

С.В. Зайченко, проф. д-р, ORCID 0000-0002-8446-5408
В.О. Шаленко, канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-6984-0302
С.В. Король, канд. техн. наук, доц, ORCID 0000-0003-6521-6322
С.П. Шевчук, проф. д-р, ORCID 0000-0002-0593-326X
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ З РОЛИКОВИМ ПРИВОДОМ

В роботі представлено загальну концепцію створення системи очищення магістральних трубопроводів пристроєм з роликів приводом з використанням енергії потоку нафти. Аналітично доведено доцільність використання очисних пристроїв з роликів приводом щіток. Застосування даної системи дозволяє зменшити час і трудовитрати при проведенні очисних робіт магістральних трубопроводів за рахунок багатократної дії щіток які рухаються по гвинтовій траєкторії. Запропоновано нову конструкцію внутрішньотрубного пристрою з роликів приводом щіток яка дозволяє використати енергію потоку нафти для створення обертого моменту приводу щіток. На основі рівнянь механіки контактної взаємодії і теорії руху колісних транспортних засобів встановлено рівняння максимальної потужності роликів приводу обертання ротора очисного пристрою. Аналіз залежності свідчить про синусоїдальну залежність зміни потужності роликів приводу обертання ротора очисного пристрою від кута повороту ролика і лінійну від коефіцієнта проковзування і швидкості.

Ключові слова: магістральний трубопровід, очисний пристрій, ролик, потужність, контактна взаємодія

Вступ

Транспортування рідких речовин за допомогою трубопроводів є одним із широко вживаних у світі засобів для їх транспортування від виробника до споживачів, особливо коли відстань між ними є значною. Згідно Закону України «Про трубопровідний транспорт» магістральний трубопровід є технологічним комплексом, який функціонує як єдина система і до якого входить окремий трубопровід з усіма об'єктами і спорудами, які зв'язані з ним єдиним технологічним процесом, або кілька трубопроводів, якими здійснюються транзитні, міждержавні, міжрегіональні поставки продуктів транспортування споживачам. В Україні трубопровідний транспорт використовують для перекачування газу, нафтопродуктів, нафти та аміаку. У порівнянні з іншими видами транспорту трубопровідний транспорт більш практичний та економічно доцільний для транспортування великих обсягів, однак мають фактори небезпеки. Зокрема, існує ризик пошкодження трубопроводів, що може призвести до екологічного забруднення значних територій навколо нього. При аварії на газопроводі чи нафтопроводі в атмосферу потрапляє метан та його гомологи, вуглекислий газ та пари нафти, які впливають на центральну нервову систему, органи дихання тварин та людей, крім цього підвищується парниковий ефект.

В зв'язку з цим особливу увагу заслуговують сучасні методи очищення нафтових магістральних трубопроводів від парафіносмолистих відкладень [1-4]. Парафіносмолисті відкладення погіршують гідравлічні характеристики магістральних трубопроводів в наслідок зменшення перетину. Також парафіносмолисті відкладення суттєво впливають на процес діагностування магістральних трубопроводів внутрішньотрубними діагностичними пристроями. Причиною погіршення достовірності отриманих результатів за допомогою методів ультразвукової і магнітної дефектоскопії утворення проміжку між датчиками і випромінювачами внутрішньотрубних діагностичних пристроїв і стінкою магістрального трубопроводу.

Для запобігання збільшення гідравлічного опору магістральних трубопроводів і підвищення достовірності отриманої діагностичної інформації за допомогою методів ультразвукової і магнітної дефектоскопії встановлено комплекс заходів націлених на очищення внутрішніх стінок магістральних нафтових трубопроводів. Основними етапами даних заходів є пропуск спеціальних внутрішньотрубних очисних і калібруючих пристроїв. Для досягнення певної якості очищення поверхні по всій довжині трубопроводу пропускаються 3-4 рази очищуючі скребки. Процес пуску і проходження по всій довжині трубопроводу внутрішньотрубного очисного пристрою достатньо тривалий, що пов'язано з низькою швидкістю руху нафти (2 м/с). Основними існуючими шляхами інтенсифікації процесу очищення є підвищення температури нафти, застосування хімічних реагентів, використання скребок спеціальної кон-

© С.В. Зайченко, В.О. Шаленко, С.В. Король, С.П. Шевчук, 2020

струкції з щітками і катками. Застосування хімічних реагентів у вигляді поверхневоактивних речовин значно погіршує якість нафти, а використання нагрівання потребує спеціальних додаткових витрат енергії, комплексу обладнання і конструкції трубопроводу. Також використання нагрівання має різну дію по довжині трубопроводу, що пояснюється охолодженням нафти під час руху. Використання щіток і катків підвищує незначно інтенсивність очищення в наслідок їх однократної дії.

