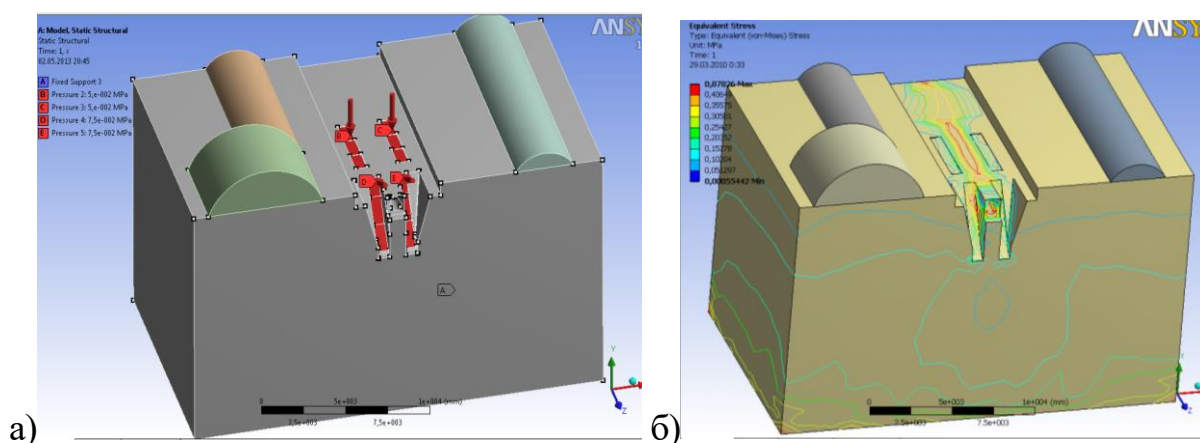


Рисунок 4 – Компонувальна схема машини розкривання трубопроводу

Дослідження виконувалося за аналогією встановлення зв'язку між відстанню ходового та робочого обладнання машини пошарової розробки ґрунту. Було побудовано тривимірну модель ґрунтового напівпростору з розташованим в ньому трубопроводом та прикладено навантаження від ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу (рис. 5, а).

На основі результатів досліджень, наведених на (рис. 5,б), встановлено, що у результаті сумісної дії ходового та робочого обладнання машини розкривання трубопроводу виникають зони деформування та ґрунту з високими значеннями напруженого стану ґрунтового середовища до 0,9 МПа. Хоча максимальний тиск, який задавався на ґрунтове середовище від дії ходового обладнання машин не перевищує 0,5 МПа. Тобто, у результаті пересікання зон деформування ґрунту, напруження на контакті «ґрунт – трубопровід» зросли практично у 2 рази. Це,

відповідно призводить до збільшення напруженого стану трубопроводу.



а) розрахункова схема, б) зони деформування ґрунту

**Рисунок 5** – Розрахунок ґрунтового напівпростору та трубопроводу з навантаженнями від ходового та робочого обладнання машини розкриття трубопроводу

Серія досліджень дозволила встановити зв'язок між зміною відстані  $L_{рт}$  від ходового до робочого обладнання машини розкриття трубопроводу та зміною еквівалентних напружень у ґрунтовому середовищі. При збільшенні відстані  $L_{рт}$  від 300 до 1800 мм спостерігалось зменшення зон деформування ґрунтового середовища та еквівалентних напружень в ньому поблизу трубопроводу від дії ходового та землерийного обладнання машини розкриття трубопроводу.

Раціональні значення відстані  $L_{рт}$  між ходовим та робочим обладнанням машини складає не менш ніж  $L_{рт} = 1400...1500$  мм. Тоді, буде забезпечено зміну напруженого стану ґрунтового середовища без пересікання зон деформування ґрунту між ходовим та робочим обладнанням машини розкриття трубопроводу. Це забезпечить мінімальний сумісний вплив ходового та робочого обладнання машини розкриття трубопроводу ґрунту на зміну НДС ґрунтового середовища в зоні магістрального трубопроводу та самого трубопроводу. Збільшення відстані  $L_{пр}$  тільки покращить ситуацію, однак вибрано раціональне значення такого параметру, так як його збільшення впливає на перерозподіл навантажень на ходове обладнання машини, погіршуючи його, що може призвести до перевантаження елементів ходового обладнання, а також погіршення керованості машини.

