

УДК 631.312

ЗУСИЛЛЯ, НЕОБХІДНЕ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ГНУЧКОЇ СМУГИ ВГОРУ ПО ПОВЕРХНІ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛІНДРА

Т. М. Волина, С. Ф. Пилипака

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 131 – прикладна механіка.

Кореспонденція авторів: t.n.zaharova@ukr.net.

Історія статті: отримано – листопад 2020, акцентовано – грудень 2020.

Бібл. 9, рис. 8, табл. 0.

Анотація. У статті складено диференціальне рівняння руху по внутрішній шорсткій поверхні горизонтального циліндру гнучкої нестискної смуги із прямокутним поперечним перерізом. При цьому смуга рухається вгору перпендикулярно твірним циліндра із заданою постійною швидкістю, тобто траєкторією руху є крива поперечного перерізу циліндра. При складенні рівняння враховано силу ваги смуги та силу тертя, які виникають внаслідок результуючої сили тиску смуги на поверхню, а також додаткову силу тертя, яка залежить від стискання смуги та кута її обхвату циліндром. Також розглянуто випадок для кругового циліндру. Розв'язано диференціальне рівняння, знайдено необхідне зусилля для переміщення смуги. Побудовано графіки, які демонструють вплив різних факторів на зусилля переміщення смуги при заданому куті її обхвату.

Ключові слова: гнучка смуга, шорстка поверхня, горизонтальний циліндр, зусилля штовхання, швидкість руху, диференціальне рівняння.

Постановка проблеми

Аналітичний опис руху тіла по поверхні пов'язаний із труднощами складання диференціальних рівнянь руху. Розв'язок має часткова задача кочення кулі по площині. З огляду на це у багатьох випадках розмірами тіла нехтують і його розглядають як частинку [1, 2]. При цьому складання диференціальних рівнянь руху матеріальної точки спрощується, але не враховується їх взаємодія у разі руху технологічного матеріалу, що складається з безлічі частинок. У статті розглядається випадок, коли між частинками існує певний зв'язок, а саме вони утворюють абсолютно гнучку нестисковану смугу.

Аналіз останніх досліджень

Частинки, які контактують з поверхнею та змушені рухатись по ній, можуть мати різне походження: частинки в потоці, частинки газу або рідини [3, 4], частинки органічних речовин при їх змішуванні [5]

або транспортуванні [6]. У деяких роботах за матеріальну частинку приймають рухомі тіла великих розмірів, але за умови, що в обертальному русі вони мають незначні кутові швидкості, тому силами інерції, які при цьому виникають, можна знехтувати [7]. Рух гнучкої нестискованої смуги по шорсткій площині розглянуто у роботах [8, 9].

Мета досліджень

Дослідити закономірності руху гнучкої нестискної смуги з прямокутним поперечним перерізом по внутрішній шорсткій поверхні горизонтального циліндра.

Результати досліджень

Абсолютно гнучка смуга прямокутного перерізу з розмірами a і b розташована на внутрішній поверхні горизонтального циліндра (рис. 1).

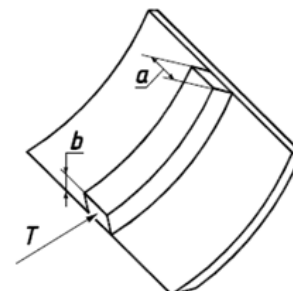


Рис. 1. Форма гнучкої смуги та її положення на циліндричній поверхні.

Fig. 1. A flexible strip shape and its position on the cylindrical surface.

Щоб її перемістити вгору з постійною швидкістю V , необхідно докласти певних зусиль T . Подібна ситуація може виникнути при роботі бульдозера, якщо прийняти шар матеріалу, що рухається по робочій поверхні, за гнучку смугу. Роль зусилля T у цьому випадку відіграють сили підпору, під дією яких смуга

змушена рухатися вгору. Для визначення величини зусилля розглянемо елемент смуги довжиною ds (рис. 2).

