

Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

БЕЙГУЛ ВСЕВОЛОД ОЛЕГОВИЧ

УДК 629.025:539.4

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПІДЙОМНО-ЗЧЕПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ
БУКСИРОВЦІКІВ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКІДІВ

05.22.12 – Промисловий транспорт

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі машинобудування Дніпродзержинського державного технічного університету Міністерства освіти і науки України, м. Дніпродзержинськ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Ширін Леонід Никифорович**, ДВНЗ «Національний гірничий університет», завідувач кафедри транспортних систем і технологій, м. Дніпропетровськ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Афанасов Андрій Михайлович**, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, декан факультету електрифікації залізниць, м. Дніпропетровськ;

доктор технічних наук, професор **Монастирський Юрій Анатолійович**, ДВНЗ «Криворізький національний університет», завідувач кафедри автомобільного транспорту, м. Кривий Ріг.

Захист відбудеться " ____ " _____ 2015 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2015 р.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01
д-р техн. наук, професор

М. О. Костін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Прогрес гірничої промисловості тісно пов'язаний з розвитком відкритих розробок корисних копалин, де у транспортному обслуговуванні головне місце займають великовантажні автомобілі-самоскиди. У складних умовах експлуатації автосамоскиди часто ушкоджуються на великій глибині кар'єрів, коли виникає потреба доставки їх у стаціонарні механічні майстерні на поверхні кар'єрів для наступного ремонту. В умовах обмеженого простору і великих уклонів технологічних доріг у кар'єрах для цієї мети служать спеціально обладнані буксировщики, які дозволяють оперативно підхоплювати і транспортувати ушкоджені автосамоскиди. У кар'єрах технологічні дороги не дозволяють виконувати складні маневри, тому підхоплення і транспортування таких машин мають відбуватися захватом як спереду, так і ззаду. Ця обставина визначає конструктивні особливості підйомно-зчеплювальних пристроїв. У зв'язку з екстремальними умовами експлуатації до буксировщиків ставлять дуже високі вимоги.

В останні роки до розробки та виготовлення буксировщиків кар'єрних автосамоскидів долучився і власне Білоруський автомобільний завод. Це тягачі-буксировщики БелАЗ-74470 для буксирування автосамоскидів масою до 42 тонн, БелАЗ-74131 для буксирування автосамоскидів масою 70-160 тонн, БелАЗ-74306 для буксирування автосамоскидів масою 105-260 тонн.

Але ці машини занадто дорогі, і вітчизняні гірничо-збагачувальні комбінати обходяться власним виробництвом. В сучасних умовах буксировщики виконуються на базі кар'єрних автосамоскидів відповідної вантажопідйомності; проектування зводиться до розробки підйомно-зчеплювальних пристроїв. Розробка і виготовлення буксировщиків відбувається на Криворізькому заводі по ремонту дизельних автомобілів.

В таких умовах розвиток теорії буксировщиків кар'єрних автосамоскидів, у тому числі обґрунтування раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв складає важливе наукове завдання, яке має велике значення для вітчизняної промисловості, тому тему дисертаційної роботи слід вважати вельми актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана за планом науково-дослідних робіт Дніпродзержинського державного технічного університету Міністерства освіти і науки України. Автор дисертації приймав участь як співвиконавець у науково-дослідній роботі «Розробка методів неруйнівного контролю та системного

діагностування технічного стану автомобілів» з номером державної реєстрації 0110 U 002301.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає в обґрунтуванні раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів на базі вивчення та розкриття механізмів взаємодії силових елементів, які забезпечують умови для впровадження конструкцій з раціональною металомісткістю.

Для досягнення цієї мети у дисертації поставлені та розв'язані наступні задачі:

- розробка математичної моделі формування зовнішніх навантажень, сприйняття та передачі внутрішніх зусиль, які діють на підйомно-зчеплювальний пристрій;

- визначення динамічних навантажень, які діють на підйомно-зчеплювальний пристрій у збуреному русі системи "буксировщик-автосамоскид";

- експериментальне визначення напружено-деформованого стану основних силових елементів підйомно-зчеплювального пристрою буксировщика БКА-110;

- розробка методики проектування підйомно-зчеплювальних пристроїв, направленої на вибір раціональних параметрів буксировщиків кар'єрних автосамоскидів.

Об'єкт дослідження – процес формування зовнішніх навантажень та внутрішніх зусиль у силових елементах підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів.

Предмет дослідження – параметри силових елементів підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів.

Ідея дослідження полягає у виявленні закономірностей формування зовнішніх навантажень, які діють на підйомно-зчеплювальні пристрої буксировщиків кар'єрних автосамоскидів, і виборі конструктивних рішень, що сприяють раціональному включенню у роботу основних силових елементів цих пристроїв.

Методи дослідження. Вибір напрямку дослідження та визначення актуальності теми роботи зроблено на основі аналізу літературних джерел і узагальнення досліджень, проведених попередниками. Математичне моделювання формування зовнішніх навантажень, сприйняття та передачі внутрішніх зусиль у силових елементах підйомно-зчеплювальних пристроїв базується на методах будівельної механіки та прикладної теорії пружності. Математичне моделювання збуреного руху системи «буксировщик-автосамоскид» базується на математичному апараті аналітичної механіки.

Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану силових елементів підйомно-зчеплювального пристрою виконується методами тензометрирування та осцилографування.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів обумовлена адекватністю математичних моделей, які базуються на фундаментальних положеннях класичних наукових дисциплін, реальним процесом, що підтверджується стандартними процедурами перевірки результатів досліджень на всіх етапах і задовільною збіжністю теоретичних та експериментальних результатів.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше розроблена математична модель формування зовнішніх навантажень на підйомно-зчеплювальні пристрої шляхом введення розрахункових випадків навантаження, які базуються на характерних режимах руху системи "буксировщик-автосамоскид" і складають передумови для визначення раціональних параметрів силових елементів підйомно-зчеплювальних пристроїв;

– вперше розроблена математична модель збуреного руху системи "буксировщик-автосамоскид", що забезпечує визначення розрахункових навантажень та обґрунтування раціональних параметрів силових елементів підйомно-зчеплювальних пристроїв;

– одержано аналітичні вирази критичних швидкостей буксирування кар'єрних автосамоскидів при різних типах підвіски та способах підхоплення автосамоскидів, які безпосередньо впливають на вибір раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв;

– подальший розвиток отримав метод аналізу сприйняття та передачі внутрішніх зусиль у силових елементах підйомно-зчеплювальних пристроїв, які впливають на вибір раціональних параметрів несучих конструкцій підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені методика проектування підйомно-зчеплювальних пристроїв, спрямована на обґрунтування раціональних параметрів силових елементів, а також алгоритм та програма комп'ютерної оптимізації силового набору підйомно-зчеплювальних пристроїв за критерієм мінімальної металомісткості впроваджені у практику проектування буксировщиків кар'єрних автосамоскидів у ВАТ «Транспрогрес» (м. Маріуполь), відповідний акт впровадження додається.

