ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.869

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ДІЮТЬ ПРИ РОБОТІ СКРЕПЕРА ЗІ ШТОВХАЧЕМ

С.Г. Ковалевський, ст. викл., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. *Розглянуто режим роботи скрепера зі штовхачем, в якому під час стикування машини рухаються з різними швидкостями, а ківш заповнюється ґрунтом. Проведено аналіз навантажень, що діють у пружному елементі амортизуючого пристрою. Розроблено методику розрахунку навантажень. Описано застосування амортизуючого пристрою, який захищає конструкцію скрепера від небезпечних динамічних навантажень.*

Ключові слова: *навантаження, скрепер, штовхач, амортизатор, жорсткість, буксування.*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ РАБОТЕ СКРЕПЕРА С ТОЛКАЧОМ

С.Г. Ковалевский, ст. преп., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. *Рассмотрен режим работы скрепера с толкачом, в котором во время стыковки машины движутся с разными скоростями, а ковш заполняется грунтом. Проведен анализ нагрузок, действующих в упругом элементе амортизирующего устройства. Разработана методика расчета нагрузок. Описано применение амортизирующего устройства, которое защищает конструкцию скрепера от опасных динамических нагрузок.*

Ключевые слова: *нагрузки, скрепер, толкач, амортизатор, жесткость, буксование.*

STUDING LOADS ACTING AT THE SCRAPER OPERATION WITH A PUSHING VEHICLE

S. Kovalevskyi, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. *There has been considered the operation of the scraper with a pushing vehicle in which during joining the vehicles move at different speeds and the bucket is filled with soil. Analysis of loads acting in the springing element of the shock absorbing device has been performed. A method of calculating the loads has been developed. The process of using the shock absorbing device, which protects the scraper construction from dangerous dynamic loads, has been described.*

Key words: *loads, scraper, pushing vehicle, springing element, rigidity, skidding.*

Вступ

Робота скрепера зі штовхачем викликає збільшення навантажень, які діють у металоконструкціях та амортизуючому пристрої, що призводить до зниження довговічності основних вузлів скрепера. Розглянемо взаємодію скрепера зі штовхачем за умови руху машин з різними швидкостями та наповнення ковша ґрунтом. З метою зменшення діючих навантажень штовхач оснащений амортизуючим пристроєм.

Аналіз публікацій

Способи вдосконалення ефективності виконання скреперних робіт включають можливість підвищення ступеня наповнення ковша за рахунок роботи із трактором-штовхачем [1]. Використання такого методу дозволяє збільшити продуктивність скрепера [2], але підвищує навантаження, що діють у вузлах металоконструкції [3]. Визначення найбільш напружених режимів роботи скреперів зі штовхачем потребує додаткових досліджень.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є встановлення максимальних динамічних навантажень та основних чинників, що впливають на характер коливальних процесів у вузлах металоконструкції під час роботи скрепера зі штовхачем, а також визначення величини коефіцієнтів динамічності та жорсткості пружних елементів основних елементів металоконструкції скрепера.

Розробка математичної моделі

Скрепер набирає ківш самостійно до тих пір, поки його тягач не починає буксувати; при цьому сила тяги дорівнює граничній за зчепленням $T_1 = T_{\varphi 1}$, швидкість руху скрепера V_1 падає до деякого значення V_{01}, що відповідає моменту, штовхач наздоганяє його на вищій швидкості, й подальший рух відбувається спільно.

Запишемо рівняння руху для скрепера, який набирає ґрунт у ківш

$$\begin{gathered} T_1 - AX_{01} + CX_{02} + C(X_2 - X_1) - \\ - AX_1 - M_1 X_1^{\text{II}} = 0, \end{gathered} \tag{1}$$

де A – інтенсивність підвищення опору копанню скрепера; C – жорсткість пружного елемента амортизуючого пристрою; M_1 – маса скрепера.

Якщо $T_1 = T_{\varphi 1} = AX_{01}$, рівняння запишемо у вигляді

$$C(X_2 - X_1) + CX_{02} - AX_1 - M_1 X_1^{\text{II}} = 0 . \tag{2}$$

Для трактора-штовхача після стикування зусилля досить швидко досягає значення сили тяги за зчепленням, тоді рівняння руху отримаємо у вигляді

$$T_2 - CX_{02} - C(X_2 - X_1) - M_2 X_2^{\text{II}} = 0 , \tag{3}$$

де T_2 – сила тяги трактора-штовхача; M_2 – маса трактора-штовхача. Але $T_2 = CX_{02}$, тоді

