

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ
ПІД ТРУБОПРОВОДОМ

COMPUTER MODELING OF THE PROCESS OF SOIL SEALING UNDER THE PIPELINE



Кузьмінець Микола Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, kuzminetsmp@ukr.net, тел. +380442849713,

<https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>

Анотація. У статті, за допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі Ansys, досліджено робочий процес змінного обладнання однокішшевого екскаватора для ущільнення ґрунту під трубопроводом та оцінено вплив параметрів робочого обладнання на якісну картину процесу ущільнення ґрунту та зміну параметрів напружено-деформованого стану магістрального трубопроводу та ґрунту.

Ключові слова: моделювання, ґрунт, напружений стан, екскаватор, трубопровід

Вступ. Україна володіє частиною унікальної системи трансконтинентальних магістральних нафто- та газопроводів, завдяки яким є можливість транспортувати нафту і газ до багатьох країн Європи та Азії, а також забезпечувати енергоносіями власну економіку. Переважна частина такої транспортної системи побудована пів століття тому та нині потребує капітального ремонту.

В Україні розроблено та впроваджено нову технологію виконання ремонту магістральних трубопроводів, яка передбачає виконання робіт із заміни ізоляційного покриття, без підйому труби та, в окремих випадках, без зупинки перекачування продукту. Останньою операцією такої технології є засипання відремонтованого трубопроводу та ущільнення відсипаного ґрунту під трубою. Дану операцію виконує машина з новим робочим обладнанням, завдання якого ущільнити ґрунт до необхідних параметрів міцності, при цьому створюючи мінімальний вплив на зміну напружено-деформованого стану (НДС) діючого трубопроводу.

Мета і методи. Розробці та впровадженню комплексу нової землерийної техніки [1, 2] для виконання подібних робіт присвячено низка наукових робіт. Зокрема, що стосується операції ущільнення ґрунту під трубопроводом, в роботах [3, 4, 5] було розкрито механізм процесу ущільнення ґрунту під трубопроводом, обумовлений взаємодією ядер ущільнення ґрунту під час обтискування його плоскими поверхнями робочого органа, що рівномірно рухаються одна проти одної, в умовах, обмежених стінкою трубопроводу і дном траншеї, який дозволив керувати ступенем та рівномірністю ущільнення масиву ґрунту під трубопроводом за один прохід робочого обладнання. Розроблено математичні моделі для визначення напружень та коефіцієнтів ущільнення ґрунтового масиву під трубопроводом. Визначено раціональні значення параметрів ґрунтоущільнювального обладнання: кут обтискування 75° , відстань між лопатками 1400 мм, довжина та ширина лопаток – відповідно 600 та 300 мм, відстань від лопатки до твірної трубопроводу $l = 180$ мм. Встановлено закономірності зміни тиску ґрунтоущільнювальних лопаток на ґрунт $P = 0,18 \dots 0,35$ МПа від коефіцієнта його ущільнення в межах $K_u = 0,9 \dots 0,95$. Такі параметри дозволили створити ефективне робоче обладнання для ущільнення ґрунту під магістральними трубопроводами.

Останнім часом, було запропоновано спроектувати конструкцію змінного робочого обладнання до однокішшевого екскаватора, для ущільнення ґрунту під трубопроводами при вибірковому ремонті. Для видозміненого робочого обладнання не вирішеним залишилося питання, а який вплив чинить процес ущільнення ґрунту під трубопроводом на зміну напружено деформованого стану труби, при відомих навантаженнях на неї, і які параметри ґрунтоущільнювальних лопаток необхідні для ефективного ущільнення ґрунту.

Метою роботи - за допомогою сучасних інженерно-розрахункових програм змодельовати робочий процес змінного обладнання екскаватора для ущільнення ґрунту під трубопроводом та оцінити вплив параметрів ґрунтоущільнювальних лопаток на якісну картину процесу ущільнення ґрунту та зміну параметрів магістрального трубопроводу.

Об'єкт дослідження – процес ущільнення ґрунту під трубопроводом.

Результати і пояснення. В процесі виконання дослідження, було розроблено тривимірну модель екскаватора з робочим обладнанням, ґрунтовою призмою під трубопроводом та змодельовано трубопровід (рис. 1).