Отримані наукові та практичні результати використовуються також у навчальному процесі Дніпродзержинського державного технічного університету (м. Дніпродзержинськ) при підготовці бакалаврів, спеціалістів і магістрів за напрямом підготовки «Автомобільний транспорт» та спеціальністю

«Автомобілі та автомобільне господарство» при вивченні дисциплін «Математичне моделювання технологічних процесів», «Надійність та довговічність вузлів автомобілів», що підтверджується відповідним актом впровадження.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети і задач дослідження виконано спільно з науковим керівником. Наукові результати, викладені у дисертації та винесені на захист, отримані здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить наступне: [2] – проведення експериментального дослідження буксировщика кар’єрних автосамоскидів; [3, 4] – постановка задач дослідження, аналітичний огляд конструкцій буксировщиків; [5] – розробка математичної моделі збуреного руху системи «буксировщик-автосамоскид»; [6] – постановка задачі дослідження, розробка математичної моделі обґрунтування раціональних параметрів підйомно-зчеплювального пристрою; [7] – постановка задачі дослідження, розробка математичної моделі формування зовнішніх навантажень на підйомно-зчеплювальний пристрій буксировщика; [8] – постановки задачі дослідження, розробка математичної моделі формування зусиль на підйомно-зчеплювальний пристрій; [9] – розробка математичної моделі збуреного руху системи "буксировщик-автосамоскид"; [10] – постановка задачі дослідження, розробка варіантів удосконалення підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар’єрних автосамоскидів; [11] – постановка задачі дослідження, удосконалення математичної моделі збуреного руху системи "буксировщик-автосамоскид"; [13] – постановка задачі дослідження, розробка алгоритму дослідження несучих конструкцій буксировщиків; [14] – проведення експерименту, розшифровка осцилограм; [15, 16] – постановка задач дослідження, розробка математичних моделей формування динамічних навантажень на силові елементи підйомно-зчеплювального пристрою.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації оприлюднені та одержали підтримку на Міжнародних наукових конференціях: «Проблеми механіки гірничо-металургійного комплексу» (м. Дніпропетровськ, 28-31 травня 2002 р.); «Сучасні проблеми і перспективи розвитку транспорту гірничих підприємств» (м. Дніпропетровськ, 22-24 листопада 2007 р.); «Наукові дослідження – теорія і експеримент’2013» (м. Полтава, 29-31 травня 2013 р.); «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи» (м. Севастополь, 16-21 вересня 2013 р.); «Розвиток наукових досліджень’2013» (м. Полтава, 25-27 листопада 2013 р.); на засіданні об’єднаного науково-технічного семінару при кафедрі «Технологія машинобудування» Дніпродзержинського державного технічного університету (м. Дніпродзержинськ, 2015 р.), на засіданні об’єднаного

науково-технічного семінару при кафедрі «Транспортні системи і технології» ДВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ, 2015 р.); на засіданні міжкафедрального наукового семінару Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (м. Дніпропетровськ, 2015 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 наукових праць, у тому числі 10 статей [1–10] опубліковані у фахових виданнях, затверджених МОН України, 1 стаття [11] опублікована у журналі, який включений у Бази даних Scopus, Index Copernicus, ВИНІТИ РАН, «Ulrich's Periodicals Directory», 5 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків; викладена на 104 сторінках машинописного тексту, містить 32 рисунки, 2 таблиці, список використаних джерел з 72 найменувань та 2 додатки на 2 сторінках. Загальний обсяг роботи – 116 сторінок .

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У загальній характеристиці роботи обґрунтована актуальність теми дисертації, визначені мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок автора у роботу, рівень реалізації та впровадження наукових розробок, відомості про апробацію досліджень та публікації.

У першому розділі виконано аналітичний огляд стану наукової задачі.

В умовах кар'єрів трапляються випадки, коли ушкоджені автосамоскиди не можуть переміщуватися на власному ході, постає питання про доставку таких машин при відриві передніх чи задніх коліс від покриття. Такий спосіб доставки, що може бути здійсненим лише за допомогою спеціально обладнаних буксировщиків, є виключно мобільним, продуктивним, не потребує розміщення водія у автосамоскіді, який буксирується; він широко застосовується у світовій практиці. Така схема буксирування конструктивно проста, досить автономна. Разом з тим потребує додаткових досліджень по формуванню зовнішніх навантажень на підйомно-зчеплювальні пристрої, по динаміці системи "буксировщик-автосамоскид" для науково обґрунтованого підходу до визначення раціональних параметрів основних силових елементів.

Динаміка дволанкових колісних машин, якими схематизується система "буксировщик-автосамоскид", досліджується у роботах Бусарова Ю.П., Ващенко Ю.Л., Веселова Г.П., Густомясова О.М., Колмакова В.І., Лобаса Л.Г.,

Татарченко О.Є. Роботи Князькова В.М., Мітекіна П.І., Нанадзе Г.Н., Рязановського О.Р. присвячені вивченню характеристик шин як пружних елементів. Вивченням статистичних характеристик мікропрофілю доріг займались Афанас'єв В.Л., Барахтанов Л.В., Васильєв В.С., Хачатуров О.О., Фаробін Я.Є., Юрчевський О.О. Удосконаленням несучих систем на шляху зменшення їх металомісткості займаються Барішников Ю.М., Безверхий С.Ф., Белокуров В.М., Волохов Г.М., Вигонний О.Г., Горін Е.О., Григолюк Е.І., Сухомлинов О.Г. Наведений аналіз свідчить, що у науковій літературі відсутні матеріали, присвячені розробці та дослідженню буксировщиків кар'єрних автосамоскидів.

На основі наведеного стану проблеми автором сформульована мета, поставлені задачі дослідження.

У **другому розділі** приведені результати розробки математичної моделі формування зовнішніх навантажень, сприйняття та передачі внутрішніх зусиль, які діють на підйомно-зчеплювальні пристрої.