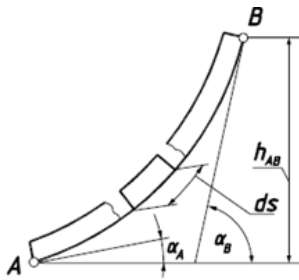


Рис. 2. Виділення елемента гнучкої смуги довжиною ds .

Fig. 2. Selection of the flexible strip element with ds length.

Можна уявити, що смуга складається з елементарних шматочків, кожен з яких нахилений під певним кутом α до горизонтальної площини. Тоді зусилля T буде сумою зусиль кожного елемента смуги, тобто задача зводиться до інтегрування елементарних зусиль по довжині дуги s між точками A і B . Зусилля T будемо визначати саме для цієї ділянки без урахування смуги і діючих на неї сил поза точками A і B .

Розглянемо елемент смуги, нахилений до горизонтальної площини під кутом α (рис. 3). У центрі елемента розташуємо початок рухомої системи координат, один орт $\vec{\tau}$ якої є дотичним до кривої поперечно-го перерізу циліндра і спрямований в бік руху смуги, а другий орт нормалі \vec{n} – перпендикулярний орту $\vec{\tau}$ і спрямований в бік кривизни кривої. Для просторової кривої існує третій орт бінормалі, який у нашому випадку проєктується в точку і для вирішення задачі не грає ролі. У диференціальній геометрії така рухлива система називається супровідним або натуральним тригранником кривої.

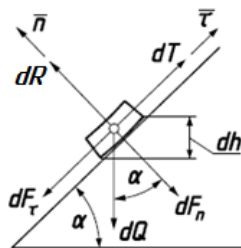


Рис. 3. Віднесення елемента смуги до рухливої системи координат із зазначенням діючих на нього сил.

Fig. 3. Assignment of a strip element to a moving coordinate system with an indication of the forces acting on it.

Усі діючі на елемент смуги сили будемо проєктувати на орти натурального тригранника. Розглянемо ці сили.

Сила ваги dQ , яка спрямована вниз, визначиться добутком об'єму $a \cdot b \cdot ds$ на щільність матеріалу смуги q і постійну прискорення вільного падіння $g = 9,81 \text{ м/с}^2$: $dQ = a \cdot b \cdot q \cdot g \cdot ds$. Розкладемо цю силу на орти тригранника:

$$dQ_{\tau} = abqg \sin \alpha \, ds \quad \text{і} \quad dQ_n = abqg \cos \alpha \, ds. \quad (1)$$

Наступна сила – відцентрова сила інерції dI , що виникає внаслідок руху елемента по криволінійній траєкторії зі швидкістю V . Вона спрямована уздовж орта \vec{n} в протилежну його напрямку сторону та залежить від маси $m = a \cdot b \cdot q \cdot ds$ елемента смуги, швидкості V його руху і кривизни k кривої в поточній точці:

$$dI_n = abqkV^2 \, ds. \quad (2)$$

За рахунок ваги і внаслідок згинання смуги виникає ще одна елементарна сила dP_n , спрямована уздовж нормалі \vec{n} в ту саму сторону, що і відцентрова сила. При штовханні смуги виникає зусилля, яке стискає її елементарний об'єм. Найбільше значення це зусилля має в точці A (рис. 2), оскільки воно викликане вагою смуги, що знаходиться між точками A і B , тобто різницею висоти h_{AB} . У точці B воно дорівнює нулю. Розглянемо елемент смуги з прикладеним до неї стискаючим зусиллям (рис. 4, рис. 5).

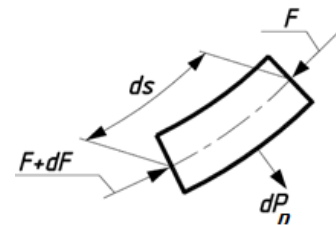


Рис. 4. Прикладені до елемента смуги стискаючі сили і виникаюча елементарна сила dP_n .