Виходячи з вище сказаного, розробка нових методів і конструкції засобів для очищення внутрішньої поверхні трубопроводу з метою підвищення пропускних здібностей і проведення діагностичних робіт є актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка нової конструкції пристрою для очищення внутрішньої поверхні магістрального трубопроводу і методики розрахунку головних геометричних і енергосилових параметрів з врахуванням особливостей механіки контактної взаємодії робочих органів з оброблюваним середовищем.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувались наступні задачі:

- Розробка принципово нової конструкції внутрішньотрубного очисного пристрою який дозволяє збільшити дію щіток за один прохід;
- Дослідження процесів контактної взаємодії елементів очисного простору з оброблюваним середовищем;
- Створення рекомендацій розрахунку головних геометричних і енергосилових параметрів з врахуванням особливостей механіки контактної взаємодії робочих органів з оброблюваним середовищем.

Матеріал і результати дослідження

Авторами запропоновано принципово нову конструкцію внутрішньотрубного очисного пристрою який дозволяє збільшити дію щіток за один прохід (рис. 1). Для приводу очисного пристрою традиційно використано ущільнюючі манжети 1 які прикріплені до корпусу 2 при дії на які потоку нафти відбувається переміщення по довжині трубопроводу (напрямок показано стрілкою). При русі очисного пристрою встановлені на ротор 3 роликів 4 взаємодіють з поверхнею стінки трубопроводу змушуючи обертатись щітки 5. Контакт між роликками і стінкою трубопроводу забезпечується системою з кронштейна 6 важеля 7 і пружини 8. Для обертання ротора очисного внутрішньотрубного пристрою навколо корпусу використано пару підшипників 9. Момент, що змушує обертатись ротор створюється в результаті контактної взаємодії встановлених під кутом θ роликів з внутрішньою поверхнею труби.