Підйомно-зчеплювальні пристрої буксировщиків, як правило, монтуються на базових автомобілях відповідної вантажопідйомності, можуть мати конструктивні особливості, але принципово складаються з наступних частин: нерухома штанга – балочно-фермова конструкція, яка кріпиться до рами базового автомобіля, має направляючий пристрій для переміщення іншої штанги – рухомої; рухома штанга – балочна L -подібна конструкція, яка має два вузли захвату автосамоскида – нижній для захвату за підсилення переднього бампера і верхній для захвату за задню поперечину кузова. На рис. 1 наведена розрахункова схема підйомно-зчеплювального пристрою.

Навантаження основних силових елементів підйомно-зчеплювальних пристроїв описується наступними розрахунковими випадками: 1) навантаження нижнього вузла рухомої штанги вертикальною силою F_y при підніманні автосамоскида; 2) навантаження верхнього вузла рухомої штанги вертикальною силою F_y при підніманні автосамоскида; 3) навантаження нижнього вузла штанги вертикальною силою F_y і поздовжньою силою F_x при буксируванні автосамоскида; 4) навантаження верхнього вузла рухомої штанги вертикальною силою F_y і поздовжньою силою F_x при буксируванні автосамоскида; 5) навантаження нижнього вузла рухомої штанги вертикальною силою F_y , поздовжньою силою F_x і поперечною силою F_z при асиметричному рушанні з місця; 6) навантаження верхнього вузла рухомої штанги вертикальною силою F_y , поздовжньою силою F_x і поперечною силою F_z при асиметричному рушанні з місця.

У відповідності з обраними розрахунковими випадками визначенні усі складові розрахункових навантажень, побудовані епюри внутрішніх силових факторів, які розкривають картину формування і передачі розрахункових зусиль в основних силових елементах, визначають тип їх профілів, сприяють вибору раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів.

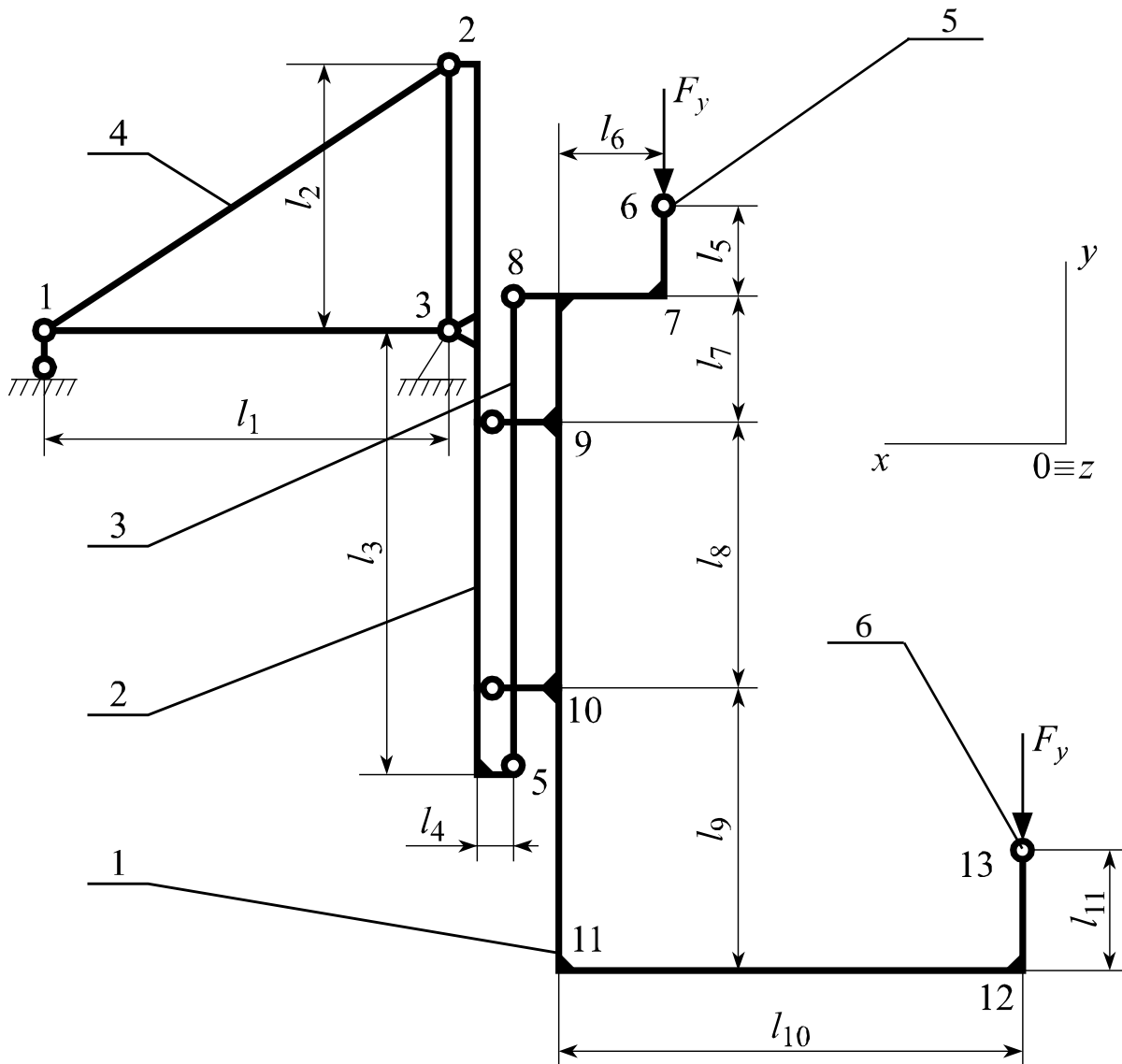


Рисунок 1 – Розрахункова схема підйомно-зчеплювального пристрою при підніманні

- 1 – рухома штанга; 2 – нерухома штанга; 3 – гідроциліндр піднімання;
 4 – кронштейн кріплення нерухокої штанги до рами буксировщика;
 5 – верхній вузол захвату; 6 – нижній вузол захвату.

У третьому розділі подані результати визначення динамічних навантажень, які діють на підйомно-зчеплювальний пристрій у збуреному русі системи "буксировщик-автосамоскид".

У плані науково обґрунтованого призначення металомісткості підйомно-зчеплювальних пристроїв вирішальну роль відіграють динамічні навантаження, які характеризуються певними коефіцієнтами динамічності. Формування динамічних навантажень досліджується на шляху вивчення коливань системи "буксировщик-автосамоскид". Для отримання картини кінематичних збурень обрана найбільш важка ділянка технологічної дороги. Вимірювання параметрів шляху, їх статистична обробка дозволили кінематичне збурення апроксимувати функцією, головна гармоніка якої є синусоїдою з довжиною хвилі $l_0 = 2\text{ м}$ і розмахом $A = 0,3\text{ м}$.