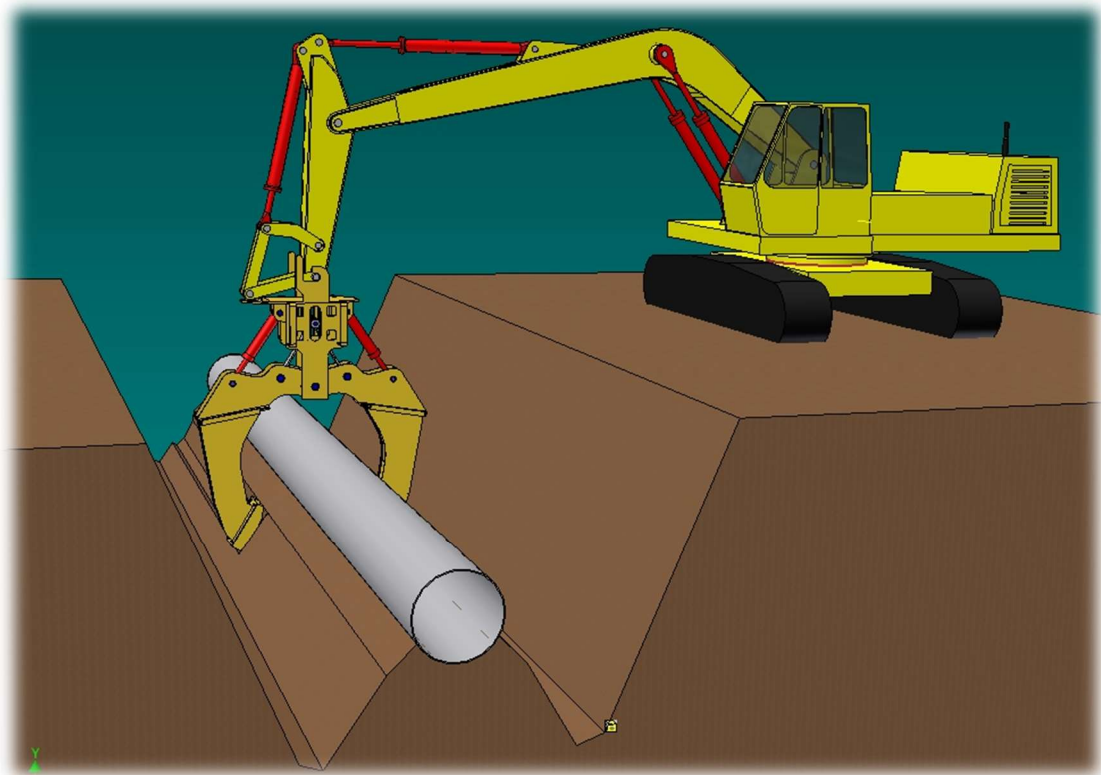


Рисунок 1 – Модель змінного робочого обладнання до екскаватора для ущільнення ґрунту під трубопроводом

Figure 1 – Model of interchangeable work equipment to the excavator for soil compaction under the pipeline

До ґрунтового середовища прикладено навантаження (рис. 2) від ґрунтоущільнювальних лопаток, відповідно до максимальних зусиль в гідроциліндрах, з урахуванням кінематики приводу.