Fig. 4. Applied to the strip element compressive forces and the resulting elementary force dP_n .

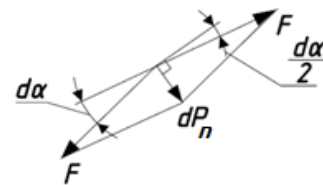


Рис. 5. Схема розташування сил для визначення елементарної сили dP_n .

Fig. 5. The scheme of the power location for determination of elementary force dP_n .

Справа на елемент смуги діє сила F , яка до кінця елемента зростає на dF за рахунок різниці висоти dh (рис. 3). Цією силою $F+dF$ врівноважується елемент смуги. Виникає результуюча сила dP_n , направлена по нормалі. Для визначення її величини розглянемо рис. 5. При граничному значенні, коли довжина елемента смуги наближається до нуля, стискаючі сили зліва і справа стають рівними F . Силу dP_n знаходимо векторним додаванням сил F з використанням елементарного кута $d\alpha$ між дотичними на початку і в кінці елемента смуги.

Відповідно до рис. 5 можна записати:

$$dP_n = 2F \cos \left(90^\circ - \frac{d\alpha}{2} \right) = 2F \sin \frac{d\alpha}{2}. \quad (3)$$

Беручи до уваги той факт, що приріст кута $d\alpha$ дуже малий, можна записати: $\sin(d\alpha/2) = d\alpha/2$. Підставивши цей вираз у (3), отримаємо:

$$dP_n = F d\alpha. \quad (4)$$

По мірі зміни кута α сила P_n буде збільшуватися на приріст $dP_n = a \cdot b \cdot q \cdot dh$. У точці B сила F дорівнює нулю, а в точці A має максимальне значення, що дорівнює силі підйому смуги між точками A і B , тобто відповідне висоті h_{AB} (рис. 2). Для елемента смуги можна записати: $dF = a \cdot b \cdot q \cdot g \cdot dh$. Із рис. 3 запишемо: $dh = \sin \alpha ds$. Початкова сила стиску F_0 в точці A визначиться інтегруванням виразу:

$$F_0 = abqg \int_{S_A}^{S_B} \sin \alpha ds. \quad (5)$$

Залежність $\alpha = \alpha(s)$ у виразі (5) визначається із рівняння кривої поперечного перерізу циліндра. Виходячи з цього, можна знайти залежність зміни стискаючого зусилля $F = F(s)$, яке буде зменшуватися від F_0 у точці A до нуля в точці B . Це буде розглянуто на конкретному прикладі.

Силу (4) необхідно додавати до інших елементарних сил (1) і (2), тому приведемо її в залежність від загальної змінної s , тобто від довжини дуги кривої перерізу циліндра: $dP_n = F d\alpha = F \frac{d\alpha}{ds} ds$, де $\frac{d\alpha}{ds} = k$ – кривизна траєкторії. Залежність $k = k(s)$ у диференціальній геометрії називається натуральним рівнянням кривої. Із урахуванням цього вираз (4) набуває вигляду:

$$dP_n = Fk ds. \quad (6)$$

Додаємо елементарні сили (1), (2), (4), спрямовані вздовж нормалі:

$$dF_n = (abqg \cos \alpha + abqkV^2 + Fk) ds. \quad (7)$$

Елементарна сила dF_n врівноважується реакцією поверхні $dR = dF_n$ (рис. 3). Нормальна реакція викликає елементарну силу тертя dF_{f1} , спрямовану вздовж орта $\vec{\tau}$ у протилежну швидкості руху сторону:

$$dF_{f1} = fdR = f(abqg \cos \alpha + abqkV^2 + Fk) ds, \quad (8)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Ця сила тертя викликає додаткове стискаюче зусилля T , прикладене до кінців елемента, як показано на рис. 4, де в ролі сили F виступає сила T . Отже, виникає рівнодійна dP_{n2} , яку знаходимо із виразу (3). У результаті відповідно до (6) отримуємо:

