

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САМОХІДНОГО СКРЕПЕРА НА ПОЧАТКУ НАБОРУ ҐРУНТУ

Ковалевський С. Г.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. На основі розробленої математичної моделі самохідного скрепера з передніми привідними колесами під час занурення ножа в ґрунт досліджено динаміку зміни горизонтальної та вертикальної сили, що діють в шарнірах тягової рами. Отримані результати силового навантаження в подальшому дозволяють дослідити напружено-деформований стан тягової рами.

Ключові слова: скрепер, моделювання, робочий процес, навантаження, металокопструкція, тягова рама.

Вступ

Робота скреперів супроводжується впливом на робоче обладнання та металокопструкцію змінних динамічних навантажень.

Процес завантаження ковша скрепера складається з декількох складових, які періодично повторюються в робочому циклі. Кожен з цих етапів супроводжується різними переміщеннями скрепера та окремих його вузлів, зумовленими діями зовнішніх сил у процесі різання та завантаження ґрунту в ковш, що потребує окремого дослідження напруженого стану скреперного обладнання в декількох розрахункових положеннях [1]–[3].

Аналіз режимів навантаження металокопструкції скрепера під час здійснення основних операцій копання дозволяє визначити раціональні режими роботи машини.

Тягова рама є однією з найбільш навантажених вузлів конструкції та доволі часто виходить з ладу, що призводить до позапланових ремонтів, тому визначення її напружено-деформованого стану під час здійснення основних операцій завантаження ковша є актуальним завданням.

Аналіз публікацій

Напружено-деформований стан металокопструкції самохідного скрепера під час роботи зі штовхачами різного типу розглянуто в роботі [4].

Дослідження навантаження металокопструкції скрепера здійснювалося з використанням методу кінцевих елементів з використанням розробленого способу завдання граничних умов.

Проведені дослідження дозволили визначити найбільш навантажені елементи ковша, задньої рами і бампера, запропонувати методи вдосконалення металокопструкції скрепера для підвищення її працездатності, розробити методику вибору основних параметрів пристрою, що знижує статичне й динамічне навантаження з боку штовхача на металокопструкцію скрепера.

Визначено раціональні режими роботи агрегата щодо швидкостей руху, глибини різання й об'єму ґрунту в ковші в процесі використання різноманітних типів штовхачів.

Питання навантаження тягової рами в процесі інтенсивного заглиблення ножа скрепера в цій роботі не розглядаються.

У роботі [5] розглянуті питання навантаження тягової рами скрепера на тяговому та транспортному режимах.

Дослідження напружено-деформованого стану тягової рами здійснено за допомогою програми АРМ, що інтегрована в графічний редактор.

Розглянуто процес передачі тягового зусилля трактора безпосередньо на ківш повз тягову раму під час розроблення ґрунту.

Встановлено позитивний вплив на напружено-деформований стан тягової рами скрепера, її розвантаження від тягового зусилля трактора. Напружено-деформований стан поперечної балки тягової рами не залежить від режиму роботи скрепера, тоді як найбільш навантаженим елементом є арка-хобот тягової рами у місці його переходу в поперечну балку.

У статті не розглянуто навантаження тягової рами на початку заповнення ковша в процесі інтенсивного заглиблення ножа

скрепера, вплив динаміки процесу не враховувався або визначався коефіцієнтом динамічності, що збільшує похибку розрахунків.

У статті [6] розглянута можливість застосування комп'ютерного моделювання для отримання раціональних параметрів основної металокопункції за умови збереження достатньої міцності за мінімальної маси.

Головною особливістю роботи є використання сучасних методів розрахунку металокопункцій на міцність, що дозволяє максимально наближено розрахувати металокопункцію на відміну від класичних методів, які в більшості випадків базуються на емпіричних даних.

Завдання вдосконалення розрахунків тягової рами скрепера на міцність та довговічність через визначення показників пружності її металокопункції розглянуто в роботі [7]. Розроблено комп'ютерну модель тягової рами. Запропоновано методику розрахунку показників деформації металокопункції рами в горизонтальній та вертикальній площині та визначення коефіцієнтів пружності рами, але розрахунки на міцність не здійснювали.

У роботі [8] розроблено розрахункову схему напівпричіпного скрепера під час занурення ножа в ґрунт, на основі якої відповідно до обґрунтованих обмежень та граничних умов створено двомасову математичну модель, що має можливість руху в горизонтальному та вертикальному напрямках. Реалізація математичної моделі дозволила отримати графіки динамічної зміни горизонтальної та вертикальної сили, що діє в шарнірах тягової рами.

