

УДК 621.869

Ковалевський С.Г., к.т.н.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ТЯГОВОЇ РАМИ СКРЕПЕРА, ПРАЦЮЮЧОГО У СКЛАДІ ПОТЯГА

**Анотація.** В статті наведено результати досліджень навантажень, які виникають в металоконструкції тягової рами напівпричепного скрепера, працюючого у складі потяга. В якості основних чинників, що впливають на навантаження скрепера, слід визначити швидкість руху, об'єм ґрунту в ковші скрепера і послідовність заповнення машин. Встановлено, що найбільші величини напруги спостерігається при роботі скреперного потяга в тяговому режимі, використання оригінального зчпного пристрою приводить до зменшення навантаження тягової рами скрепера.

**Ключові слова:** скреперний потяг, навантаження, тягова рама, швидкість руху, максимальна напруга.

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований нагрузок, которые возникают в металлоконструкции тяговой рамы полуприцепного скрепера, работающего в составе поезда. В качестве основных факторов, которые влияют на нагружение скрепера, следует принять скорость движения, объем грунта в ковше скрепера и последовательность заполнения машин. Установлено, что наибольшие величины напряжений возникают при работе скреперного поезда в тяговом режиме, использование оригинального сцепного устройства приводит к уменьшению нагрузок в тяговой раме скрепера.

**Ключевые слова:** скреперный поезд, нагружение, тяговая рама, скорость движения, максимальное напряжение.

**Abstract.** In the article results of researches of loads which arise in a metal structure of a traction frame of a semi-trailer scraper working in structure of a train are resulted. As the main factors that affect the loading of the scraper, you should take the speed of movement, the volume of soil in the scraper bucket and the sequence of filling machines. It was found that the greatest stresses occur when the scraper train is operated in the traction mode, the use of the original coupling device results in a reduction in the loads in the traction frame of the scraper.

**Keywords:** scraper train, loading, traction frame, speed of movement, maximum loads.

**Вступ.** Робота скрепера в складі потяга, при якій машини з'єднуються в єдиний агрегат на час набору ґрунту та послідовно допомагають один одному заповнювати ковші, викликає збільшення навантажень, які діють в металоконструкції та зчпному пристрої, що призводить до зниження довговічності основних вузлів скрепера.

Таким чином, дослідження впливу основних експлуатаційних факторів на діючі напруги та вибір їх раціональних параметрів дозволить підвищити ефективність роботи скрепера.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відомі дослідження навантаження металоконструкції скрепера виконані для машин, які працюють в самотньому режимі або з використанням тракторів-штовхачів і не враховують особливості роботи у складі потяга [1,6,7]. Основними елементами металоконструкцій скрепера, що сприймають підвищені навантаження при заповненні ковшів, є тягові рами, оскільки вони мають жорсткість значно нижче за жорсткість решти вузлів металоконструкції машини.

На основі результатів дослідження режимів експлуатації скреперів, складені розрахункові схеми, які відображають режими вантаження тягової рами, сидельнозчпного пристрою і ковша, визначені найбільш слабкі місця цих вузлів металоконструкцій і запропоновані заходи щодо підвищення їх надійності [2].

З причини складності металоконструкції скрепера і відсутності можливості наблизити розрахункову схему до самої конструкції, розрахунку піддавалися окремі елементи конструкції скрепера при використанні стрижньових систем. Поступово з удосконаленням методів розрахунку і технічних засобів розрахункові схеми наблизилися до реальної конструкції скрепера.

У роботі [3], на основі розроблених розрахункових схем, представлені результати дослідження режимів навантаження напівпричпного скрепера в транспортному режимі. Запропонована плоска двохмасова схема враховує маси і жорсткість коліс тягача і скрепера і не розглядає пружні властивості тягової рами, що не дозволяє використовувати її для моделювання процесів навантаження при копанні ґрунту.

Складнішою є плоска розрахункова схема, що враховує параметри тягової рами напівпричпного скрепера, шарнірне з'єднання рами з тягачем і ковшем, а також пружність гідроциліндрів управління ковшем, проте ця схема не може бути використана для розгляду робочого режиму скрепера, оскільки не враховує дію сил опору копанню.

Для швидкого агрегування в потяг скрепери обладнуються спеціальними зчпними пристроями, проте існуючі конструкції не виключають подовжнього переміщення машин та, не повною мірою, захищають від виникнення ударних навантажень. Для зменшення

динамічних навантажень в металокопункції скреперного потяга була розроблена модернізована копункція зчіпного пристрою [4].