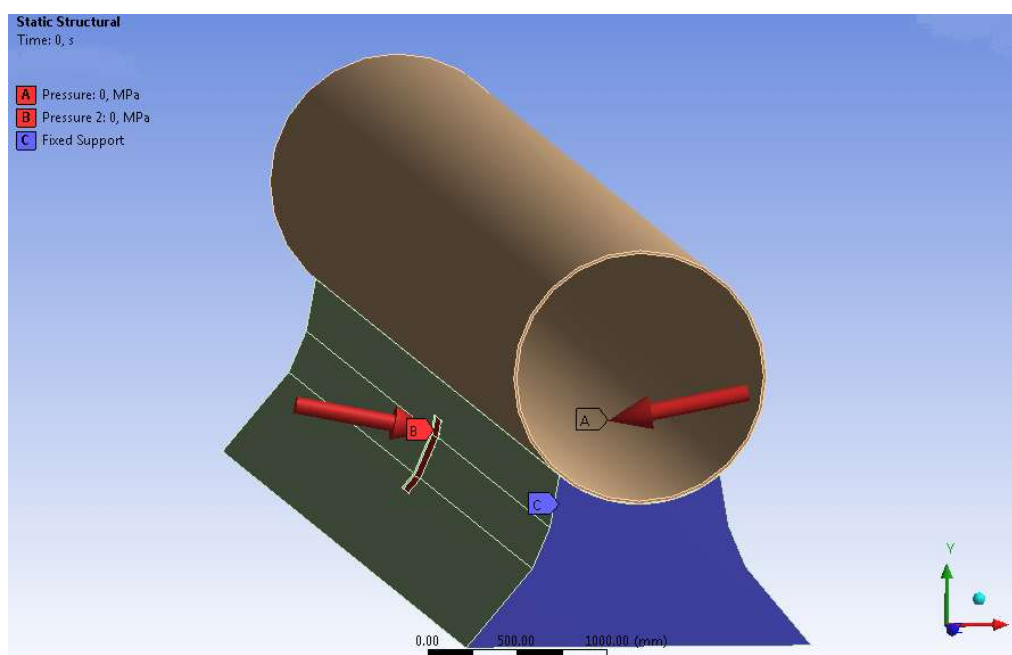


Рисунок 2 – Схема прикладання навантаження від ґрунтоущільнювальних лопаток
Figure 2 – Scheme of application of load from soil compacting blades

У результаті досліджень було встановлено зміну НДС трубопроводу, аналіз яких дав підставу стверджувати, що обтискування ґрунту під трубопроводом лопатками чинить вплив на зміну НДС труби. Якісна картина епюри розподілу напружень при цьому має вигляд рис. 3.

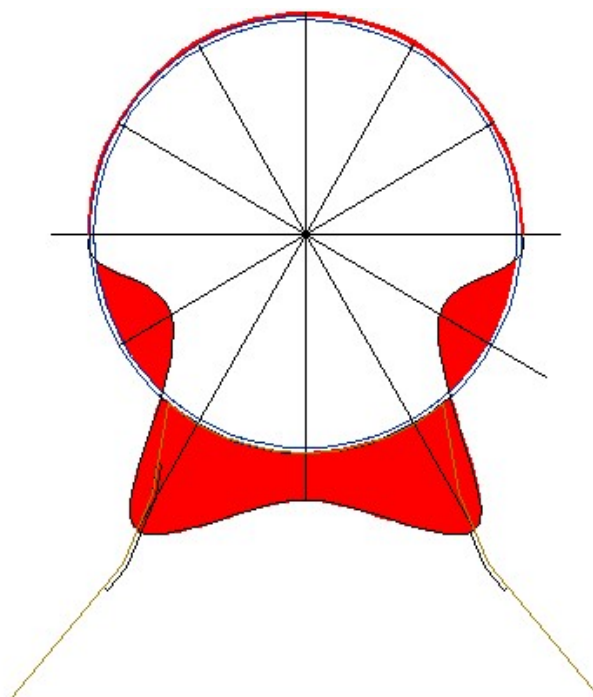


Рисунок 3 – Епюра розподілу напружень в трубопроводі під час ущільнення ґрунту
Figure 3 – Plot of stress distribution in the pipeline during soil compaction

У результаті виконання низки досліджень, у тому числі і досліджень напрямків формування зон деформування ґрунту рис. 4, було запропоновано змінити форму ущільнювальної лопатки, зробивши її ламаною з кількох частин.