Схема буксирування автосамоскида захватом спереду при пружній задній підвісці надана на рис. 2, де залучені наступні позначення і характерні розміри: l_1 – відстань по горизонталі від передньої осі до центра маси автосамоскида; l_2 – відстань по горизонталі від заднього моста до центра маси автосамоскида; l_n – відстань по горизонталі від передньої осі до опорної точки автосамоскида; l_3 – відстань по горизонталі від заднього моста до опорної точки кузова.

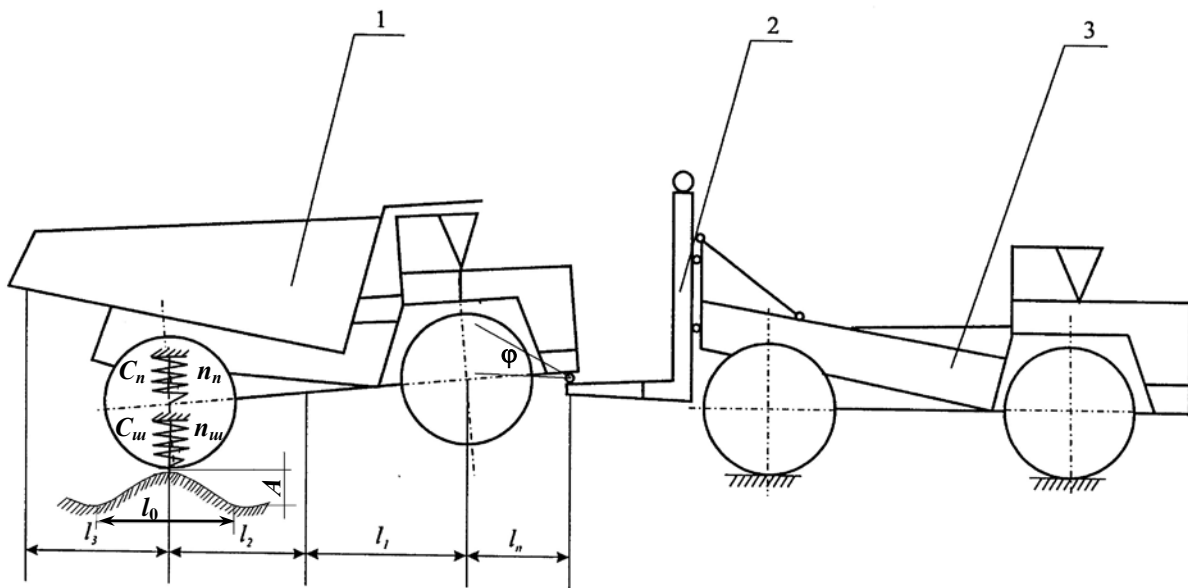


Рисунок 2 – Схема буксирування захватом спереду

1 – автосамоскид; 2 – підйомно-зчеплювальний пристрій; 3 – буксировщик.

Диференціальні рівняння коливань автосамоскида отримані у формі рівнянь Лагранжа другого роду:

$$\left. \begin{aligned} J_{n1}\ddot{\phi} + n_n C_n (l_n + l_1 + l_2)^2 \phi - n_n C_n (l_n + l_1 + l_2) y &= 0; \\ -n_n C_n (l_n + l_1 + l_2) \phi + m_{i3} \ddot{y} + (n_n C_n + n_\phi C_\phi) y &= n_\phi C_\phi \frac{A}{2} \sin \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $m_{н3}$ – маса непідресорених частин автосамоскида, кг; v – швидкість буксирування, м/с; J_{n1} – момент інерції підресорених частин автосамоскида при захваті спереду відносно поперечної осі, яка проходить через опорну точку, кг·м²; n_n – кількість пружних елементів задньої підвіски; C_n – коефіцієнт жорсткості одного пружного елемента задньої підвіски, Н/м; $n_{ш}$ – кількість шин задньої підвіски; $C_{ш}$ – коефіцієнт радіальної жорсткості однієї шини задньої підвіски, Н/м; A – розмах апроксимуючої функції кінематичного збурення, м; ω – кругова частота кінематичного збурення, 1/с.

Розв'язки системи рівнянь (1) мають наступний вигляд:

$$A_1 = n_n n_{\phi} C_n C_{\phi} (l_n + l_1 + l_2) \times \frac{A}{2} \left/ \left\{ J_{n1} m_{i3} \omega^4 - [J_{n1} n_n C_n + J_{n1} n_{\phi} C_{\phi} + m_{i3} n_n C_n (l_n + l_1 + l_2)^2] \omega^2 + n_n n_{\phi} C_n C_{\phi} (l_n + l_1 + l_2)^2 \right\} \right. \quad (2)$$

$$A_2 = \left[n_n n_{\phi} C_n C_{\phi} (l_n + l_1 + l_2)^2 \frac{A}{2} - J_{n1} n_{\phi} C_{\phi} \frac{A}{2} \omega^2 \right] \left/ \left\{ J_{n1} m_{i3} \omega^4 - [J_{n1} n_n C_n + J_{n1} n_{\phi} C_{\phi} + m_{i3} n_n C_n (l_n + l_1 + l_2)^2] \omega^2 + n_n n_{\phi} C_n C_{\phi} (l_n + l_1 + l_2)^2 \right\} \right. \quad (3)$$

Як випливає із виразу (3), амплітуда коливань непідресорених мас обертається у нуль при швидкості буксирування:

$$v = \sqrt{\frac{n_n C_n (l_n + l_1 + l_2)^2 l_0^2}{4\pi^2 J_{n1}}} \quad (4)$$

Безпосередньо із виразів (2) і (3) отримано частотне рівняння:

$$J_{n1} m_{i3} (\omega^2)^2 - [J_{n1} n_n C_n + J_{n1} n_{\phi} C_{\phi} + m_{i3} n_n C_n (l_n + l_1 + l_2)^2] \omega^2 + n_n n_{\phi} C_n C_{\phi} (l_n + l_1 + l_2)^2 = 0. \quad (5)$$

Власні кругові частоти

$$\omega_{1,2} = \left\{ J_{n1} n_n C_n + J_{n1} n_{\phi} C_{\phi} + m_{i3} n_n C_n (l_n + l_1 + l_2)^2 \mp \left[(J_{n1} n_n C_n + J_{n1} n_{\phi} C_{\phi} + m_{i3} n_n C_n (l_n + l_1 + l_2)^2)^2 - 4 J_{n1} m_{i3} n_n n_{\phi} C_n C_{\phi} (l_n + l_1 + l_2)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2} \left/ (2 J_{n1} m_{i3})^{1/2} \right. \quad (6)$$

визначають відповідні критичні швидкості буксирування.