Розрахункова схема скреперного потяга, що дозволила визначити діючі навантаження була представлена чотирьох масовою системою, що враховує подовжні, вертикальні і кутові переміщення [5]

**Мета роботи.** Метою випробувань скреперного потяга було встановлення закономірностей процесів навантаження металокопункцій машин при заповненні ковшів скреперів і відповідності основних теоретичних положень експериментальним.

**Основна частина.** Під час випробувань скрепера, що працює у складі потяга, відбувалась реєстрація деформацій, що виникають в елементах металокопункції в процесі копання, за допомогою вимірювальних приладів. З метою зіставлення результатів експериментів, параметри машин і приладів підтримувалися постійними і періодично контролювалися протягом всього часу проведення дослідів.

Аналіз основних чинників, що впливають на динамічне навантаження скрепера, показав, що в якості змінних параметрів слід визначити швидкість руху, об'єм ґрунту в ковші копаючого скрепера і послідовність заповнення машин.

Один з двох скреперів, що брали участь у випробуваннях, був оснащений тензовимірювальною апаратурою, за допомогою якої в ході випробувань були отримані дані про напругу в тяговій рамі скрепера при роботі в різних режимах.

Комплект реєструючої апаратури для запису даних складався з мобільної тензостанції, що включає восьми каналний АЦП і ноутбук з відповідним програмним забезпеченням.

Для дотримання реальних умов експлуатації, в першому випадку на підготовленій до випробувань ділянці скрепери ставилися один за одним на відстані декількох метрів, після чого оператор переднього скрепера починав набір ґрунту, задній наздоганяв його і починав виконувати функції штовхача. Після закінчення наповнення ковша, передній скрепер допомагав заповнитися задньому.

В якості датчиків деформацій використовувалися тензорезистори КФ-4 з базою 20 мм і опором 400 Ом, розміщені на арці-хоботі, поперечній балці і подовжніх балках скрепера. Тензорезистори були наклеєні на тягову раму за допомогою клею БФ-2 з подальшою температурною дією для кристалізації клею. Для компенсації температурних дій відповідна частина мостової схеми включала такі ж датчики, розташовані на жорсткій металевій пластині, нерухомо закріпленій на рамі скрепера за допомогою гвинтів, в безпосередній близькості від основних вимірювальних резисторів.

Приклади розташування тензодатчиків представлені на рис. 1. На рис. 1а показано розміщення тензодатчиків для визначення

дотичної напруги, яка виникає в даному перетині від дії моменту, що викликає кручення поперечної балки.

Датчики, розміщені на арці і подовжній балці (рис.1б), дозволили проводити запис нормальної напруги від дії розтягуючого зусилля і моменту, що вигинає у вертикальній площині.

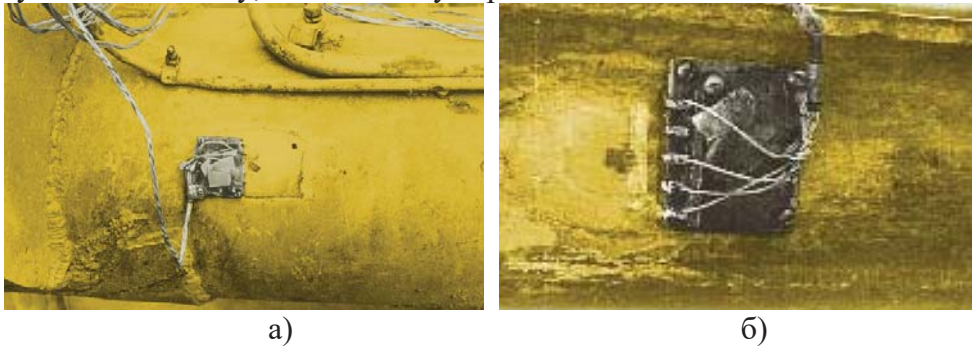


Рисунок 1 – Розміщення тензодатчиків: а) на поперечній балці, б) на арці та подовжній балці

Відповідно до розробленої методики визначення динамічних навантажень, результати вимірювань у вигляді осцилограм були записані в цифровому вигляді на електронний носій. На рис. 2 представлені фрагменти осцилограм деформацій арки тягової рами скрепера.