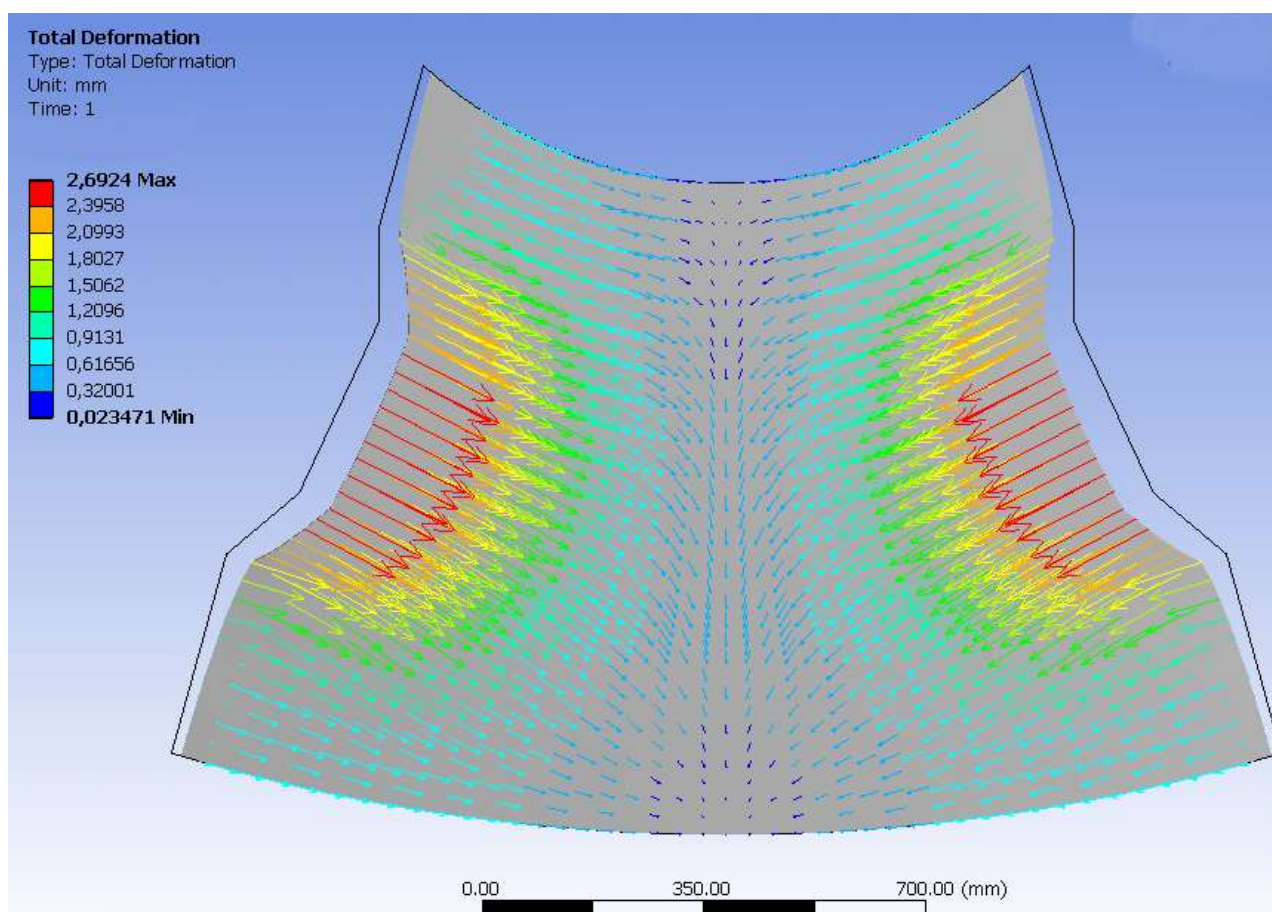


Рисунок 4 – Формування зон деформування ґрунту
Figure 4 – Formation of soil deformation zones

Наявність додаткових «крил» лопатки дозволило перенаправити напрями формування зон деформування ґрунту під трубопроводом, забезпечивши при цьому рівномірне та якісне ущільнення ґрунту рис. 5 під трубопроводом з мінімальною зміною НДС трубопроводу.