Схема буксирування автосамоскида захватом ззаду при пружній передній підвісці приведена на рис. 3. Диференціальні рівняння коливань автосамоскида отримані у формі рівнянь Лагранжа другого роду:

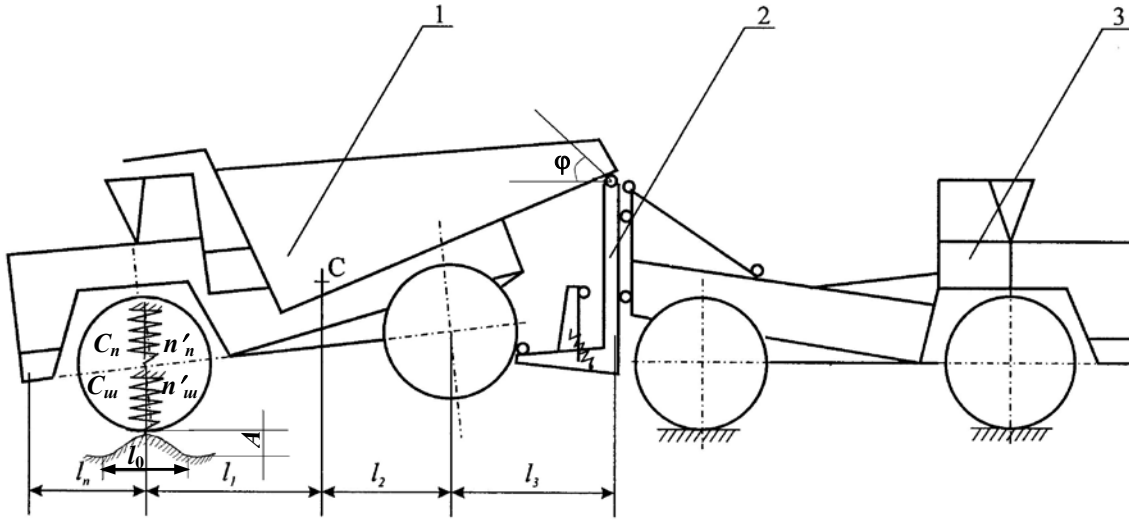


Рисунок 3 – Схема буксирування захватом ззаду

1 – автосамоскид; 2 – підйомно-зчеплювальний пристрій; 3 – буксировщик.

$$\left. \begin{aligned} J_{n2}\ddot{\varphi} + n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1)^2 \varphi - n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1) y &= 0; \\ -n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1) \varphi + m_{in} \ddot{y} + (n'_n C_n + n'_\phi \tilde{N}_\phi) y &= n'_\phi \tilde{N}_\phi \frac{A}{2} \sin \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де m_{in} – маса невіднесених частин передньої підвіски, кг; J_{n2} – момент інерції віднесених частин автосамоскида при захваті ззаду відносно поперечної осі, яка проходить через опорну точку, кг·м²; n'_n – кількість пружних елементів передньої підвіски; n'_{in} – кількість шин передньої підвіски.

Розв'язки системи рівнянь (7) мають наступний вигляд:

$$A_1 = n'_n n'_\phi C_n \tilde{N}_\phi (l_3 + l_2 + l_1) \frac{A}{2} \left/ \left\{ J_{n2} m_{in} \omega^4 - [J_{n2} n'_n C_n + J_{n2} n'_\phi \tilde{N}_\phi + m_{in} n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1)^2] \omega^2 + n'_n n'_\phi C_n \tilde{N}_\phi (l_3 + l_2 + l_1)^2 \right\} \right. \quad (8)$$

$$A_2 = \left[n'_n n'_\phi C_n \tilde{N}_\phi (l_3 + l_2 + l_1) \frac{A}{2} - J_{n2} n'_\phi C_\phi \frac{A}{2} \omega^2 \right] \left/ \left\{ J_{n2} m_{in} \omega^4 - [J_{n2} n'_n C_n + J_{n2} n'_\phi \tilde{N}_\phi + m_{in} n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1)^2] \omega^2 + n'_n n'_\phi C_n \tilde{N}_\phi (l_3 + l_2 + l_1)^2 \right\} \right. \quad (9)$$

Амплітуда коливань коліс передньої підвіски автосамоскида обертається у нуль при швидкості:

$$v = \sqrt{\frac{n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1)^2 l_0^2}{4\pi^2 J_{n2}}}. \quad (10)$$

Частотне рівняння відповідного коливального процесу має наступний вигляд:

$$J_{n2} m_{in} (\omega^2)^2 - \left[J_{n2} n'_n C_n + J_{n2} n'_\phi C_\phi + m_{in} n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1)^2 \right] \omega^2 + n'_n n'_\phi C_n C_\phi (l_3 + l_2 + l_1)^2 = 0. \quad (11)$$

Власні кругові частоти

$$\omega_{3,4} = \left\{ J_{n2} n'_n C_n + J_{n2} n'_\phi C_\phi + m_{in} n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1)^2 \mp \left[(J_{n2} n'_n C_n + J_{n2} n'_\phi C_\phi + m_{in} n'_n C_n (l_3 + l_2 + l_1)^2)^2 - 4 J_{n2} m_{in} n'_n n'_\phi C_n C_\phi (l_3 + l_2 + l_1)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/2} / (2 J_{n2} m_{in})^{1/2} \quad (12)$$

визначають відповідні критичні швидкості буксирування.

При буксируванні автосамоскида захватом спереду при жорсткій задній підвісці диференціальне рівняння має наступний вигляд:

$$\ddot{\varphi} + \frac{n_\phi \tilde{N}_\phi (l_n + l_1 + l_2)^2}{J_1} \varphi = \frac{n_\phi \tilde{N}_\phi (l_n + l_1 + l_2)}{2J_1} A \sin \omega t, \quad (13)$$

де J_1 – момент інерції автосамоскида відносно поперечної осі, яка проходить через опорну точку, кг·м².