$$dP_{n2} = Tk ds. \quad (9)$$

Сила dP_{n2} , що притискає виділений елемент смуги до поверхні, створює додаткову силу тертя dF_{f2} :

$$dF_{f2} = fdP_{n2} = fTk ds. \quad (10)$$

Таким чином, знайдено всі елементарні сили опору пересуванню елемента смуги. Усі вони діють вздовж орта дотичної у протилежну руху сторону. Сума елементарних сил опору складається з сили ваги dQ_τ і сил тертя dF_{f1} , dF_{f2} : $dF_\tau = dQ_\tau + dF_{f1} + dF_{f2}$. Повний приріст зусилля dT , яке пересуває елемент смуги, дорівнює сумі елементарних сил опору. Із урахуванням знайдених виразів (1), (8) і (10) запишемо:

$$dT = abqg \sin \alpha ds + f(abqg \cos \alpha + abqkV^2 + Fk) ds + fTk ds. \quad (11)$$

Таким чином, отримали диференціальне рівняння:

$$\frac{dT}{ds} = abqg \sin \alpha + f(abqg \cos \alpha + abqkV^2 + Fk + Tk). \quad (12)$$

При $k=0$, тобто при $\alpha = \text{const}$ диференціальне рівняння (12) спрощується і описує рух смуги по похилій площині. Зусилля штовхання не залежить від її швидкості руху, а також зникає сила тертя від стискання смуги.

Розглянемо приклад. Нехай кривою поперечного перерізу циліндра буде дуга кола радіуса r ($k = 1/r = \text{const}$). Із залежності $da/ds = k$ знаходимо: $\alpha = k \cdot s = s/r$. Початкове s_A і кінцеве s_B значення дуги s запишуться: $s_A = a_A/k = \alpha_A \cdot r$; $s_B = a_B/k = \alpha_B \cdot r$. За формулою (5) знаходимо зусилля стиску F_0 на початку смуги, тобто в точці A :

$$F_0 = abqg \int_{S_A}^{S_B} \sin ks ds = -\frac{abqg}{k} (\cos ks_B - \cos ks_A) = abqgr(\cos \alpha_A - \cos \alpha_B). \quad (13)$$

Інтегруванням виразу (5) знаходимо зусилля F виходячи з умови, що при $s = s_A$ $F = F_0$:

$$F = F_0 - abqgr(\cos \alpha_A - \cos ks) = abqgr(\cos ks - \cos \alpha_B). \quad (14)$$

Підставляємо вираз (14) у диференціальне рівняння (12) та, враховуючи, що $k = 1/r$, після спрощень отримуємо:

$$\frac{dT}{ds} = abqg \sin \frac{s}{r} + f \left[\frac{abq}{r} V^2 + abqg \left(2 \cos \frac{s}{r} - \cos \alpha_B \right) + \frac{T}{r} \right]. \quad (15)$$

Диференціальне рівняння (15) має наступний розв'язок:

$$T = Ce^{\frac{fs}{r}} - abq \left[V^2 - gr \cos \alpha_B \right] + \frac{gr}{1+f^2} \left[\left(1 + 2f^2 \right) \cos \frac{s}{r} - f \sin \frac{s}{r} \right], \quad (16)$$

де C – постійна інтегрування. Її значення знаходимо з умови, що при $s = s_B = \alpha_B \cdot r$ сила T (16) дорівнює нулю:

$$C = abqe^{-f\alpha_B} \left[V^2 + \frac{fgr}{1+f^2} (f \cos \alpha_B - f \sin \alpha_B) \right]. \quad (17)$$