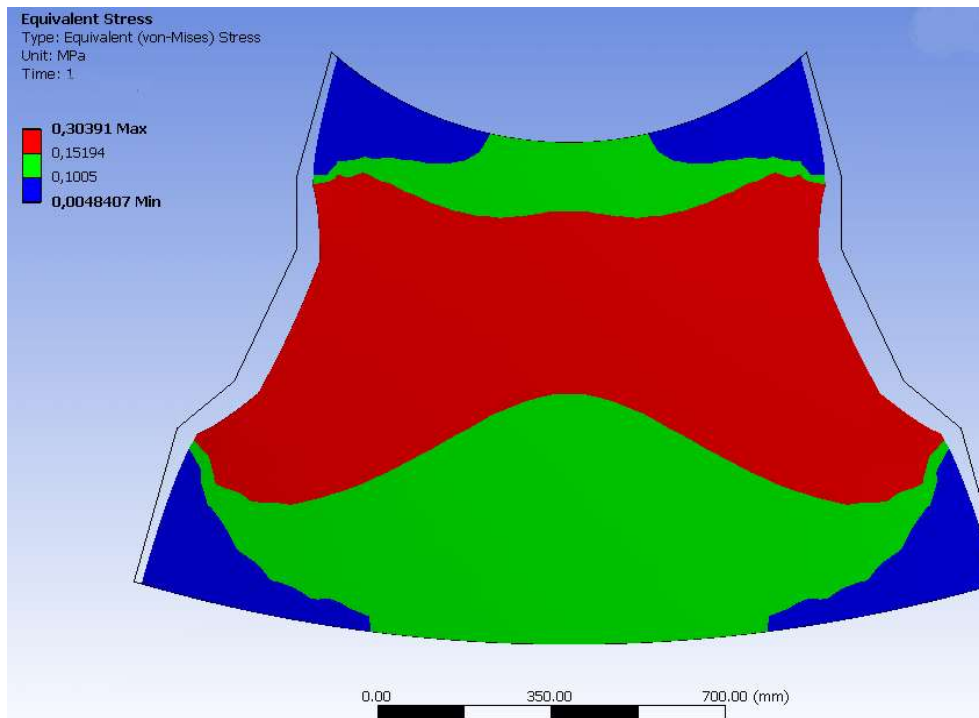


Рисунок 5 – Формування зон ущільнення ґрунту
Figure 5 – Formation of soil compaction zones

Крім того, в результаті дослідження, дійшли висновку, що можна використовувати форму лопаток у вигляді двох напівсфер на відстані 1265мм, з встановленими раціональними радіусами кривизни 275 та 375 мм, на відстані 272мм від труби діаметром 1420мм (рис. 6).

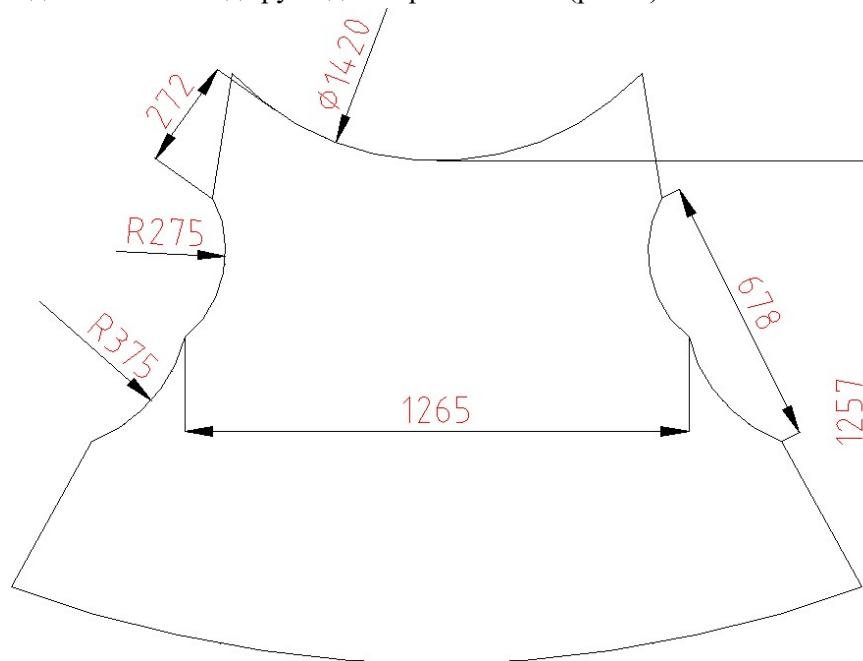


Рисунок 6 – Раціональна схема розташування та параметри форми лопаток для ущільнення ґрунту під трубопроводом

Figure 6 – Rational layout and shape parameters of the blades for soil compaction under the pipeline

При цьому вдалося забезпечити мінімальний вплив на зміну НДС трубопроводу та досягти найбільш рівномірну якість ущільнення ґрунту по осі під трубопроводом рис. 7.