Розв'язок рівняння (13) має наступний вигляд:

$$\varphi = \frac{A}{2(l_n + l_1 + l_2)} \frac{1}{\left| 1 - \frac{4\pi^2 J_1 v^2}{n_\phi C_\phi (l_n + l_1 + l_2)^2 l_0^2} \right|} \sin \frac{2\pi v}{l_0} t. \quad (14)$$

Відповідна критична швидкість:

$$v_{\hat{e}p} = \sqrt{\frac{n_\phi \tilde{N}_\phi (l_n + l_1 + l_2)^2 l_0^2}{4\pi^2 J_1}}. \quad (15)$$

При буксируванні автосамоскида захватом ззаду при жорсткій передній підвісці диференціальне рівняння має наступний вигляд:

$$\ddot{\varphi} + \frac{n'_\phi \tilde{N}_\phi (l_3 + l_2 + l_1)^2}{J_2} \varphi = \frac{n'_\phi \tilde{N}_\phi (l_3 + l_2 + l_1)}{2J_2} A \sin \omega t, \quad (16)$$

де J_2 – момент інерції автосамоскида при захваті ззаду відносно поперечної осі, яка проходить через опорну точку, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Розв'язок рівняння (16) має вигляд:

$$\varphi = \frac{A}{2(l_3 + l_2 + l_1)} \frac{1}{\left| 1 - \frac{4\pi J_2 v^2}{n'_\phi C_\phi (l_3 + l_2 + l_1)^2 l_0^2} \right|} \sin \frac{2\pi v}{l_0} t. \quad (17)$$

Відповідна критична швидкість:

$$v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{n'_\phi \tilde{N}_\phi (l_3 + l_2 + l_3)^2 l_0^2}{4\pi^2 J_2}}. \quad (18)$$

Підвищення навантаження на вузли підвіски автосамоскидів при русі по нерівностях доріг характеризується коефіцієнтом динамічності, який залежить від конструктивних особливостей підвіски, параметрів шляху, швидкості руху і визначається наступною залежністю:

$$K_\delta = 1 + \frac{h_\delta}{h_c}, \quad (19)$$

де K_δ – коефіцієнт динамічності; h_δ – амплітуда коливань, м; h_c – статичний прогин пружного елемента, м.

На прикладі буксирування автосамоскида БілАЗ-548 виконані розрахунки коефіцієнтів динамічності в залежності від способу захвату, типу підвіски, відповідні результати наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Залежність коефіцієнтів динамічності від умов буксирування автосамоскидів БілАЗ-548

Спосіб захвату, тип підвіски	Швидкість, км/год			
	10	20	30	40
Захват спереду, пружна підвіска	1,3	4,9	Р	6,5
Захват ззаду, пружна підвіска	1,4	Р	3,0	2,7
Захват спереду, жорстка підвіска	2,2	7,3	15,8	41,3
Захват ззаду, жорстка підвіска	2,25	7,2	20,0	Р

«Р» – резонансний режим

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану основних силових елементів підйомно-зчеплювального пристрою буксировщика кар'єрних автосамоскидів БКА-110.

На базі проведеного теоретичного дослідження у ВАТ "Транспрогрес" (м. Маріуполь) розроблений, на заводі "Авторемгормаш" (м. Белгород) виготовлений дослідний зразок буксировщика кар'єрних автосамоскидів БКА-110, який підлягав експериментальному дослідженню з метою перевірки на адекватність ряду наукових положень математичної моделі формування розрахункових зусиль і виявлення його експлуатаційної придатності. Експериментальне дослідження проведено на Північному гірничо-збагачувальному комбінаті (м. Кривий Ріг).

На шляху експериментального дослідження розроблені програма і методика визначення коефіцієнтів динамічності за формулою

$$K_{\partial} = \frac{\sigma_{\partial}}{\sigma_c}, \quad (20)$$

де K_{∂} – коефіцієнт динамічності; σ_{∂} – напруження в конструкції при динамічному прикладенні навантаження, Па; σ_c – напруження в конструкції при статичному прикладенні навантаження, Па.

В основу вимірювання напружень покладено тензометричний метод з залученням стандартної апаратури, пристосованої до живлення постійним струмом при напрузі 12В і 24В: підсилювача Топаз-3, осцилографа К12-22 відповідно. З цією метою використовуються гнучкі месдозы, обладнані дрововими тензорезисторами з базою 20мм і номінальним опором 200 Ом. Тарировка відбувається посереднім способом з залученням балки рівного опору. У робоче положення месдозы встановлюються за допомогою точкового зварювання по контуру.

На підставі однозначного зв'язку між напруженням і відхиленням променя гальванометра коефіцієнти динамічності практично визначаються за формулою

$$K_{\partial} = \frac{h_{\partial}}{h_c}, \quad (21)$$

де h_{∂} – відхилення променя гальванометра при динамічному навантаженні, мм; h_c – відхилення променя гальванометра при статичному навантаженні, мм.

Визначенням коефіцієнтів динамічності відбувалося при буксируванні автосамоскида БілАЗ-548 буксировщиком БКА-110. Для цього у кореневій зоні консолі рухомої штанги встановлюються дві месдозы на однаковому віддаленні від бокових стінок. Запис напружень відбувався на ділянці дороги довжиною 50м з нерівностями, які відповідають синусоїдальному профілю з довжиною хвилі 2м і розмахом 0,3м. У результаті виявлено, що відхилення визначення

коефіцієнтів динамічності у вузлах зчеплення буксировщика і автосамоскида за математичною моделлю пружної підвіски не перевищує 8,3% при швидкості 10км/год і 8,9% при швидкості 20км/год, за математичною моделлю жорсткої підвіски не перевищує 10% при швидкості 10км/год і 10,6% при швидкості 20км/год.

Таким чином, розроблені математичні моделі дають задовільну збіжність теорії та експерименту і можуть служити підставою для розрахунку коефіцієнтів динамічності та визначення розрахункових навантажень на підйомно-зчеплювальні пристрої буксировщиків.

Випробування на міцність буксировщиків БКА-110, а також досвід експлуатації експериментального зразка у кар'єрних умовах Північного гірничо-збагачувального комбінату (м. Кривий Ріг) продемонстрували повну адекватність розрахунків на міцність, працездатність і експлуатаційну придатність цієї машини.

У **п'ятому розділі** розроблена методика проектування підйомно-зчеплювальних пристроїв, що направлена на вибір раціональних параметрів буксировщиків кар'єрних автосамоскидів.

Розроблена математична модель формування розрахункових навантажень покладена в основу вибору раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів з елементами оптимізації. Оптимізація проводилася за критерієм мінімальної металомісткості шляхом розглядання вірогідних профілів силових елементів і комбінацій внутрішніх зусиль при умовах повної картини навантаження та найбільш вигідного розташування силових елементів. Розроблений алгоритм вибору параметрів основних вузлів і агрегатів підйомно-зчеплювального пристрою, складена відповідна програма комп'ютерного розрахунку. Методика раціонального проектування залучена до розрахунку на міцність буксировщика кар'єрних автосамоскидів БКА-110, виявила його слабкі місця, розкрила механізм побудови конструкцій підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків з елементами оптимізації.