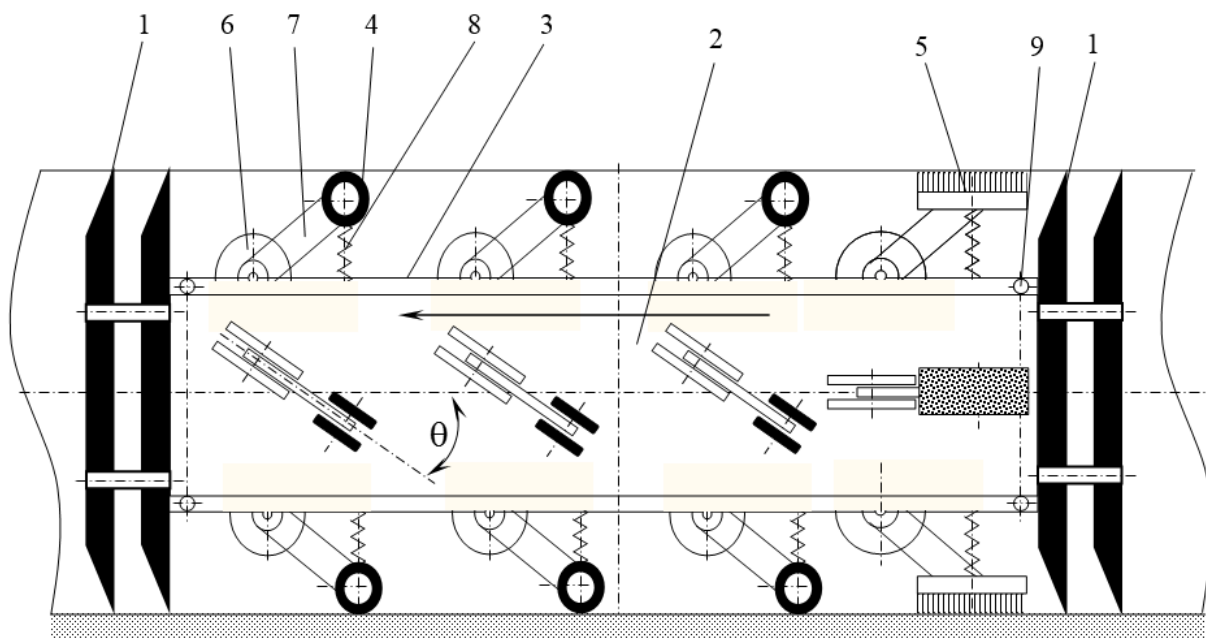


Рис. 1 Схема внутрішньотрубного пристрою з роликним приводом щіток

В основу математичного опису взаємодії ролика внутрішньотрубного очисного пристрою з використано теорію руху колісних транспортних засобів і механіки контактної взаємодії з врахуванням особливостей механіки контактної взаємодії робочих органів з оброблюваним середовищем [6-11].

Для визначення взаємозв'язку головних параметрів головних геометричних і енергосилових параметрів розглянемо контактну взаємодію ролика з поверхнею труби. Розрахункова схема складається з двох: півпростору обмеженого циліндричною поверхнею і ролика (рис. 2).

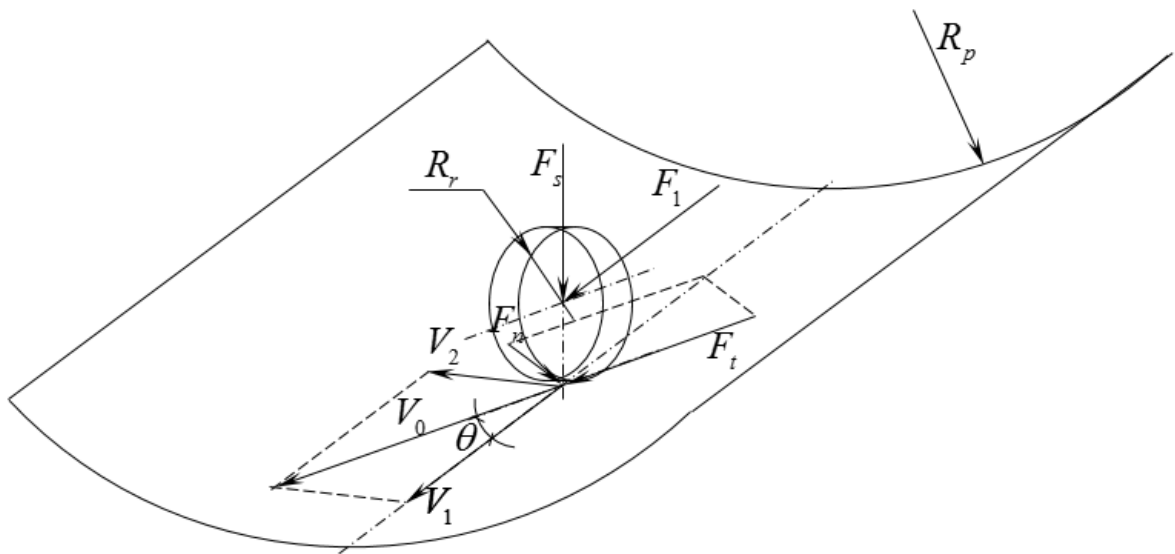


Рис. 2 Розрахункова схема визначення головних параметрів головних геометричних і енергосилових параметрів

Для визначення кінематичних параметрів системи розкладемо вектор швидкості руху ролика V_0 на дві взаємно перпендикулярні складові спрямованих поздовж V_1 і перпендикулярно V_2 напрямку руху очисного пристрою:

$$V_0 = \frac{V_1}{\cos \theta}; \quad (1)$$

$$V_2 = V_1 \cdot \operatorname{tg} \theta. \quad (2)$$

З врахування проковзування:

$$V_2 = \xi \cdot V_1 \cdot \operatorname{tg} \theta. \quad (3)$$

де ξ – коефіцієнт проковзування.