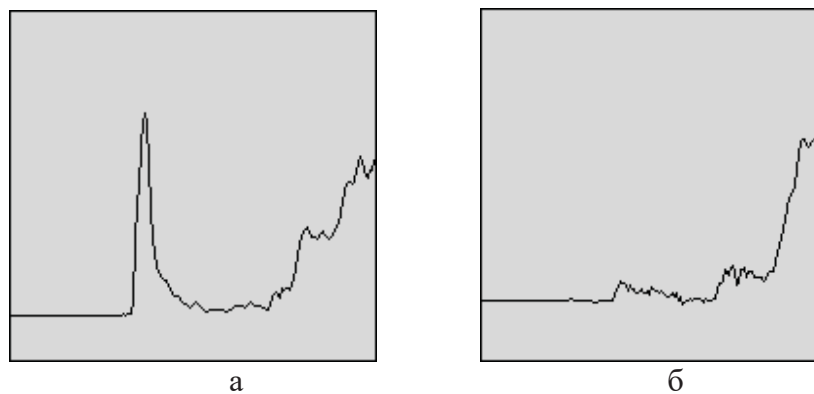


Рисунок 2 – Фрагменти осцилограм деформацій арки тягової рами скрепера: а) у штовхаючому режимі, б) у тяговому режимі

Обробка отриманих даних проводилася відповідно до методів обробки даних про навантаження і складалася з наступних основних етапів:

- визначення структури і схематизація навантажень;
- визначення статистичних характеристик напруги.

Аналіз отриманих осцилограм і попередня обробка даних дозволили зробити вивід про можливість і доцільність використання

методу безпосередньої схематизації, що полягає в представленні виникаючої напруги у вигляді впорядкованої послідовності.

Осцилограми оброблялися методом ординат, який припускає реєстрацію через рівні інтервали часу значень ординат напруги, що діє. Після чого весь діапазон зміни напруги розбивався на рівні і визначалася частота появи напруги на даному рівні як:

$$r_i = n_i / \Sigma_n, \quad (1)$$

де  $n_i$  – кількість ординат напруги, що відповідає  $i$ -му рівню;

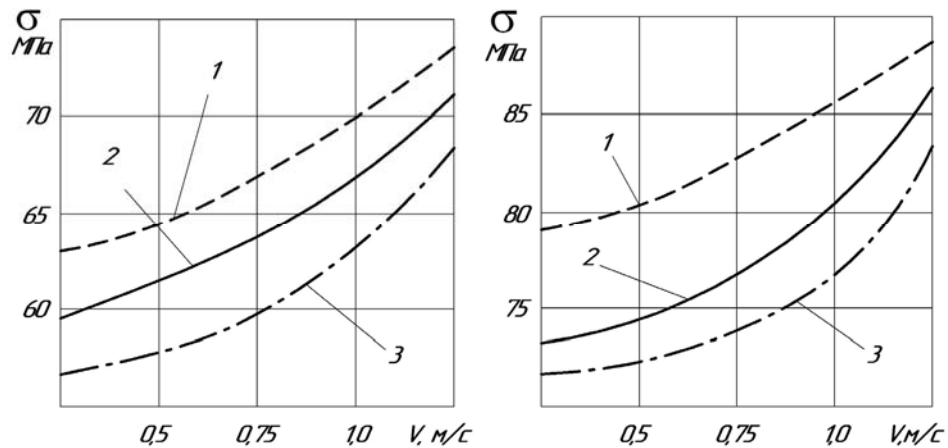
$\Sigma_n$  – сумарна кількість крапок, знятих з осцилограми.

Для визначення навантаження скрепера слід визначити ряд параметрів, таких як; середня і еквівалентна напруга, частота і асиметрія циклів для основних елементів тягової рами.

Середнє значення нормальної напруги, що діє, визначалося:

$$\sigma_{cp} = \sum_1^i \sigma_i r_i, \quad (2)$$

За результатами обробки осцилограм були побудовані графіки залежностей середніх напруг, що діють в арці і подовжній балці в залежності від швидкостей руху машин на різних етапах роботи потяга, які представлені на рис. 3,4.



1 – розрахункові дані, 2 – експериментальні дані з традиційним зчпним пристроєм, 3 – експериментальні дані з модернізованим зчпним пристроєм

а)

б)

Рисунок 3 – Навантаження в арці тягової рами: а) в штовхаючому режимі, б) в тяговому режимі