ВИСНОВКИ

В результаті теоретичного та експериментального досліджень, проведених у дисертаційній роботі, одержано розв'язання актуальної наукової задачі обґрунтування раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів з урахуванням особливостей формування зовнішніх навантажень, сприйняття та передачі внутрішніх зусиль у силових елементах, що сприяє створенню раціональних за металомісткістю конструкцій з високою надійністю виконавчих механізмів, відповідною несучою спроможністю; виконані дослідження дозволять зробити наступні висновки.

1. Розроблена математична модель формування зовнішніх навантажень,

сприйняття та передачі внутрішніх зусиль, які діють на силові елементи підйомно-зчеплювальних пристрів, шляхом залучення шести характерних режимів руху системи "буксировщик-автосамоскид" та аналізу епюр внутрішніх силових факторів у силових елементах, що надає змогу вірно вибирати тип профілів, розрахункові навантаження та з умов міцності визначати раціональні параметри підйомно-зчеплювальних пристроїв.

2. Розроблена математична модель збуреного руху системи "буксировщик-автосамоскид" на базі математичного апарату аналітичної механіки з урахуванням швидкості руху, параметрів кінематичних збурень технологічних доріг, що надає можливість визначати динамічні навантаження та з умов міцності раціональні параметри підйомно-зчеплювальних пристроїв.

3. Експериментальне визначення напружено-деформованого стану основних силових елементів підйомно-зчеплювального пристрою буксировщика БКА-110 підтвердило адекватність розроблених математичних моделей формування зовнішніх навантажень, сприйняття та передачі внутрішніх зусиль, відхилення не перевищує 10,6%, що підтверджує правомірність використання розроблених математичних моделей для визначення раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв.

4. Розроблена методика проектування підйомно-зчеплювальних пристроїв на базі теоретичного дослідження формування зовнішніх навантажень, сприйняття та передачі внутрішніх зусиль, експериментальної перевірки на адекватність розроблених математичних моделей містить алгоритм та програму комп'ютерного розрахунку параметрів силових елементів, які направлені на створення раціональних за металомісткістю конструкцій підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів, впроваджена у ВАТ «Транспрогрес» (м. Маріуполь); відповідний акт впровадження додається.

Список опублікованих наукових праць за темою дисертації

Основні праці

1. Бейгул В.О. Исследование динамики нагружения системы «буксировщик-карьерный автосамосвал» / В.О. Бейгул // Сб. науч. тр. НГА Украины. – Днепропетровск: 2002. – №13. – Т.2. – С 8–12.

2. Бейгул В.О. Экспериментальное определение коэффициента динамичности при буксировании карьерных автосамосвалов / В.О. Бейгул, И.И. Леела, А.Л. Лепетова // Сб. науч. тр. КМТИ: Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. – Керчь: КМТИ, 2005. – Вып. 6. – С. 72–77.

3. Бейгул В.О. Проблемы выбора рациональных параметров буксировщиков карьерных автосамосвалов / В.О. Бейгул, А.Л. Лепетова, Л.Н. Ширин // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ:

ДНВП «Системні технології», 2006. – Вип. 1 (42). – С. 80–86.

4. Бейгул В.О. К вопросу о проектировании подъёмно-сцепных устройств буксировщиков карьерных автосамосвалов / В.О. Бейгул, В.В. Дорофеев, А.Л. Лепетова // Сб. науч. тр. КМТИ: Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. – Керчь: КМТИ, 2006. – Вып.7. – С. 103–106.

5. Бейгул В.О. Математична модель збуреного руху системи «буксировщик-автосамоскид» / В.О. Бейгул, І.І. Леєпа, Г.Л. Лепетова // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2006. – Вип. 4 (45). – С. 94–98.

6. Бейгул В.О. Дослідження та обґрунтування параметрів основних силових елементів підйомно-зчеплювального пристрою кар'єрних буксирувальників / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, Л.Н. Ширін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – Вип. 10. – С. 15–17.

7. Обґрунтування раціональних параметрів підйомно-зчеплювального пристрою буксировщиків кар'єрних автосамоскидів / [Бейгул В.О., Леєпа І.І., Щербинська Г.О., Бейгул О.О.] // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2007. – Вип. 4 (51). – С. 137–144.

8. Бейгул В.О. Теорія формування зусиль на піднімально-зчеплювальній пристрій буксировщиків кар'єрних автосамоскидів / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова // Сб. науч. тр. КГМТУ: Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. – Керчь: КГМТУ, 2011. – Вып. 12. – С. 8–12.

9. Бейгул В.О. Розвиток теорії збуреного руху буксировщиків кар'єрних автосамоскидів / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, Л.Н. Ширін // Зб. наук. праць Дніпродзержинського державного технічного університету. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. – Вип. 2 (17). – С. 131–136.

10. Бейгул В.О. Шляхи удосконалення несучих систем буксировщиків кар'єрних автосамоскидів / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова // Сб. науч. тр. КГМТУ: Механика твердого тела. Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий. – Керчь: КГМТУ, 2013. – Вып. 14. – С. 36–39.

11. Бейгул В.О. Вплив збуреного руху системи «буксировщик-автосамоскид» на формування динамічних навантажень на підйомно-зчеплювальній пристрій / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, Л.Н. Ширін // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – Dnepropetrovsk: Ukrmetallurginform «HTA», 2013. – Вып. 6 (285). – С. 96–98.

Додаткові праці

12. Бейгул В.О. Исследование динамики нагружения системы «буксировщик-карьерный автосамосвал» / В.О. Бейгул // Проблемы механики горно-металлургического комплекса: Междунар. науч.-техн. конф., 28-31 мая 2002г.: тезисы докл. – Днепропетровск: НГА, 2002. – С.13–14.

13. Бейгул В.О. Дослідження підйомно-зчеплювального пристроя кар'єрних буксировщиків / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, Л.Н. Ширін / Сучасні проблеми та перспективи розвитку транспорту гірничих підприємств: Міжнар. наук.-практ. конф., 22–24 лист. 2007р. тези доп. – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – С. 58–59.

14. Бейгул В.О. Експериментальне дослідження динаміки системи «буксировщик-карьерний автосамоскид» / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова // Наукові дослідження – теорія та експеримент'2013: Матеріали дев'ятої міжнар. наук.-практ. конф., 29–31 травня 2013р. – Полтава: Інтер Графіка, 2013. – Т.5. – С. 10–12.

15. Бейгул В.О. Основи формування динамічних навантажень на систему «буксировщик-карьерний автосамоскид» в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, Д.В. Найда // Автомобильный транспорт: проблемы и перспективы: Материалы XVI междунар. науч.-техн. конф., 16–21 сент. 2013г. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 44–46.