Конструкція, основні показники та розрахунки скрепера, який був досліджений, суттєво відрізняються від самохідного скрепера, що розглядається.

Таким чином, визначення сил, що діють на тягову раму скрепера, потребує окремого аналізу для кожного виду скрепера та для всіх основних розрахункових положень – створення окремих розрахункових схем.

Мета і постановка завдання

Мета роботи полягає у визначенні сил, що діють в шарнірах тягової рами самохідного скрепера з передніми провідними колесами під час занурення ножа в ґрунт на основі розробленої математичної моделі, що дозволить дослідити напружено-деформований стан тягової рами.

Математичне моделювання самохідного скрепера на початку набору ґрунту

На першому етапі роботи скрепера відбувається інтенсивне занурення ножа в ґрунт, яке викликає появу значних деформацій.

Обґрунтовані обмеження [4–6] дозволили спростити створення розрахункової схеми, математичної моделі та здійснення досліджень.

Розрахункова схема самохідного скрепера на початку набору ґрунту наведена на рис. 1.

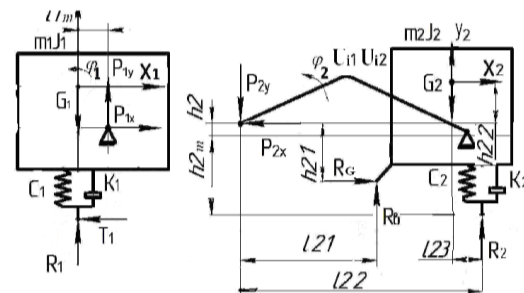


Рис. 1. Розрахункова схема самохідного скрепера

З метою спрощення математичної моделі кутові коливання тягача та скрепера можна не враховувати, зважаючи на невеликий вплив на навантаження, що діють у процесі заглиблення ковша.

Відповідно до прийнятих припущень розрахункова схема самохідного скрепера в цьому випадку може бути подана як двомасова система m_1, m_2 , що здійснює поздовжні та вертикальні переміщення x, y , в якій враховуються сили тяги на головних колесах тягача T_1 , реакції ґрунту на осях R_1, R_2 , опір коченню коліс F_1, F_2 , горизонтальна та вертикальна складові сили опору копання, прикладені до ножа скрепера R_G, R_B , сили тяжіння G_1, G_2 .

Пружні зв'язки системи характеризуються коефіцієнтами жорсткості тягової рами скрепера в горизонтальній та вертикальній площині U_{i1}, U_{i2} , радіальною жорсткістю головних коліс тягача C_1 та скрепера C_2 з в'язким опором K_1, K_2 .

Для визначення тягового зусилля зчеплення розглянемо схему сил, що діють на самохідний скрепер (рис. 2).

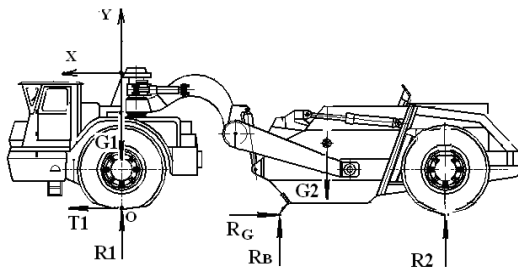


Рис. 2. Схема сил, що діють на самохідний скрепер

Рівняння статики дозволяють отримати такі вирази:

$$T_1 - R_G = 0, \quad (1)$$

$$T_1 = (R_1 + R_2)\varphi, \quad (2)$$

$$R_1 + R_2 + R_B - G_1 - G_2 = 0, \quad (3)$$

$$R_B = (R_1 + R_2)\varphi\psi, \quad (4)$$

$$R_1 + R_2(1 + \varphi\psi) - G_1 - G_2 = 0, \quad (5)$$

$$T_1 = \frac{(G_1 + G_2)\varphi}{1 + \varphi\psi}. \quad (6)$$

Для написання рівнянь руху самохідного скрепера щодо узагальнених координат були визначені швидкості центрів ваги мас тягача і скрепера, кінетичні енергії та їхні похідні від швидкості та часу, узагальнені сили, що діють з боку головних коліс та тягової рами.

Сили, що діють на тягач та скрепер з боку передніх головних та задніх коліс, дорівнюють

$$R_i = C_i y_i + k_i \dot{y}_i. \quad (7)$$

Сили, що діють на тягач та скрепер з боку тягової рами дорівнюють

$$P_{1X} = P_{2X} = U_{11}\Delta x_i + U_{12}\Delta y_i, \quad (8)$$

$$P_{1Y} = P_{2Y} = U_{21}\Delta x_i + U_{22}\Delta y_i, \quad (9)$$

де Δx_i – подовження рами в горизонтальному напрямку, Δy_i – подовження рами у вертикальному напрямку.