Результатом досліджень стала розроблена методика [10,11] поєднання машин в єдиний технологічний комплекс для виконання капітального ремонту лінійної частини магістральних трубопроводів з мінімальним впливом на зміну напруженого стану трубопроводу.



## **Висновок**

Вдалося забезпечити мінімальний вплив робочих процесів машин на зміну НДС трубопроводу, біля якого виконуються роботи та на основі цього визначити раціональні параметри робочого обладнання та режими його роботи; сформувати комплекс землерийних машин на основі мінімального або допустимого взаємовпливу робочих процесів машин на зміну НДС магістрального трубопроводу шляхом забезпечення мінімальної довжини і ширини захватки розробки траншеї та з урахуванням забезпечення попередньою машиною найбільш сприятливих умов для роботи наступних машин.

## **Література**

1. Трубопровідний транспорт газу/Ковалко М.П., Грудз В.Я., Михалків В.Б. та ін. За ред. М.П. Ковалка. – К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. -600 с.
2. Діак І.В., Осінчук З.П. Газова промисловість України на зламі століть /І.М, Карп (відп. ред.). – Івано-Франківськ: Лілея НВ, 2000. – 231 с.
3. Панов Ю.Е. Тенденции развития трубопроводного транспорта и защита окружающей среды при ее эксплуатации. – М.: ИНТВИНИТИ / Серия «Трубопроводный транспорт», 1990. – Т.13 Трубопроводный транспорт за рубежом. –с. 3-62.
4. Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П., Баланін В.Х. Безпека і ресурсозбереження при виконанні капітального ремонту магістрального трубопровідного транспорту // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: Вид-во ХАДІ, 2010. – Т.1 – 280 с. С.175-179.
5. Ремонт магистральных и промышленных газопроводов. Справочное пособие / Груднистый В.Н., Зорин Е.Е., Егурцов С.А. и др. Под ред. Степаненко А.И. – К: Интерграфик, 1996. – 192 с.
6. Правила производства капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов ВСН 2-112-79. – М: Миннефтегазстрой, 1979. – 136 с.
7. Технология капитального ремонта магистральных нефтепроводов диаметром 530-1220 мм с заменой изоляции без подъема трубопровода с применением комплекса машин повышенной производительности ВБН В.3.1-320.20077720.01 – 2001. – 188 с.
8. Кузьмінець М.П. В.Х. Баланін Переваги технічних рішень та технології виконання земляних робіт при капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів // Автомобільні дороги і транспортне будівництво. – К.: НТУ. 2011. – № 81. – С. 115–122.
9. Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П. Вдосконалення організації технологічної схеми колони машин для ремонту магістральних нафтопроводів / // Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdow samocho-dowych i maszyn roboczych samojedznych, zarzadzanie i marketing w motoryzacji. – Rzeszow (Polska) : Politechnika Rzeszowska – SACON’07, 2007. – S. 251–256.
10. Кузьмінець М.П. Формування комплексу спеціальних землерийних машин для роботи в умовах діючих магістральних трубопроводів: дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.05.04. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2013. – 319 с.
11. Пат. 94374 України, МПК E02F5/10. Технологія виконання земляних робіт при капітальному ремонті лінійної частини магістральних трубопроводів і комплекс технологічного обладнання для її здійснення / М.Ф. Дмитриченко, М.О. Білякович, В.Д. Мусійко, М.П. Кузьмінець, В.Х. Баланін. № а 2010 10431; заявл. 27.08.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. №8.

## **Рецензенти:**

Сівко В.І, д-р техн. наук, Київський національний університет будівництва та архітектури.  
Лантух-Лященко А.І., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

## **Reviewers:**

Sivko V.I, Dr. Tech. Sci., Kyiv National University of Construction and Architecture.  
Lantuh-Lyaschenko A. I., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **12.03.2017 р.**