$$X_1^{\text{II}} - C(X_2 - X_1)/M_1 + CX_{02}/M_2 = 0, \tag{4}$$

$$X_2^{\text{II}} + C(X_2 - X_1)/M_2 = 0. \tag{5}$$

На підставі виразу (4) запишемо

$$X_2 = M_1 X_1^{\text{II}}/C + X_1 + AX_1/C - X_{02},$$

$$X_2^{\text{II}} = M_1 X_1^4/C + X_1^{\text{II}}(1 + A/C). \tag{6}$$

З виразу (5) отримаємо

$$X_1 = M_2 X_2^{\text{II}}/C + X_2;$$

$$X_1^{\text{II}} = M_2 X_2^4/C + X_2^{\text{II}}. \tag{7}$$

Підставляючи значення X_1 та X_1^{II} в рівняння (4), а X_2, X_2^{II} – в (5), отримаємо

$$\begin{gathered} X_1^4 + X_1^{\text{II}}(C/M_1 + C/M_2 + A/M_1) + \\ + ACX_1/M_1M_2 - C^2 X_{02}/M_1M_2 = 0; \end{gathered} \tag{8}$$

$$\begin{gathered} X_2^4 + X_2^{\text{II}}(C/M_1 + C/M_2 + A/M_1) + \\ + ACX_2/M_1M_2 - C\ X_{02}/M_1M_2 = 0. \end{gathered} \tag{9}$$

Розв’язки рівнянь (8) та (9) матимуть вигляд

$$\begin{gathered} x_1 = N_1 \sin\alpha t + N_2 \cos\alpha t + \\ + N_3 \sin\beta t + N_4 \cos\beta t\ ; \end{gathered} \tag{10}$$

$$\begin{gathered} x_2 = N_5 \sin\alpha t + N_6 \cos\alpha t + \\ + N_7 \sin\beta t + N_8 \cos\beta t + x_{02}. \end{gathered} \tag{11}$$

Постійні інтегрування визначаються з початкових умов руху скрепера та трактора-штовхача при $t = 0$

$$\begin{gathered} N_2 + N_4 = 0; \\ \alpha^2 N_2 + \beta N_4 = 0; \\ \alpha N_1 + \beta N_3 = V_{01}; \\ -\alpha^3 N_1 - \beta N_3 = C(V_{02} - V_{01})/M_1 - AV_{01}/M_1; \end{gathered} \tag{12}$$

$$\alpha^2 N_6 + \beta^2 N_8 = 0\ ;$$

$$\alpha^3 N_5 + \beta^3 N_7 = C\left(V_{02} - V_{01}\right) / M_2\ .$$

$$N_2 = N_4 = N_6 = N_8 = 0\ ;$$

$$N_1 = \frac{V_{01}\left(A / M_1 - \beta^2\right) - C\left(V_{02} - V_{01}\right) / M_1}{\alpha\left(\alpha^2 - \beta^2\right)};$$

$$N_3 = \left[C\left(V_{02} - V_{01}\right) / M_1 - V_{01} \times \right.$$
$$\left. \times\left(A / M_1 - \alpha^2\right)\right] / \beta\left(\alpha^2 - \beta^2\right);$$

$$N_5 = \frac{C\left(V_{02} - V_{01}\right) / M_2 - \beta^2 V_{02}}{\alpha\left(\alpha^2 - \beta^2\right)}; \qquad (13)$$

$$N_7 = \frac{\alpha^2 V_{02} - C\left(V_{02} - V_{01}\right) / M_2}{\beta\left(\alpha^2 - \beta^2\right)}.$$

Деформація пружного елемента амортизуючого пристрою S визначається так

$$S = x_{02} + x_2 - x_1, \qquad (14)$$

або

$$S = (N_5 - N_1)\sin\alpha t + +(N_7 - N_3) \times \sin\beta t + x_{02}. \qquad (15)$$

Підставляючи значення постійних N_1, N_3, N_5, N_7, а також вважаючи, що за значень αt і βt, кратних $\pi / 2$, отримаємо

$$S_{\max} = (N_5 - N_1) + (N_7 - N_3) + x_{02}, \quad (16)$$

або, після перетворень,

$$S_{\max} = \left\{\left[\left(\alpha^3 - \beta^3\right) - (\alpha - \beta)\left(C / M_2 + C / M_1\right)\right] \times \right.$$
$$\left. \times\left(V_{02} - V_{01}\right) + V_{01} A(\alpha - \beta) / M_1\right\} \alpha^3\beta - \alpha\beta^3\ . \qquad (17)$$

Аналіз виразу (16) показує, що на величину навантажень, що виникають в амортизуючому пристрої, окрім мас і жорсткостей, істотно впливає різниця швидкостей V_{01}, V_{02}, за яких відбувається стикування скрепера із трактором-штовхачем і, меншою мірою, впливає початкова швидкість скрепера V_{01}.