16. Бейгул В.О. Дослідження та обґрунтування параметрів силових елементів підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів / В.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, Д.В. Найда // Розвиток наукових досліджень'2013: Матеріали дев'ятої міжнар. наук.-практ. конф., 25–27 лист. 2013. – Полтава: Інтер Графіка, 2013. – Т.6. – С. 13–18.

АНОТАЦІЯ

Бейгул В.О. Обґрунтування раціональних параметрів підйомно-зчеплювальних пристроїв буксировщиків кар'єрних автосамоскидів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.12 – Промисловий транспорт. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2015.

У роботі захищаються нова математична модель формування зовнішніх навантажень, сприйняття та передачі внутрішніх зусиль у силових елементах підйомно-зчеплювальних пристроїв кар'єрних автосамоскидів, результати теоретичного дослідження збуреного руху системи "буксировщик-автосамоскид", програма, методика, результати експериментального дослідження процесу буксирування кар'єрних автосамоскидів, розроблена інженерна методика раціонального проектування підйомно-зчеплювальних пристроїв кар'єрних автосамоскидів з елементами оптимізації за критерієм мінімальної металомісткості.

Ключові слова: раціональний, параметр, буксировщик, підйомно-зчеплювальний пристрій, кар'єрний автосамоскид, динаміка, міцність, машина, напруження, вигин, кручення.

АННОТАЦИЯ

Бейгул В.О. Обоснование рациональных параметров подъемно-сцепных устройств буксировщиков карьерных автосамосвалов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.12 – Промышленный транспорт. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2015.

В диссертации выполнен анализ конструкций буксировщиков, условий эксплуатации карьерных автосамосвалов, проведен выбор методов проектирования, научно-исследовательских работ по формированию нагрузок на несущие системы спецавтотранспорта, сформулирована цель, поставлены задачи исследования.

Впервые разработана математическая модель формирования внешних нагрузок, восприятия и передачи внутренних усилий в силовых элементах подъемно-сцепного устройства с учетом принципиально разных типов захвата карьерных автосамосвалов спереди и сзади. Нагружение основных силовых элементов подъемно-сцепных устройств описывается следующими расчетными случаями: нагружение нижнего узла подвижной штанги вертикальной силой при подъеме автосамосвала захватом спереди; нагружение верхнего узла подвижной штанги вертикальной силой при подъеме автосамосвала захватом сзади; нагружение нижнего узла подвижной штанги вертикальной и продольной силами при буксировании автосамосвала захватом спереди; нагружение верхнего узла подвижной штанги вертикальной и продольной силами при буксировании автосамосвала захватом сзади; нагружение нижнего узла подвижной штанги вертикальной, продольной и поперечной силами при трогании с места и асимметричном нагружении захватом спереди; нагружение верхнего узла подвижной штанги вертикальной, продольной и поперечной силами при трогании с места и асимметричном нагружении захватом сзади. В результате получены аналитические выражения, построены эпюры изгибающих и крутящих моментов в силовых элементах подъемно-сцепного устройства.

В результате теоретического исследования динамики буксирования карьерных автосамосвалов разработана математическая модель возмущенного движения системы "буксировщик-автосамосвал". Рассмотрены разные варианты системы, в том числе упругая и жесткая подвески буксируемого автосамосвала, захватом спереди за силовой элемент в области бампера и захватом сзади за торцевую поперечину кузова. Получены аналитические

выражения критических скоростей в зависимости от параметров кинематических возмущений технологических дорог. Выведены и решены уравнения возмущенного движения буксируемого автосамосвала. Полученные аналитические выражения коэффициентов динамичности направлены на определение расчетных нагрузок, которые действуют на силовые элементы подъемно-сцепных устройств. Полученные зависимости универсальны, в то же время описывают предпочтительные режимы в частных случаях.

Разработаны программа и методика экспериментального определения коэффициентов динамичности, прочностных испытаний буксировщиков. Определены коэффициенты динамичности при разных способах захвата и типах подвески, проведены испытания на прочность буксировщика карьерных автосамосвалов БКА-110.

Разработана инженерная методика рационального проектирования подъемно-сцепных устройств буксировщиков карьерных автосамосвалов с элементами оптимизации по критерию минимальной металлоемкости при условии полной картины нагружения и наиболее выгодного расположения силовых элементов, когда обеспечивается кратчайший путь передачи усилий. Методика рационального проектирования нашла отражение в расчете на прочность буксировщика карьерных автосамосвалов БКА-110, выявила его узкие места, раскрыла механизм построения таких конструкций с элементами оптимизации.

В работе защищаются новые математические модели формирования внешних нагрузок, восприятия и передачи внутренних усилий в силовых элементах подъемно-сцепных устройств буксировщиков карьерных автосамосвалов, результаты теоретического исследования возмущенного движения системы "буксировщик-автосамосвал", программа, методика, результаты экспериментального исследования процесса буксирования карьерных автосамосвалов, разработанная инженерная методика рационального проектирования подъемно-сцепных устройств буксировщиков карьерных автосамосвалов с элементами оптимизации по критерию минимальной металлоемкости.

Ключевые слова: рациональный, параметр, буксировщик, подъемно-сцепное устройство, карьерный автосамосвал, динамика, прочность, машина, напряжение, изгиб, кручение.

SUMMARY

Beygul V.O. The Basis of Rational Parameters for Lift Draft Couplers of Mining Rear Dumpers Motor Tugs. – Manuscript.

Dissertation for academic degree of candidate of science in speciality 05.22.12 – Industrial Transport. – The Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2015.

The mathematical model of external loadings forming and internal power factors

perception and transfer in elements of lift draft couplers for mining rear dumpers motor tugs has been worked out. The theoretic investigation of indignant movement for system "Motor tug-mining rear dumper" has been conducted. The program and methods of experimental investigation for mining rear dumpers motor tugs have been worked out. The experimental investigation of mining rear dumpers motor tugs has been carried out. The engineering methods of rational parameters sampling for lift draft couplers of mining rear dumpers motor tugs has been worked out.

Key words: rational, parameter, motor tug, lift draft coupler, mining rear dumper, dynamics, strength, machine, stress, bend, torsion.

Бейгул Всеволод Олегович

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПІДЙОМНО-ЗЧЕПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ
БУКСИРОВЩИКІВ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.22.12 – Промисловий транспорт

Підписано до друку 09.09.2015 року

формат 60×84 1/16

Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим.

Замовлення № 49/15

Видавництво Дніпродзержинського державного технічного університету.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавництв серія ДК № 1944 від 16.09.2004 р.

Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Дніпробудівська, 2, м. Дніпродзержинськ, 51918