Коефіцієнти U_1, U_2 розраховані за деформаціями рами за допомогою методу кінцевих елементів [7, 8].

Сили опору різанню ґрунту визначалися інтенсивністю зростання опору копанню:

$$\begin{aligned} R_G &= Ax_2; \\ R_B &= R_G\psi. \end{aligned} \quad (10)$$

Математична модель самохідного скрепера на початку заповнення ковша можна записати так:

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \ddot{x}_1 &= T_1 - U_{11}(x_1 - x_2) - U_{12}(y_1 - y_2), \\ m_1 \cdot \ddot{y}_1 &= -C_1 y_1 - k_1 \dot{y}_1 + U_{21}(x_1 - x_2) + \\ &+ U_{22}(y_1 - y_2), \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 &= -R_G + U_{11}(x_1 - x_2) + \\ &+ U_{12}(y_1 - y_2), \\ m_2 \cdot \ddot{y}_2 &= C_2 y_2 + k_2 \dot{y}_2 - U_{21}(x_2 - x_1) - \\ &- U_{22}(y_2 - y_1) + R_B. \end{aligned} \quad (11)$$

Моделювання навантаження металоконструкції горизонтальними та вертикальними силами здійснювалося за допомогою створеної програми за різних швидкостей зростання опору копанню A , які змінювалися від 250 до 150 кН/м (рис. 3, 4).

Аналіз результатів розрахунків з використанням створеної математичної моделі демонструє, що динаміка зміни горизонтальної та вертикальної сили, що діють у шарнірах тягової рами, є коливальною, а максимальні значення досягаються майже за однаковий проміжок часу в першому напівперіоді.

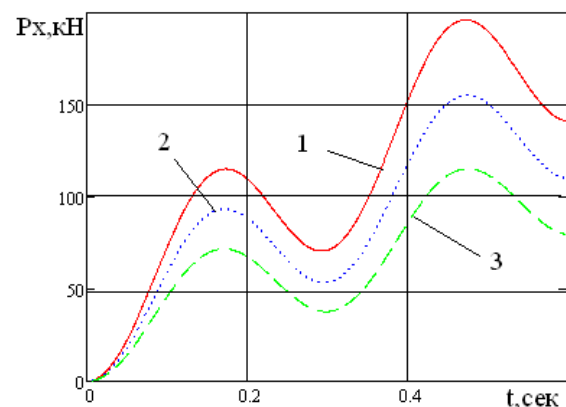


Рис. 3. Динаміка зміни горизонтальної сили: 1 – $A = 250$ кН/м; 2 – $A = 200$ кН/м; 3 – $A = 150$ кН/м

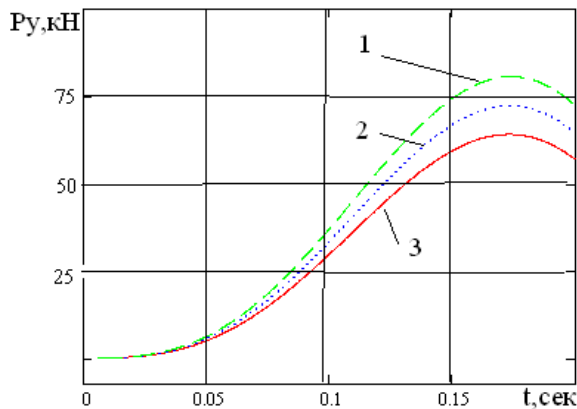


Рис. 4. Динаміка зміни вертикальної сили:
1 – $A = 250$ кН/м; 2 – $A = 200$ кН/м; 3 –
 $A = 150$ кН/м

Висновки

Результати досліджень демонструють, що сили, які діють у передньому шарнірі тягової рами, зростають з підвищенням інтенсивності опору копанню, досягаючи максимальних значень 195 та 78 кН.

Горизонтальні зусилля значною мірою перевищують вертикальні та збільшуються зі зростанням інтенсивності опору копанню. Темп підвищення максимумів горизонтальної сили можна вважати рівномірним, тому що в разі збільшення інтенсивності з 150 до 250 кН/м найбільші значення зростають приблизно на 32 %, отже, можна дійти висновку щодо доцільності роботи з меншими швидкостями руху скрепера з огляду на навантаження металоконструкції.