Результати обчислень за різних початкових швидкостей стикування і жорсткостей пружного елемента амортизуючого пристрою й інтенсивності підвищення опору копанню ґрунту наведено на рис. 1. Аналіз отриманих результатів показує, що при копанні однорідних ґрунтів, на яких можуть виникати опори копанню, що зростають із найбільшою можливою інтенсивністю, що виникають при застосуванні несприятливих прийомів керування ковшем та поєднані з найбільшими швидкостями стикування машин, максимальні значення коефіцієнта динамічності при зустрічах не перевищують нормативних значень.

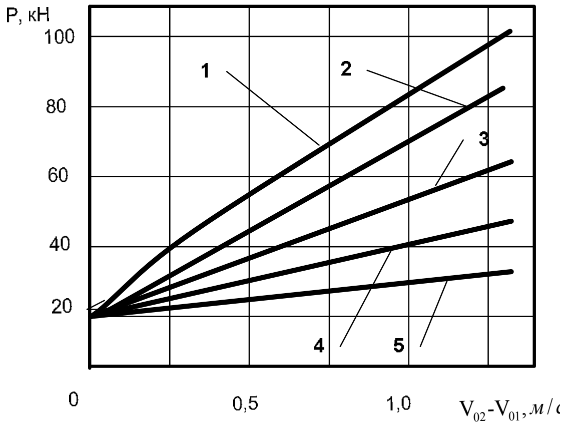

Рис. 1. Графік залежності зусиль від різниці швидкостей руху скреперів:

1 – $A = 10^4$ кН/м; $C = 2000$ кН/м;

2 – $A = 10^4$ кН/м; $C = 200$ кН/м;

3 – $A = 10$ кН/м; $C = 2000$ кН/м;

4 – $A = 10$ кН/м; $C = 1000$ кН/м;

5 – $A = 10$ кН/м; $C = 200$ кН/м.

Розглянуті залежності показують, що основними чинниками, що впливають на характер динамічних процесів та величину максимальних навантажень під час роботи скрепера із трактором-штовхачем, є: маса скрепера та трактора-штовхача, величини сили тяги, що реалізовується тягачем скрепера та трактором-штовхачем за умови зчеплення їх рушіїв із ґрунтом, інтенсивність зростання опорів копанню ґрунту або жорсткість перешкод у ґрунті, що потрапляють під ніж скрепера під час копання, швидкість, за якої починається інтенсивне буксування рушіїв тягачів, та різниця швидкостей машин під час їх стикування в забої.

Застосування в амортизуючому пристрої пружного елемента, який знижує жорсткість конструкції, є корисним заходом, що оберігає вузли металоконструкції скрепера та трактора-штовхача від небезпечних динамічних вантажень. Так, якщо жорсткість пружного

елемента дорівнює 200 кН/м, а різниця швидкостей руху машин становить 1,25 м/с, зусилля, що діють, не перевищують 82 кН, а коефіцієнт динамічності дорівнює 1,8, навіть в умовах зустрічі копаючого скрепера із досить жорсткою важкою перешкодою. Проте застосування пружних елементів із такою жорсткістю навряд чи доцільно, оскільки при цьому спостерігається значна амплітуда коливань, що виникають при роботі скреперів із трактором-штовхачем, що перевищує 0,5 м.

Доцільним в даному випадку було б застосування пружного елемента з жорсткістю 1000 кН/м та обмеження допустимої різниці швидкості стикування величиною близько 1,0 м/с, що приводить до виникнення коливань з амплітудою не більше 0,16 м і значення коефіцієнта динамічності, що дорівнює 1,4.

Висновки

Розроблена методика розрахунку навантажень, що виникають у вузлах металоконструкції під час роботи скрепера із трактором-штовхачем, може бути використана при виборі основних параметрів і в попередніх розрахунках на міцність та довговічність основних вузлів скрепера та амортизуючого пристрою.

Література

1. Хмара Л.А. Машини для земляних робіт / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Нічке та ін. – Рівне-Дніпропетровськ-Харків, 2010. – 558 с.
2. Кириченко І.Г. Наукові основи створення високоефективних землерийних машин / І.Г. Кириченко, Л.В. Назаров та ін. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 586 с.
3. Ковалевский С.Г. Математическое моделирование полуприцепного скрепера, работающего в составе поезда / С.Г. Ковалевский // Сб. докладов Междунар. научн.-практ. конф. – Белгород: БГТУ, 2013. – Т. 2. – С. 113–119.

Рецензент: Є.С. Венцель, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 2 березня 2015 р.