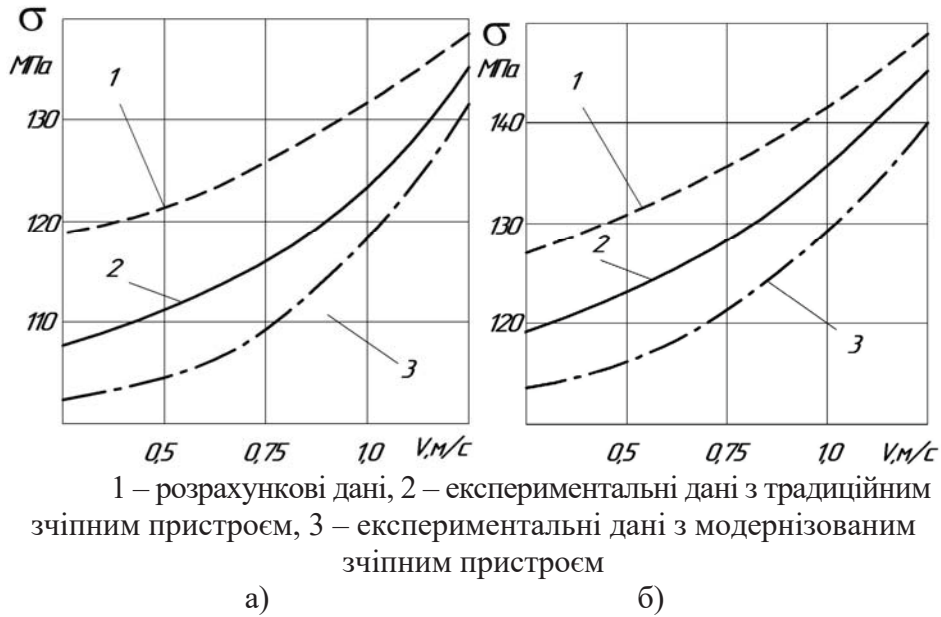


Рисунок 3 – Навантаження в подовжній балці тягової рами: а) в штовхаючому режимі, б) в тяговому режимі

**Висновки.** Результати експериментальних досліджень показують, що при роботі скрепера у складі потяга діючі напруги у вузлах тягової рами не перевищує допустимих значень та нелінійно зростають при збільшенні швидкості руху машин.

Використання модернізованого зчіпного пристрою приводить до зменшення напруг, що діють в арці на 5–7 МПа, а в подовжній балці до 11 МПа залежно від швидкості руху машин порівняно з роботою скреперного потяга з пристроєм стандартної конструкції.

Найбільші середні напруги спостерігаються при закінченні набору ґрунту скреперним потягом, що працює в тяговому режимі, і досягають в арці 86 МПа, а в подовжній балці – 148 МПа.

Режим роботи скреперного потяга, в якому спочатку заповнюється задній скрепер, потім – передній, а стикування машин здійснюється до початку завантаження ґрунту, дозволяє зменшити навантаження тягової рами на 5–8 %, завдяки чому підвищується надійність та довговічність агрегату.

Порівняння отриманих експериментальних значень величин навантаження металоконструкції тягової рами скрепера, працюючого у складі потяга с розрахунковими величинами похибку у розмірі 8–15 %, що є допустимою величиною та свідчить про адекватність запропонованої розрахункової схеми та математичної моделі скреперного агрегату.

---

ЛІТЕРАТУРА

1. Щемелев А.М. Способы снижения нагруженности металлоконструкции скрепера МоАЗ-6014 при копании грунта / А.М. Щемелёв, О.В. Леоненко, М.Э. Подымако // Строительно-дорожные машины. -2004.- №8 - С. 18 - 23.
2. Волобоев В.Г. Методологические основы обоснования оптимальных параметров элементов рабочего оборудования землеройных и землеройно транспортных машин / В.Г. Волобоев Монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2002. 168 с.
3. Кириченко И.Г. Исследование математической модели скреперного поезда / И.Г. Кириченко, С.Г. Ковалевский, Н.В. Розенфельд // Сб. научн. трудов ПГАСА, Строит., материал., машиностр. – 2013. – Вып. 72 – С. 121–128.
4. Пат. 83173 Україна, МПК В60D 3/00. Зчіпний пристрій скреперного поїзда / Ковалевський С.Г., Кириченко І.Г., Шевченко В.О., Ярижко О.В.: заявник та патентовласник Ковалевський С.Г., Кириченко І.Г., Шевченко В.О., Ярижко О.В. – № u201303510; заявл. 21.03.2013; опубл. 27.08.2013; Бюл. №18.
5. Кириченко И.Г. Исследование математической модели скреперного поезда / И.Г. Кириченко, С.Г. Ковалевский, Н.В. Розенфельд // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2013. – Вып. 72. – С. 51–58.
6. Rehnberg, A. 2011. Suspension design for off-road construction machines. Stockholm. Sweden. 92 p.  
<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva>
7. Meirovitch, L. 2010. Methods of Analytical Dynamics. Dover Publications. 544 p.