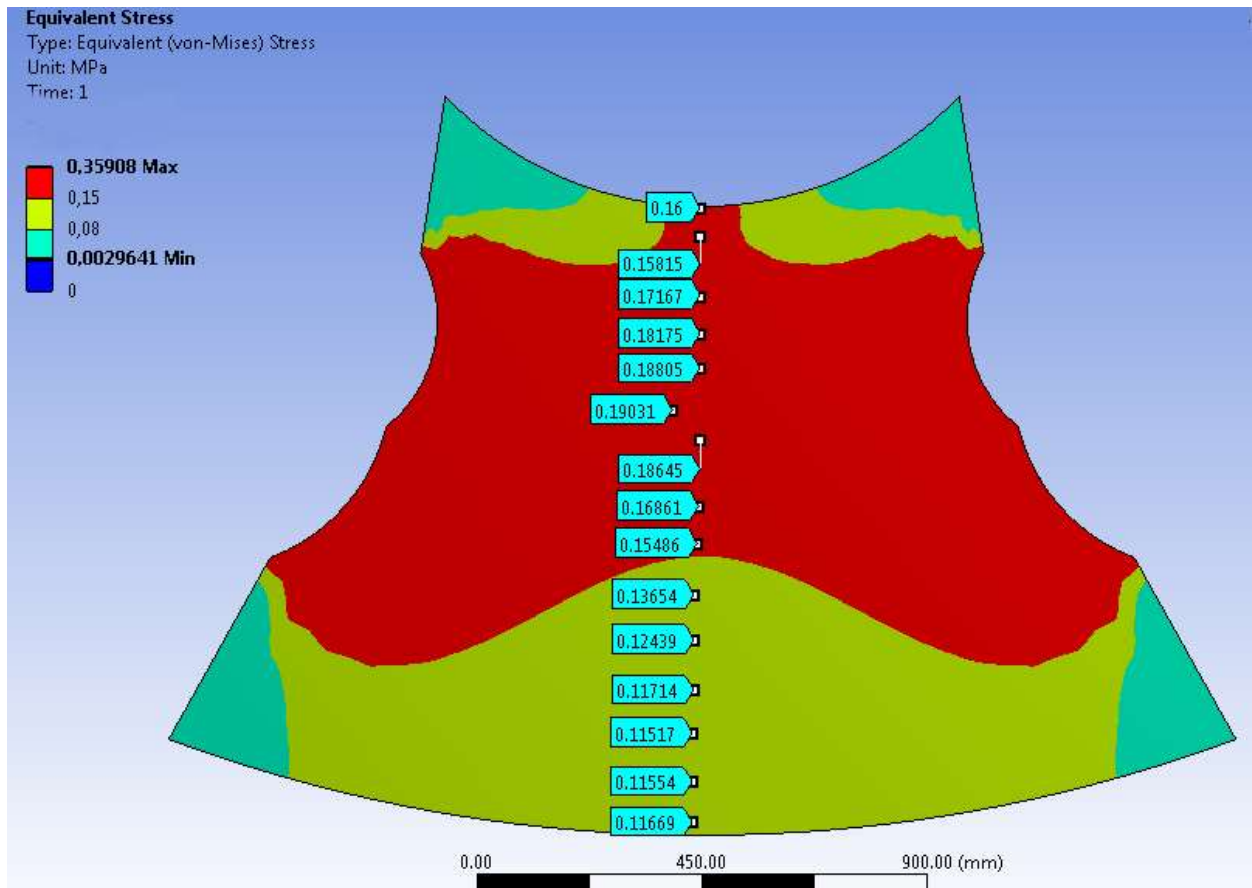


Рисунок 7 – Формування зон ущільнення ґрунту під трубопроводом
Figure 7 – Formation of soil compaction zones under the pipeline

Висновки та рекомендації. Результати дослідження показали, що завдяки моделюванню робочого процесу змінного обладнання екскаватора для ущільнення ґрунту під трубопроводом, з використанням сучасних інженерно-розрахункових програм, вдалося оцінити вплив параметрів ґрунтоущільнювальних лопаток на якісну картину процесу ущільнення ґрунту та зміну параметрів магістрального трубопроводу.