У виразі (16) зручно перейти до нової змінної – кута α . Беручи до уваги, що $s/r = \alpha$, а також підставляючи C із (17) у (16), остаточно отримуємо залежність зусилля штовхання $T = T(\alpha)$:

$$T = abq \left[\left(e^{f(\alpha - \alpha_B)} - 1 \right) V^2 + gr \cos \alpha_B + \frac{abqgr}{1+f^2} (f \sin \alpha + f e^{f(\alpha - \alpha_B)} (f \cos \alpha_B - \sin \alpha_B) - (1 + 2f^2) \cos \alpha) \right]. \quad (18)$$

Щоб визначити зусилля T для штовхання смуги, необхідно за формулою (18) знайти значення при $\alpha = \alpha_B$ і $\alpha = \alpha_A$ та знайти їх різницю. Оскільки зусилля T при $\alpha = \alpha_B$ дорівнює нулю, то досить у формулу (18) підставити $\alpha = \alpha_B$ і отриманий негативний результат взяти з протилежним знаком. Це рівносильно використанню формули (18) зі знаком «мінус» перед нею.

Нехай вихідні дані будуть мати значення: $a = 0,2$ м, $b = 0,05$ м, $q = 100$ кг/м³, $r = 0,5$ м, $f = 0,3$, $V = 3$ м/с, $\alpha_A = 0$, $\alpha_B = \pi/3$. Застосувавши формулу (18) зі знаком «мінус» і підставивши в неї $\alpha = \alpha_A = 0$, отримуємо: $T = 5,99$ Н. Різниця між кутами α_A і α_B (так званий кут обхвату) становить 60° . При $\alpha = \alpha_A = \pi/6$ кут обхвату складає 30° і $T = 3,6$ Н.

На рис. 6 побудовано графік залежності $T=T(\alpha)$, з якого можна визначити зусилля T при заданому значенні $\alpha=\alpha_A$. З нього видно, що при $\alpha=\alpha_A=\pi/6=0,52$ зусилля T має значення, знайдене раніше: $T=3,6$ Н.

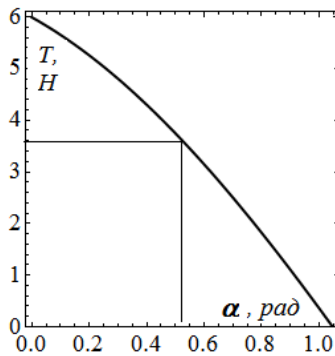


Рис. 6. Графік, що ілюструє вплив кута $\alpha=\alpha_A$ на зусилля переміщення смуги при зміні кута α в межах від $\alpha_A=0$ до $\alpha_B=\pi/3$.

Fig. 6. Graph is illustrating the effect of the angle $\alpha=\alpha_A$ on the pushing force of a strip when the angle α varies in a range from $\alpha_A=0$ to $\alpha_B=\pi/3$.

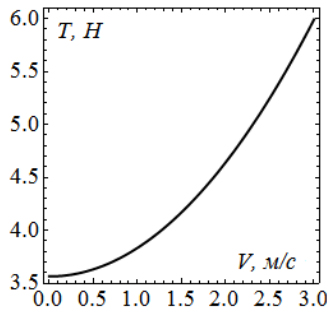


Рис. 7. Графік, що ілюструє вплив швидкості V руху смуги на зусилля штовхання смуги при зміні кута α в межах від $\alpha_A=0$ до $\alpha_B=\pi/3$.

Fig. 7. Graph is illustrating the effect of the speed V of the strip movement on the pushing force of a strip when the angle α varies in a range from $\alpha_A=0$ to $\alpha_B=\pi/3$.

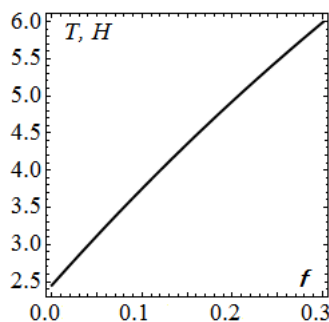


Рис. 8. Графік, що ілюструє вплив коефіцієнта тертя f на зусилля штовхання смуги при зміні кута α в межах від $\alpha_A=0$ до $\alpha_B=\pi/3$.