Темп зростання максимумів вертикальної сили можна вважати рівномірним (приблизно на 7 %) з підвищенням швидкості занурення ножа скрепера в ґрунт, що значно менше, як порівняти з зусиллями, що діють у горизонтальному напрямку. Тому зменшення швидкості занурення не призведе до суттєвого зменшення навантаження тягової рами скрепера.

Література

1. Машины для земляных работ: учебник / Кравец С. В. Харьков: ХНАДУ, 2014. 548 с.
2. Наукові основи створення вискоєфективних землерийно-транспортних машин / Кириченко І. Г., Назаров Л. В., Нічке В. В., Демішкан В. Ф. Харків: ХНАДУ, 2003. 588 с.
3. Борисенков В. А. Оптимизация скреперных агрегатов. Воронеж: ВГУ, 1990. 248 с.
4. Щемелёв А. М., Леоненко О. В. Способы снижения нагрузки металлоконструкции скрепера МоАЗ-6014 при копании грунта.

Строительные и дорожные машины. 2004. № 8 С. 18–23.

5. Нилов, В. А., Степанченко Д. А. Исследование нагруженности тяговой рамы скрепера с шаровым седельным устройством. Высокие технологии в строительном комплексе. 2018. № 1. С 132–135.
6. Іваненко О. І., Щербак О. В. Удосконалення методу розрахунку і проектування головної балки мостового крана. Підъемно-транспортная техника. 2018. № 3 (59). С. 86–92.
7. Ковалевский С. Г. Моделирование нагружения тяговой рамы самоходного скрепера. Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. Харків: ХНАДУ, 2016. Вып. 73. С. 162–166.
8. Ковалевський С. Г., Яришко О. В. Дослідження напружень в металоконструкції тягової рами напівпричіпного скрепера. Підйомно-транспортна техніка. 2019. № 2(61). С. 93–103.
9. Кириченко І. Г., Ковалевський С. Г. Розробка методики визначення показників пружності тягової рами напівпричіпного скрепера. Технологія приборостроєння. 2017. № 2. С. 71–72.

References

1. Mashyny dlia zemlianykh robot: pidruchnyk / Kravets.S. V. ta in . Kharkiv: KhNADU, 2014. 548 s.
2. Naukovi osnovy stvorennia vyskoєfektivnykh zemleryino-transportnykh mashyn / Kyrychenko I. H., Nazarov L. V., Nichke V. V., Demishkan V. F. Kharkiv: KhNADU, 2003. 588 s.
3. Borysenkov V. A. Optymyzatsiya skrepernykh ahrehatov. Voronezh: VHU, 1990. 248 s.
4. Schemelyov A. M., Leonenko O. V. Sposobyi snizheniya nagruzhennosti metallokonstruktсии skrepera MoAZ-6014 pri kopanii grunta. Stroitelnye i dorozhnyie mashyny. 2004. № 8. S.18–23.
5. Nilov V. A., Stepanchenko D. A. Issledovanie nagruzhennosti tyagovoy rami skrepera s sharovym sedelnym ustroystvom. Vyiskie tehnologii v stroitelnom komplekse. 2018. № 1. S 132–135.
6. Ivanenko O. I., Sherbak O. V. Udoskonalennya metodu rozrahunku i proektuvannya golovnoyi balki mostovogo kрана. Podemno-transportnaya tehnika. 2018. №3 (59). S. 86–92.
7. Kovalevskiy S. H. Modelyrovanye nahruzheniya tiahovoi rami samokhodnoho skrepera. Vestnyk KhNADU: sb. nauchn. tr. Kharkiv: KhNADU, 2016 Vip. 73. S. 162–166.
8. Kovalevskii S. H., Yaryzhko O. V. Doslidzhennia napruzhen v metalokonstruktсии tiahovoi rami napivprychipnoho skrepera. Pidiomno-transportna tekhnika. 2019. №2(61) S. 93–103.
9. Kirichenko I. G., Kovalevskij S. G. Rozrobka metodiki viznachennya pokaznykiv pruzhnosti tyagovoyi rami napivprychipnoho skrepera.

Tehnologiya priborostroeniya. 2017. № 2. S. 71–72.

Ковалевський Сергій Германович, к.т.н., доцент, +380(97) 240-71-80,
E-mail kov1.serg@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-6299-2223
Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Mathematical modeling of a self-propelled scraper at the beginning of soil set

Abstract. *The process of filling of scoop of dragshovel consists of a few operations which periodically repeat oneself in the working loop. Each of these stages is accompanied the different moving of dragshovel and his separate knots, conditioned actions of external forces, at cutting and load of soil in a scoop, that needs separate consideration of the tense state of dragshovel equipment in a few calculation positions.*

The analysis of the modes of lading of metallokonstrukcii of dragshovel during implementation of basic operations of digging allows to define the rational modes of operations of machine.