Кутова швидкість ротора:

$$\omega = \frac{\xi \cdot V_1 \cdot \operatorname{tg} \theta}{R_p}. \quad (4)$$

де R_p - внутрішній радіус трубопроводу.

З відношення швидкостей 1, 2 дозволяє встановити коефіцієнт збільшення дії щіток ϵ відношенням двох варіантів траєкторій руху, з обертанням щіток і без обертання:

$$k = \frac{\xi}{\cos \theta}. \quad (5)$$

Так при зміні кута повороту ролика з 10 до 80° дозволяє збільшити ефективність дії щіток з 1,01 до 6 разів.

Визначення енергосилових параметрів процесу очищення магістральних трубопроводів внутрішньотрубними пристроями з роликівим приводом можливо визначити шляхом встановлення розподілу канатних зусиль. На ролик від корпусу очисного пристрою передається зусилля F_1 . Дане зусилля можливо розкласти дві складові: поздовжню, яка паралельна площині обертання ролика F_t , і бокову, яка перпендикулярна до площини обертання F_n :

$$F_t = F_1 \cos \theta; \quad (6)$$

$$F_n = F_1 \sin \theta. \quad (7)$$

Складова F_t урівноважується силою тертя кочення, як пропорційна силі притискання F_s і коефіцієнту тертя кочення.

Момент від дії сили F_n відносно осі обертання ротора:

$$M_r = R_p F_n = R F_1 \sin \theta \cos \theta = \frac{1}{2} R F_1 \sin 2\theta. \quad (8)$$

Максимальне значення зусилля F_1 обмежено силою тертя між роликом і поверхнею трубопроводу:

$$F_1^{\max} = \mu F_s. \quad (9)$$

де μ - коефіцієнт тертя.

Також можливий максимальний крутний момент від ролика залежить від загального зусилля яке розвиває очисний пристрій за рахунок перепаду тисків які виникають перед і після очисного пристрою у трубопроводі:

$$n F_1^{\max} = \frac{\Delta p \pi R_p^2}{n}. \quad (10)$$

де Δp - перепад тисків які виникають перед і після очисного пристрою у трубопроводі;

n - кількість приводних роликів

Також необхідно виконати умову кочення ролика в площині їх обертання при обертанні []:

$$\theta < \arccos \frac{f}{\mu}, \quad (11)$$

де f - коефіцієнт тертя кочення.

Враховав залежності 8-11 встановимо максимальну потужність роликового приводу обертання ротора очисного пристрою:

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \min \left(\frac{n \mu F_s}{\Delta p \pi R^2} \right) \cdot \sin 2\theta \cdot \xi \cdot V_1 \cdot \operatorname{tg} \theta. \quad (12)$$

На рис. 3 представлено зміну потужності роликового приводу обертання ротора очисного пристрою в залежності від кута повороту ролика до осі трубопроводу θ .