Fig. 8. Graph is illustrating the effect of the friction coefficient f on the pushing force of a strip when the angle α varies in a range from $\alpha_A=0$ to $\alpha_B=\pi/3$.

Знайдемо зусилля T при куті обхвату 30° , але з іншими межами зміни кута α : $\alpha_A=0$, $\alpha_B=\pi/6$. Його знаходимо за допомогою формули (18), оскільки графік на рис. 6 побудовано для кута $\alpha_B=\pi/3$. Знайдене зу-

силля має значення $T=2,6$ Н. Зменшення зусилля штовхання смуги пояснюється тим, що її підйом здійснюється на меншу висоту. На рис. 7 показано вплив швидкості руху смуги на необхідне зусилля для її штовхання, а на рис. 8 – коефіцієнта тертя.

Велике значення для зусилля штовхання має шорсткість поверхні. При абсолютно гладкій поверхні, тобто при $f=0$, сила штовхання значно менше (рис. 8).

Отримані формули дають можливість розрахувати необхідну потужність для забезпечення заданої швидкості пересування смуги. Для цього досить помножити зусилля T на швидкість V .

Висновки

1. При складанні диференціального рівняння руху смуги враховані сили, що діють на її ділянку елементарної довжини. Такими силами є сили опору: сила підйому елемента смуги, стискаюче зусилля, що виникає при штовханні смуги і викликає нормальну силу в разі криволінійної траєкторії, сила тертя, що виникає від дії всіх нормальних сил.

2. Велику роль у формуванні зусилля штовхання має кривизна поперечного перерізу циліндра, а також кут обхвату смуги циліндром. При $\alpha=const$, тобто при русі смуги по похилій площині, кривизна дорівнює нулю і зусилля штовхання значно зменшується внаслідок відсутності стискаючих зусиль і сил інерції, що викликають силу тертя.

3. Складене диференціальне рівняння і його розв'язок показують значний вплив коефіцієнта тертя на величину сили штовхання. Зменшення шорсткості поверхні циліндра веде до зменшення коефіцієнта тертя і зусилля штовхання смуги.

Список літератури

1. Pylypaka S., Klendii M., Zaharova T. Movement of the Particle on the External Surface of the Cylinder, Which Makes the Translational Oscillations in Horizontal Planes. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. Part F2. P. 336-345.
2. Pylypaka S., Klendii M., Kremets T., Klendii O. Particle motion over the surface of a cylinder, which performs translational oscillations in a vertical plane. Engineering Journal. 2018. Vol. 22(3). P. 83-92.
3. Batluk V., Basov M., Klymets V. Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow. Econ-techmod. An International Quarterly Journal. 2013. Vol. 2. № 3. P. 17-24.
4. Liaposchenko O., Pavlenko I., Nastenko O. The model of crossed movement and gas-liquid flow interaction with captured liquid film in the inertial-filtering separation channels. Separation and Purification Technology. 2017. Vol. 173. P. 240-243.
5. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhlylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 2020. Vol. 60, no 4, P. 313-317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.

6. Pylypaka S. F., Nesvidomin V. M., Klendii M. B., Rogovskii I. L., Kresan T. A., Trokhaniak V. I. Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 2019. Vol. 95. Issue 3. P. 108-118. doi 10.31489/2019M2/108-119.

7. Loveikin V. S., Romesevych Yu. O. Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. Vol. 4. P. 81-87.

8. Пилипака С. Ф., Захарова Т. Н., Несвидомин А. В. Форма оси гибкой несжимаемой полосы при ее толкании по наклонной шероховатой плоскости с постоянной скоростью. MOTROL. Rzeszow. 2013. Vol. 15. No 4. P. 198-205.

9. Веселовски М., Новак Я., Войтюк Д., Пилипака С. Форма осі скиби при її штовханні по площині косоного клина зі сталою швидкістю. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах. 2013. Вип. 98. Т. 1. С. 558-574.