Встановлено, що для змінного робочого обладнання екскаватора, для ущільнення ґрунту під трубопроводом, більш раціонально використовувати форму лопаток у вигляді двох на півсфер розташованих на відстані 1265мм між собою, з радіусами кривизни 275 та 375 мм, на відстані 272мм від труби діаметром 1420мм.

Проектування змінного робочого обладнання екскаватора з такими параметрами ґрунтоущільнювальних лопаток та їх розташуванням відносно трубопроводу дозволить якісно ущільнити ґрунт під трубою, з максимальним коефіцієнтом ущільнення, та забезпечити мінімальний вплив обладнання на зміну напружено-деформованого стану трубопроводу.

Перелік посилань

1. Технологія капітального ремонту магістральних нафтопроводів діаметром 530-1220 мм із заміною ізоляції без підняття трубопроводу з використанням комплексу машин підвищеної продуктивності. ВБН В.3.1-320.20077720.01-2001. НАК "Нафтогаз України", Київ, 2001, 189 с.
2. 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.
3. Кузьмінець М.П. Створення робочого органа для ущільнення ґрунту під магістральними трубопроводами. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04/ Кузьмінець М.П. – Київ, 2006. – 191 с.
4. 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.
5. Прикладна механіка робочих процесів машин: Монографія / Сівко В.Й., Кузьмінець М.П. – К.: НТУ, 2009, – 349 с.

COMPUTER MODELING OF THE PROCESS OF SOIL SEALING UNDER THE PIPELINE

Kuzminets Mykola Petrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Computer, Engineering Graphics and Design, kuzminetcmp@ukr.net, tel. +380442849713, <https://orcid.org/0000-0002-9636-919X>

Summary. In the article, using computer simulation in Ansys environment, the working process of replacement equipment of a single-bucket excavator for soil compaction under the pipeline is investigated and the influence of working equipment parameters on the qualitative picture of soil compaction process and change of stress-strain state of main pipeline and soil is evaluated.

Keywords: modeling, soil, stress, excavator, pipeline

References

1. Tekhnolohiia kapitalnoho remontu mahistralnykh naftoprovodiv diametrom 530-1220 mm iz zaminoiu izoliatsii bez pidniattia truboprovodu z vykorystanniam kompleksu mashyn pidvyshchenoi produktyvnosti. VBN V.3.1-320.20077720.01-2001. NAK "Naftohaz Ukrainy", Kyiv, 2001, 189 s.
2. Pat. 94374 Ukrainy, MPK E02F5/10. Tekhnolohiia vykonannia zemlianykh robir pry kapitalnomu remontu liniinoi chastyny mahistralnykh truboprovodiv i kompleks tekhnolohichnoho obladnannia dlia yii zdiisnennia / M.F. Dmytrychenko, M.O. Biliakovych, V.D. Musiiko, M.P. Kuzminets, V.Kh. Balanin. № а 2010 10431; zaiavl. 27.08.2010; opubl. 26.04.2011, Biul. №8.
3. Kuzminets M.P. Stvorennia robochoho orhana dlia ushchilnennia ґruntu pid mahistralnymy truboprovodamy. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.04/ Kuzminets M.P. – Kyiv, 2006. – 191 s.
4. Kuzminets M.P. Formuvannia kompleksu spetsialnykh zemleryinykh ma-shyn dlia roboty v umovakh diiuchykh mahistralnykh truboprovodiv: dys. na zdobuttia naukovooho stupenia d-ra tekhn. nauk: spets. 05.05.04. – Kyivskyi natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury, Kyiv, 2013. – 319 s.
5. Prykladna mekhanika robochykh protsesiv mashyn: Monohrafiia / Sivko V.I., Kuzminets M.P. – K.: NTU, 2009, – 349 s.