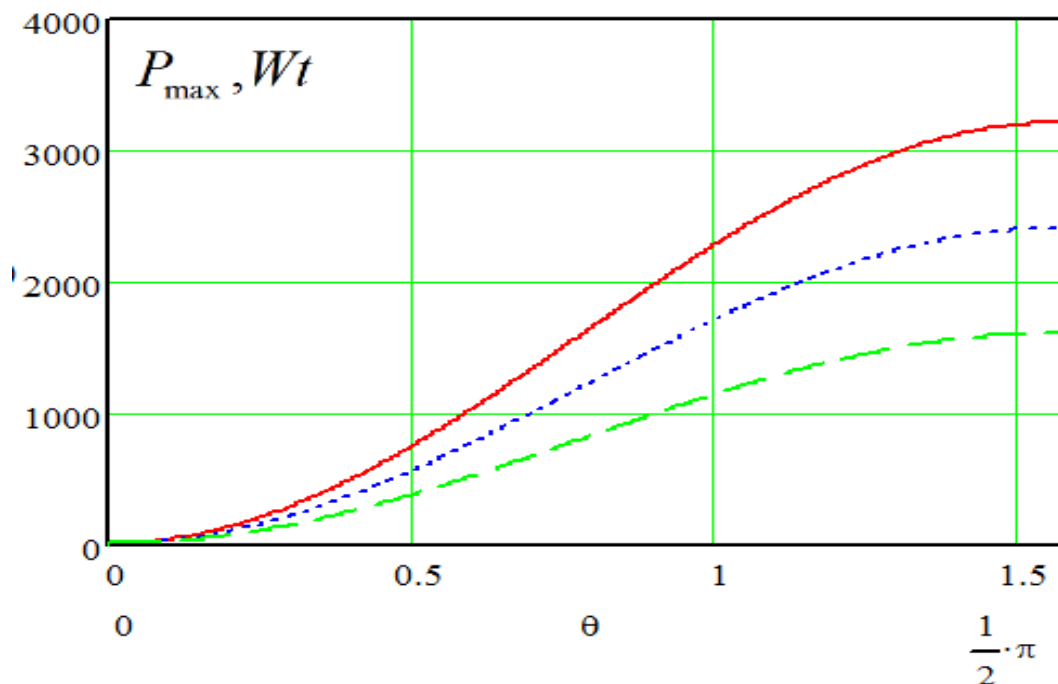


Рис. 3 Графік зміни потужності роликового приводу обертання ротора очисного пристрою в залежності від кута повороту ролика θ ($V_1 = 1 \text{ м/с}$, $\xi = 1; 0,75; 0,5$, $\mu = 0,4$, $n = 8$, $F_s = 500 \text{ N}$)

Аналіз графіку (рис. 3) свідчить про синусоїдальну залежність зміни потужності роликового приводу обертання ротора очисного пристрою в залежності від кута повороту ролика θ .

На основі наведених розрахунків розроблено конструкцію пристрою для очищення магістральних трубопроводів з роликовим приводом (рис.4).

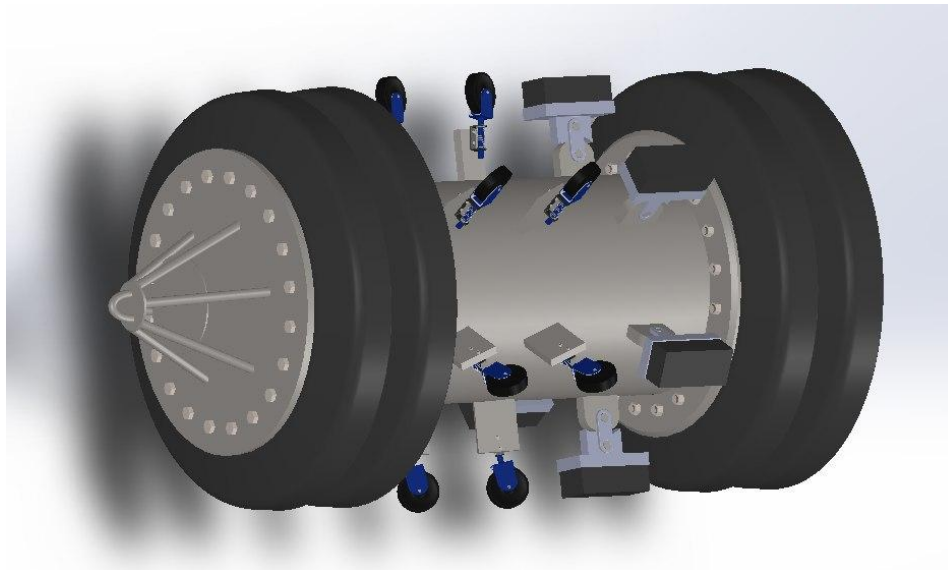


Рис. 4 Зовнішній вигляд очисного пристрою

Висновки

1. В роботі представлено загальну концепцію створення системи очищення магістральних трубопроводів очисним пристроєм з роликівим приводом. Доведено доцільність використання очисних пристроїв з роликівим приводом щіток. Застосування даної системи дозволяє зменшити час і трудовитрати при проведенні очисних робіт магістральних трубопроводів. Так ефективність застосування пристрою визначена, як відношенням двох варіантів траєкторій руху, з обертанням щіток і без обертання. При зміні кута повороту ролика з 10 до 80° ефективність застосування пристрою збільшується в 6 разів.