References

1. Pylypaka S., Klendii M., Zaharova T. (2019). Movement of the particle on the external surface of the cylinder, which makes the translational oscillations in horizontal planes. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2. 336-345.

2. Pylypaka S., Klendii M., Kremets T., Klendii O. (2018). Particle motion over the surface of a cylinder, which performs translational oscillations in a vertical plane. Engineering Journal. 22(3). 83-92.

3. Batluk V., Basov M., Klymets V. (2013). Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow. Econtechmod. 2(3). 17-24.

4. Liaposchenko O., Pavlenko I., Nastenko O. (2017). The model of crossed movement and gas-liquid flow interaction with captured liquid film in the inertial-filtering separation channels. Separation and Purification Technology. 173. 240-243.

5. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. (2020). External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 60(4). 313-317. <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313>.

6. Pylypaka S. F., Nesvidomin V. M., Klendii M. B., Rogovskii I. L., Kresan T. A., Trokhaniak V. I. (2019). Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder. Bulletin of the Karaganda University – Mathematics. 95(3). 108-118. doi 10.31489/2019M2/108-119.

7. Loveikin V. S., Romesevych Yu. O. (2017). Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 4. 81-87.

8. Pilipaka S. F., Zaharova T. N., Nesvidomin A. V. (2013). The shape of the axis of a flexible incompressible strip when it is pushed along an inclined rough plane at a constant speed. MOTROL. Rzeszow. 15(4). 198-205.

9. Veselovski M., Novak Ya., Vojtyuk D., Pilipaka S. (2013). The shape of the axis of the slice when it is pushed along the plane of the oblique wedge at a constant

speed. Mechanization and electrification of agriculture. Glevaha. 98 (1). 558-574.

УСИЛИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГИБКОЙ ПОЛОСЫ ВВЕРХ ПО ПОВЕРХНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА

Т. Н. Волина, С. Ф. Пилипака

Аннотация. В статье составлено дифференциальное уравнение движения по внутренней шероховатой поверхности горизонтального цилиндра гибкой несжимаемой полосы с прямоугольным поперечным сечением. При этом полоса движется вверх перпендикулярно образующим цилиндра с заданной постоянной скоростью, то есть траекторией движения является кривая поперечного сечения цилиндра. При составлении уравнения учтены силы веса полосы и сила трения, возникающие вследствие результирующей силы давления полосы на поверхность, а также дополнительная сила трения, зависящая от сжатия полосы и угла ее охвата цилиндром. Также рассмотрен пример для кругового цилиндра. Решено дифференциальное уравнение, найдено необходимое усилие для перемещения полосы. Построены графики, демонстрирующие влияние разных факторов на усилие толкания полосы при заданном угле ее охвата.

Ключевые слова: гибкая полоса, шероховатая поверхность, горизонтальный цилиндр, усилие толкания, скорость движения, дифференциальное уравнение.

FORCE REQUIRED TO MOVE THE FLEXIBLE STRIP UP SURFACE OF HORIZONTAL CYLINDER

T. M. Volina, S. F. Pylypaka

Abstract. A differential equation of the motion of a flexible incompressible strip with a rectangular cross-section curve along the inner rough surface of a horizontal cylinder has been derived in the article. The strip moves up perpendicularly to the generatrix of the cylinder with a given constant speed, that is, the trajectory of movement is the cross-section curve of the cylinder. The equation takes into account the weight forces of the strip and the friction force from the resulting pressure force of the strip on the surface, as well as the additional friction force depending on the compression of the strip and the angle of its coverage with the cylinder. An example for a circular cylinder is considered. The differential equation is solved, the necessary force for pushing the strip is found. The graphs illustrating the influence of different factors on the pushing force of a strip at a given angle of its coverage are constructed.

Key words: flexible strip, rough surface, horizontal cylinder, pushing force, movement speed, differential equation

T. M. Volina ORCID 0000-0001-8610-2208.

S. F. Pilipaka ORCID 0000-0002-1496-4615.