For the decision of the put tasks the calculation chart of self-propelled dragshovel was developed in the process of zaglubleniya of knife in soil, on the basis of which taking into account the grounded limitations and scope terms, a twomass mathematical model, having degrees of freedom in horizontal and vertical directions, is created. With the purpose of simplification of mathematical model the angular vibrations of tractor and dragshovel were not taken into account, in connection with their small influence on the operating loadings at zaglublenii of scoop.

Realization of mathematical model allowed to get the charts of dynamic change of horizontal and vertical force, operating in the hinges of hauling frame. Swaying character of loadings rotined that maximal values were arrived at almost for the identical interval of time in the first semiperiod, and horizontal and vertical efforts increase with the increase of intensity of resistance digging.

The results of researches rotined that forces operating in the front hinge of hauling frame grow with the increase of intensity of resistance digging, arriving at the maximal values of 195 and 78 kN. Horizontal efforts to a great extent exceed vertical and increased with growth of intensity of resistance digging. The rate of increase of maximums of horizontal force can be considered even, because at megascopic intensities from 150 to 250 kN/m, most values grow approximately on 32 %, that enables to draw conclusion about expedience of work with the less rates of movement of dragshovel, taking into account loading of metallokonstrukcii.

The rate of growth of maximums of vertical force can be considered even, approximately on 7 %, with the increase of rate of climb of knife of dragshovel, that far fewer as compared to growth of efforts,

operating in horizontal direction. Therefore diminishing of speed of zaglubleniya will not result in the substantial diminishing of loading on the hauling frame of dragshovel.

Keywords: *dragshovel, design, working process, lading, metallokonstrukciya, hauling frame.*

Kovalevskyi S.G., PhD (Eng.), Associate Professor +380(97) 240-71-80,
E-mail kov1.serg@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-6299-2223
Kharkiv National Automobile and Highway University

Математическое моделирование самоходного скрепера в начале набора грунта

Аннотация. *Процесс заполнения ковша скрепера состоит из нескольких операций, которые периодически повторяются в рабочем цикле. Каждый из этих этапов сопровождается разными перемещениями скрепера и отдельных его узлов, обусловленными действиями внешних сил при резании и загрузке грунта в ковш, что нуждается в отдельном рассмотрении напряженного состояния скреперного оборудования в нескольких расчетных положениях.*

Анализ режимов нагружения металлоконструкции скрепера во время выполнения основных операций копания позволяет определить рациональные режимы работы машины.

Для решения поставленных задач была разработана расчетная схема самоходного скрепера в процессе заглубления ножа в грунт, на основе которой с учетом обоснованных ограничений и граничных условий создана двухмассовая математическая модель, имеющая степени свободы в горизонтальном и вертикальном направлениях. С целью упрощения математической модели угловые колебания тягача и скрепера не учитывались в связи с их небольшим влиянием на действующие нагрузки при заглублении ковша.

Реализация математической модели позволила получить графики динамического изменения горизонтальной и вертикальной силы, действующей в шарнирах тяговой рамы. Колебательный характер нагрузок показал, что максимальные значения достигаются почти за одинаковый промежуток времени в первом полупериоде, а горизонтальные и вертикальные усилия возрастают с повышением интенсивности сопротивления копанию.

Результаты исследований показали, что силы, действующие в переднем шарнире тяговой рамы, растут с повышением интенсивности сопротивления копанию, достигая максимальных значений 195 и 78 кН. Горизонтальные усилия в значительной мере превышают вертикальные и увеличиваются с ростом интенсивности сопротивления копанию. Темп повышения максимумов горизонтальной силы можно считать равномерным, потому что преувеличены интенсивности с

150 до 250 кН/м, наибольшие значения увеличиваются приблизительно на 32 %, что дает возможность сделать вывод о целесообразности работы с меньшими скоростями движения скрепера, учитывая нагрузку металлоконструкции.

Темп роста максимумов вертикальной силы можно считать равномерным (приблизительно на 7 %) с повышением вертикальной скорости ножа скрепера, что гораздо меньше по сравнению с ростом усилий, действующих в горизонтальном направлении. Поэтому уменьшение ско-

рости заглубления не приведет к существенному уменьшению нагрузки на тяговую раму скрепера.

Ключевые слова: скрепер, моделирование, рабочий процесс, нагружение, металлоконструкция, тяговая рама.

Ковалевский Сергей Германович, к.т.н., доцент, +380(97)240-71-80, kov1.serg@gmail.com, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.