2. Запропоновано нову конструкцію внутрішньотрубного пристрою з роликівим приводом щіток яка дозволяє використати енергію потоку нафти для створення обертового моменту приводу щіток.

3. Встановлено рівняння максимальної потужності роликівого приводу обертання ротора очисного пристрою. Аналіз залежності свідчить про синусоїдальну залежність зміни потужності роликівого приводу обертання ротора очисного пристрою від кута повороту ролика і лінійну від коефіцієнта проковзування і швидкості.

REFERENCES

1. Quarini, J., & Shire, S. (2007). A Review of Fluid-Driven Pipeline Pigs and their Applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 221(1), 1–10.
2. Quarini J. Ice-pigging to reduce and remove fouling and to achieve clean-in-place // *Applied Thermal Engineering*. – 2002. – Т. 22. – №. 7. – С. 747-753.
3. Money N. et al. Dynamic speed control in high velocity pipelines // *Pipeline Gas J.* – 2012. – Т. 239. – С. 30-38.
4. Tiratsoo J. N. H. (ed.). *Pipeline pigging technology*. – Gulf Professional Publishing, 1992.
5. Zaichenko S. V. et al. MECHATRONIC COMPLEX OF DIAGNOSTIC OF MAIN PIPELINES // *Scientific journal "Energy: Economics, Technologies, Ecology"*. - 2018. - №. 3. - P. 139-148.
6. Емельянов И. С. Кинематика параметров бортового поворота мобильных колесных геомехатронных устройств / Емельянов И. С., Зайченко С. В., Шевчук С. П. // *Перспективы развития строительных технологий : материалы 12-ї Міжнарод. наук.-практич. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів*, 20 квітня 2018 р., м. Дніпро. - Дніпро : НГУ, - С. 47 - 50.
7. Zaichenko S. et al. Development of a geomechanic complex for geotechnical monitoring contour mine groove // *Eastern-European J. Enterprise Technologies*. – 2017. – Т. 3. – №. 9. – С. 87.
8. Зайченко С. В. Контактна взаємодія робочих органів безвібраційних бетоноформуючих агрегатів при виробництві пустотних панелей // *Автореферат дис. на здобуття наукового ступеню к. т. н.* – Київ. – 2001.
9. Гарнець В. М. и др. Бетоноформувальні агрегати // *Конструктивно-функціональні схеми, принцип дії, основи теорії*. К.: Інтерсервіс. – 2015.
10. Гарнець В. и др. Теорія і практика створення бетоноформувальних агрегатів (БФА) // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. – 2014. – №. 83. – С. 61-68.
11. Zaichenko S. et al. Development of a geomechatronic complex for the geotechnical monitoring of the contour of a mine working // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2017. – №. 3 (9). – С. 19-25.

S. Zaichenko, prof. Dr., ORCID 0000-0002-8446-5408

V. Shalenko, PhD, ORCID 0000-0002-6984-0302

S. Korol, PhD, ORCID 0000-0003-6521-6322

S. Shevchuk, prof. Dr., ORCID 0000-0002-0593-326X

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

DETERMINATION OF THE MAIN POWER PARAMETERS OF DEVICES FOR CLEANING OF MAIN PIPELINES WITH A ROLLER DRIVE

The paper presents the general concept of creating a system for cleaning main pipelines by a device with a roller drive using the energy of oil flow. The expediency of using cleaning devices with a roller brush drive has been analytically proved. Application of this system allows to reduce time and labor costs when carrying out cleaning works of the main pipelines. The effect is achieved due to the repeated action of the brushes moving along the helical trajectory. A new design of the in-tube device with a roller drive of brushes is offered. The drive allows you to use the energy of the oil flow to create the torque of the brush drive. Based on the equations of contact interaction mechanics and the theory of motion of wheeled vehicles, the equation of maximum power of a roller drive is established. The dependence analysis shows a sinusoidal dependence of the change in the power of the roller drive of the rotation of the rotor of the treatment device on the angle of rotation of the roller and linear on the sliding coefficient and speed.

Keywords: *main pipeline, cleaning device, roller, power, contact interaction mechanics*

Надійшла 23.04.2020

Received 23.04.2020